



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
I Z T A C A L A**

**“ESTUDIO FISICOQUÍMICO Y
BACTERIOLÓGICO DE LA LAGUNA NEGRA
DE PUERTO MARQUÉS”**

**T E S I S
P O R D E S E M P E Ñ O A C A D É M I C O**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A**

**P R E S E N T A:
G A B R I E L A G O V A N T E S M O R A L E S**

ASESORA: Q.F.B. ESPERANZA DEL SOCORRO ROBLES VALDERRAMA





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

*¿Como se puede comprar o vender el firmamento, ni aun el calor de la tierra?
Dicha idea nos es desconocida.*

*Si no somos dueños de la frescura del aire
ni del fulgor de las aguas,
¿Como podrán ustedes comprarlos?*

¿Que seria del hombre sin los animales? Si todos fueran exterminados, el hombre también moriría de una gran soledad espiritual; Porque lo que le sucede a los animales también le sucederá al hombre. Todo va enlazado.

Deben enseñarles a sus hijos que el suelo que pisan son las cenizas de nuestros abuelos. Inculquen a sus hijos que la tierra esta enriquecida con las vidas de nuestros semejantes a fin de que sepan respetarla. Enseñen a sus hijos que nosotros hemos enseñado a los nuestros que la tierra es nuestra madre. Todo lo que le ocurra a la tierra les ocurriría a los hijos de la tierra. Si los hombres escupen en el suelo, se escupen a si mismos.

Esto sabemos: la tierra no pertenece al hombre; el hombre pertenece a la tierra. Esto sabemos. Todo va enlazado, como la sangre que une a una familia. Todo va enlazado.

El hombre no tejió la trama de la vida; el es solo un hilo. Lo que hace con la trama se lo hace a si mismo. Ni siquiera el hombre blanco, cuyo Dios pasea y habla con el de amigo a amigo, queda exento del destino común.

¿Donde esta el matorral? Destruido. ¿Donde esta el águila? Desapareció. Termina la vida y empieza la supervivencia.

Carta del jefe indio al Gran Jefe Blanco (Fragmento)

"Autor: Jefe Seattle.

DEDICATORIAS

A mis Padres Ricardo Govantes Martínez y Guadalupe Morales Díaz, porque desde siempre fueron ejemplo de perseverancia, esfuerzo, y trabajo, por todo el apoyo que siempre me han brindado, por toda su paciencia y porque si tuviera la posibilidad de elegir a otros, los elegiría nuevamente a ustedes. Gracias por creer en mí.

A Rodri, a veces pasan cosas realmente buenas que cambian las vidas para siempre, a mi me pasó la posibilidad de ser tu mamá y eso siempre te lo voy a agradecer. Recuerda que la competencia más difícil de ganar es la que logres al vencer tus propias metas y sé que todo lo que te propongas lo vas a lograr, no va a ser fácil, pero en mí puedes encontrar apoyo siempre.

A mi esposo Antonio, porque sé que estar juntos 13 años no ha sido nada sencillo, sin embargo, el camino se torna largo y que mejor que de esta manera, juntos porque así hemos logrado cosas buenas y podemos lograr otras mejores. Gracias por tu paciencia, tu cariño pero sobre todo por tu amor.

A mis hermanos Lety, Marce y Ricardo, porque a pesar de ser tan diferentes entre nosotros, siempre vamos a estar juntos cuando nos necesitemos, y por todo el apoyo que me han dado sin esperar nada a cambio y porque con ustedes he pasado muchos de los mejores momentos de mi vida.

A Tita, porque el hecho de tener el cariño y el amor de una madre ya es una bendición, pero a mí Dios me dio la posibilidad de tenerlo y sentirlo dos veces, gracias.

A mis tíos Luisa, Cristina; Chon y Manuel y a mis primos Rocío, Analí, Javier, Luis, Lorena y Adriana.

A Queta, Paty, Carmen, Raúl, Raúl Enrique, Mónica Lizbeth, Lalo y Max.

A la Familia Dávila Ríos, especialmente a Doña Luisa y Don Patricio por aceptarme y quererme como parte de su familia y por todo su apoyo incondicional.

A mis compadres Araceli, Jorge y a la pequeña Marisol, por dejarme entrar y formar parte de sus vidas.

A mis amigos Bety, Yola, Xochitl, Ariadna, Francisco, Eugenia y Sebastián porque con algunos de ustedes viví la etapa más importante y trascendente de mi vida, por su apoyo y porque siempre sabían que decir, porque fueron capaces de indicarme mis defectos y en su momento también hacerme sentir bien.

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM FES Iztacala, por haberme permitido tener el honor de formar parte de ella, dándome así la posibilidad de conocer y dejarme conquistar por la mejor profesión que pude haber elegido: la Biología.

A la Q.F.B Esperanza Robles Valderrama, por aceptar la tutoría de este trabajo, por todas sus acertadas sugerencias, por todo el apoyo brindado, y sobre todo por toda la paciencia otorgada.

A mis sinodales, Dra. Patricia Bonilla Lemus, M en C. Elizabeth Ramírez Flores, Dr. Víctor Manuel Rivera Aguilar, Biol. Blanca Nieves Martínez Rodríguez y Q.F.B Esperanza Robles Valderrama, por todas las aportaciones hechas a este trabajo.

Un agradecimiento especial para la Dra. Patricia Bonilla Lemus, la M en C. Elizabeth Ramírez Flores y la Q.F.B Esperanza Robles Valderrama por el tiempo otorgado a la revisión de este trabajo, y a las observaciones y sugerencias recomendadas, gracias a lo cuál se vio mejorado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	5
III. OBJETIVOS.....	7
IV. ÁREA DE ESTUDIO.....	8
IV.1. Descripción General.....	8
IV.2. Localización.....	10
V. MÉTODOS.....	12
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	18
VI.1 Índice de Calidad del Agua.....	18
VI.2 Porcentaje de Remoción.....	18
VII. CONCLUSIONES.....	24
VIII. REFERENCIAS.....	25

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	15
Técnicas de Análisis para la Determinación de los Parámetros Físicoquímicos.	
Cuadro 2	16
Técnicas de Análisis para la Determinación de los Parámetros Bacteriológicos.	
Cuadro 3	16
Usos del agua según el Índice de Calidad (ICA).	
Cuadro 4	20
Medias de los Parámetros Físicoquímicos.	
Cuadro 5	21
Medias geométricas de los parámetros bacteriológicos.	
Cuadro 6	22
Índices de Calidad del Agua para cada Estación de Muestreo.	
Cuadro 7	23
Remoción de Materia Orgánica, Sólidos y Bacterias.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	11
Localización de la Laguna Negra de Puerto Marqués.	
Figura 2	17
Diagrama de Flujo de los Métodos utilizados	

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la alta explosión demográfica y al gran desarrollo industrial, los volúmenes de agua que se requieren son cada vez mayores; sin embargo, en la actualidad esta demanda creciente no se puede satisfacer completamente debido a que el agua esta escaseando y su calidad se ha deteriorado drásticamente (Jiménez, 2002).

Las actividades humanas, han dado lugar a la producción de una amplia gama de productos residuales, muchos de los cuáles llegan al agua, que actúa como vehículo de transporte, afectando su calidad y como consecuencia, esta debe ser tratada antes de ser eliminada (Pesson, 1979).

Se conocen diferentes métodos para tratar el agua contaminada los cuáles suelen combinarse para obtener agua residual tratada de mejor calidad. Los métodos que se deben utilizar dependen de varios factores como son: origen del agua, las impurezas que contiene y el uso que se le dará a esta. Así, algunas aguas subterráneas pueden ser lo suficientemente limpias para requerir solo algún tipo de desinfección, en tanto que, el agua de un río contaminado, puede requerir de varios procesos de tipos físicos, químicos y biológicos antes de ser utilizadas para consumo humano.

Los procesos de tratamiento de las aguas residuales comúnmente se dividen en primarios, secundarios y terciarios. Los tratamientos de tipo primario, son exclusivamente físicos, entre los tratamientos secundarios se encuentran los de tipo biológico y los tratamientos terciarios pueden ser de ambos tipos o de tipo químico.

Los tratamientos biológicos, se basan en la acción bioquímica de los microorganismos que remueven materiales disueltos y suspendidos o que los convierten en compuestos más aceptables. En su mayoría, estos procesos son de

tipo aerobio y por lo tanto, demandan la presencia de oxígeno disuelto, que va a ser utilizado por los microorganismos para llevar a cabo el proceso de oxidación. Entre los procesos de tipo biológico se encuentran los filtros biológicos, lodos activados, estanques de oxidación o estabilización y el método de humedales (zona de raíz, MZR) ya sea natural o artificial (Metcalf y Eddy, 1985; Rivera y Calderón, 1993).

En este último proceso, un lecho de raíces de las gramíneas *Phragmites* sp. o de la tifácea *Typha* sp. proporcionan una ruta hidráulica a través de la cuál, circula el agua a tratar. A esta área se le llama rizósfera y es el espacio anular entre los rizomas, raíces y el suelo circundante. El movimiento de las raíces y rizomas, previene la obstrucción de la rizósfera. El oxígeno es proporcionado por los carrizos y los tules a través de sus hojas, tallos y rizomas. De esta manera, el agua residual se trata de manera aerobia por la actividad bioquímica microbiana de la rizósfera y de manera anaerobia, en el suelo circundante (Rivera y Calderón, 1993).

Las áreas próximas a las raíces, son aerobias, mientras que las más alejadas, son anaerobias, permitiendo de esta manera el desarrollo de gran variedad de microorganismos dentro del lecho, como bacterias y protozoos.

Este método, se conoce en Alemania desde hace más de 40 años, en México, se introdujo en 1990 a escala piloto y en 1993, en escala real. Es un proceso óptimo para tratar aguas de comunidades rurales de tamaño medio y de escasos recursos ya que su costo, es incluso menor que el de los estanques de estabilización (Rivera y Calderón, 1993; Rivera *et al*, 1997).

La importancia y trascendencia de este sistema, radica fundamentalmente, en que es más barato y se adapta mejor a las condiciones de México que los que actualmente se usan. El sistema es eficiente para la eliminación de materia orgánica, bacterias y amebas patógenas de las aguas de tratamiento, también

puede tratar lodos procedentes de otro proceso. Por otra parte, ofrece un aspecto agradable a la vista y constituye así mismo, una reserva para la vida silvestre (Robles *et al*, 1993; Rivera *et al*, 1997).

Ya que los humedales artificiales utilizan las raíces de plantas como los *Phragmites* sp. para eliminar los contaminantes, se podría esperar que los humedales naturales en donde se encuentran plantas como el mangle pudieran funcionar también en la remoción de contaminantes.

Ejemplos de humedales naturales, son algunas lagunas costeras que han sido utilizadas como receptoras de basura y residuos, ya que debido a su capacidad de dilución se pensó que no sería afectada la calidad de sus aguas, sin embargo, la desaparición de aves y vegetación marginal, la intoxicación de peces y moluscos y el exterminio de algunas formas biológicas han demostrado que estos ecosistemas no pueden asimilar eternamente los desechos para volverlos inocuos (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología; Subsecretaría de Ecología, 1984). Ante tal situación se hace necesario el diseño de estrategias para su conservación como ecosistemas y en caso de zonas perturbadas su recuperación como hábitat, de ahí la preocupación por establecer los parámetros adecuados para vigilar y controlar la calidad de sus aguas.

Existen muchos estudios de las lagunas costeras enfocándose a diversos temas como por ejemplo la variación de parámetros hidrológicos, Botello (1978); nivel de contaminación bacteriana, Rodríguez y Romero (1981), Romero y Rodríguez (1982), Bañuelos (1982), Lagunes *et al* (1994), Barrera (1995), Becerra y Botello (1994), Anzures *et al* (1995), dinámica física y biológica, CECODES (1981); cuantificación de hidrocarburos y metales pesados, Botello y Páez (1987), fuentes de contaminación, Solís, (1988).

Sin embargo, no se ha encontrado estudios donde se aprovechen los humedales naturales como “sistemas de tratamiento de aguas residuales vertidas en las lagunas costeras”. De ahí la importancia de ver como funcionan estos humedales naturales en la remoción de contaminantes.

II. ANTECEDENTES

En 1988, el Departamento de Calidad y Reutilización del Agua, en Acapulco Guerrero, realizó un estudio con el fin de clasificar el Río de La Sabana, cuyos resultados, plantean la necesidad de integrarlos a la Laguna de Tres Palos, por ser receptora de sus aguas, lo que permite vincularlas como un sistema hidrológico Río - Acuífero - Laguna de Tres Palos (CNA, 1988).

En 1989 - 1990, se realizó el estudio de clasificación de las aguas de la Laguna de Tres Palos, determinando sus características físicas, químicas y bacteriológicas, como receptoras de las aguas residuales, domésticas e industriales de Ciudad Renacimiento y La Sabana, así como descarga de aguas residuales de la Unidad Habitacional Vicente Guerrero 2000 y el Aeropuerto Internacional Juárez N. Álvarez (CNA, 1990).

De 1990 a 1991, se realizó el estudio de clasificación de las aguas de la Laguna de Coyuca, receptora de Aguas Residuales de parte del poblado de Coyuca de Benitez y la zona restaurantera del margen izquierdo del río de Coyuca, además de la zona restaurantera de la Barra de Coyuca y Pie de la Cuesta (CNA, 1991).

La Comisión Nacional del Agua de Guerrero, a través del Departamento de Calidad, Reuso del Agua e Impacto Ambiental, realizó un estudio de la Laguna Negra de Puerto Marqués en 1991, con el fin de determinar la calidad del agua en función de los usos actuales y potenciales, así como los impactos generados a la misma por los asentamientos humanos localizados en sus alrededores (CNA, 1992).

Miranda (1999) reporta la evaluación de un sistema de tratamiento en donde se incluye el método de zona de raíz, en Pachuca Hidalgo, obteniéndose el porcentaje de remoción de los siguientes parámetros: DBO: 93%, DQO: 91%, Nitrógeno Orgánico 78.4%, Nitrógeno Amoniacal 14.29%, Sólidos Totales 60%,

Sólidos Suspendidos 92%, Sólidos Disueltos: 23%, Sólidos Sedimentables: 98%, Grasas y Aceites: 54%, Coliformes Totales 57.97% y Coliformes Fecales: 50.76%.

El desarrollo poblacional y la mala disposición de los residuos, ha logrado la pérdida en la calidad de los cuerpos de agua como lo muestran los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico y bacteriológico de la Bahía de Banderas en Nayarit, en donde de acuerdo a los resultados, se pudo conocer el grado de alteración en la calidad del agua de la zona, por la introducción de vertimientos de origen natural y antropogénico, estos mismos resultados sirvieron para conocer la calidad del agua de la costa y conocer el comportamiento y distribución de las diversas variables ambientales de la zona (Bautista, 2001).

En la laguna de Mecoacán, Tabasco, se evaluó la calidad del agua por medio de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos y se hizo una comparación estacional, así como una relación entre parámetros (Aguilar, 2002).

Actualmente, se investiga en varias partes del mundo el funcionamiento del método de sistema de humedales para el tratamiento de aguas tanto de tipo doméstico como de origen municipal, como se menciona en el estudio realizado en Ontario Canadá con agua perteneciente a la laguna municipal en un periodo de seis meses, en donde se obtuvieron los porcentajes de remoción presentándose los siguientes valores: DBO₅: 34%, Nitrógeno Total: 37% Amonio: 52%, Sólidos Suspendidos: 93%, Fósforo Total: 90%, Ortofosfatos: 82%, Coliformes Fecales 52% y *Escherichia coli* 58% (Cámeron, *et al.* 2003).

Por lo que es conveniente aprovechar las ventajas que otorga el sistema de humedales para la depuración de aguas residuales, sobre todo resaltando que es un sistema natural en una zona destinada al refugio de flora y fauna como lo es la Laguna Negra de Puerto Marqués, la cuál está siendo utilizada como vertedero de aguas residuales de origen diverso.

III. OBJETIVOS

1. Evaluar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de la Laguna Negra de Puerto Marqués por medio del Índice de Calidad del Agua (ICA).
2. Evaluar la eficiencia de la Laguna para remover Materia Orgánica (DBO₅ y DQO), Sólidos Suspendidos (S.S) y Bacterias Coliformes Totales (C.T) y Coliformes Fecales (C.F).

IV. ÁREA DE ESTUDIO

IV.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

La Laguna Negra de Puerto Marqués forma parte del sistema hidrológico constituido por el río La Sabana- Laguna de Tres Palos- Laguna de Puerto Marqués. Cubre un área aproximada de 66.4 Has, con una profundidad media de 3.7 m. en las inmediaciones del poblado del mismo nombre, su superficie está cubierta por mangle casi en su totalidad, lo que le da un color casi característico a sus aguas, además de un alto grado de productividad debido al gran contenido de materia orgánica (CNA, 1992).

Esta laguna es un cuerpo receptor de las aguas provenientes del río La Sabana (de manera intermitente en tiempos de avenidas), este último, transporta las aguas residuales, domésticas e industriales de Cd. Renacimiento y La Sabana, además de los escurrimientos pluviales de las subcuencas de los cerros del Revolcadero y La Encantada, así como las descargas de aguas residuales del poblado de Puerto Marqués.

La época de lluvias generalmente se inicia en Junio y finaliza en Octubre con pequeñas variaciones y precipitación máxima anual de 727.8 m. El nivel hidrológico de la laguna depende del régimen de lluvia en la región y la irregularidad de los escurrimientos del río La Sabana.

Las principales fuentes de contaminación de la Laguna Negra de Puerto Marqués son:

1. El Río de la Sabana como afluente principal de la laguna (temporada de avenidas), que aporta un gasto promedio anual de 3.572 m³/s y sus aguas transportan las descargas de aguas residuales municipales de las colonias Emiliano Zapata, Cd. Renacimiento y de la planta de tratamiento de Cd. Renacimiento, además de las descargas industriales del Rastro y Frigorífico

de Cd. Renacimiento, la Fábrica de Aceite de Limón, el Rastro Municipal de la Sabana y la Embotelladora de Refrescos de Acapulco.

2. Las tres descargas de aguas residuales de Puerto Marqués incluida la de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del poblado del mismo nombre consistente en 8.5 l/s.

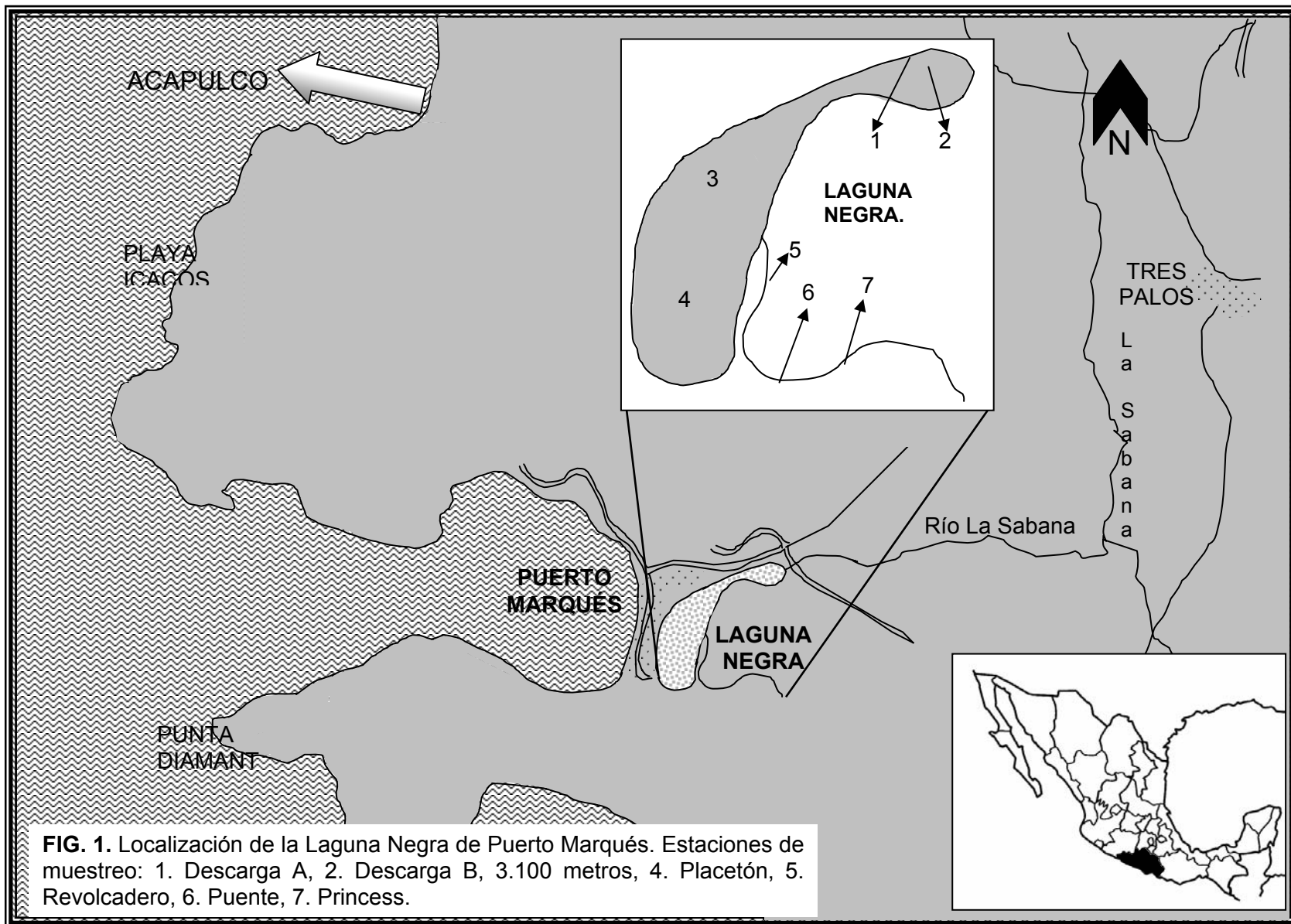
Por lo tanto, las características físicas, químicas y bacteriológicas de la Laguna Negra indican el grado de contaminación del agua, en consecuencia, permiten limitar la carga contaminante de las cargas en función de la capacidad de asimilación, dilución y difusión de tal manera, que no afecten los usos actuales o potenciales de la Laguna.

La Laguna Negra está considerada dentro de las lagunas costeras, sin embargo, no cumple con las características del ciclo hidrológico de las lagunas costeras de Guerrero, puesto que es alimentada por el río La Sabana, que disminuye sus escurrimientos durante los periodos de estiaje crítico, ya que solo en tiempos de lluvias, reparte junto con la Laguna de Puerto Marqués su caudal antes de desembocar en la laguna de Tres Palos, lo que permite el llenado total de su vaso, presentándose su comunicación con el mar de manera esporádica, debido principalmente a la acción de las mareas, permitiendo un intercambio físico, químico y biológico con el mar, el cuál es vital para la producción pesquera de las lagunas del mismo tipo, además de esto, se presenta el azolvamiento gradual producido por soluciones suspendidas transportadas por el río La Sabana, que son principalmente productos terrígenos de la erosión pluvial, y desechos sólidos generados en la Cuenca del Río y los márgenes de la Laguna por el poblado de Puerto Marqués (Yañez A, 1988).

IV.2. LOCALIZACIÓN

La Laguna Negra de Puerto Marqués, se localiza al Sureste del Puerto de Acapulco, en la Región Hidrológica No 19, localizada entre las coordenadas

extremas formadas por los paralelos $16^{\circ}, 47', 28''$ y $16^{\circ}, 48', 22''$, latitud Norte y los meridianos, $99^{\circ}, 49', 28''$ y $99^{\circ}, 50', 09''$ de longitud Oeste (Fig. 1).



V. MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos del estudio, se siguieron los siguientes pasos (Fig. 2):

- ❖ Revisión bibliográfica referente al tema
- ❖ Capacitación en el manejo de las técnicas analizadas.
- ❖ Se realizaron 7 muestreos con frecuencia mensual entre diciembre de 1995 y junio de 1996, en siete estaciones de muestreo de acuerdo a las descargas que llegan a la laguna, distribuidas de la siguiente manera:

Estación 1 = Descarga A

Estación 2 = Descarga B

Estación 3 = 100 metros

Estación 4 = Placetón

Estación 5 = Revolcadero

Estación 6 = Puente

Estación 7 = Princess

- ❖ Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos (F.Q), se tomaron en cada estación, dos botellas de plástico de 2 litros, una de las cuáles se fijó con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y todas se preservaron en hielo (Tabla 1).
- ❖ Las muestras para el análisis de bacterias Coliformes Totales y Fecales, fueron tomadas en envases de plástico de 250 ml de volumen, los cuales fueron previamente esterilizados y se preservaron en hielo.
- ❖ En cada muestreo, se analizaron los siguientes parámetros:

In situ:

- pH,
- Temperatura
- Oxígeno Disuelto (O.D),

❖ En el laboratorio se analizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos:

- Demanda química de oxígeno (DQO),
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅),
- Sólidos Suspendidos,
- Sólidos Disueltos
- Conductividad,
- Nitrógeno Orgánico
- Nitrógeno Amoniacal,
- Nitratos,
- Fosfatos Totales,
- Ortofosfatos
- Alcalinidad Total,
- Dureza Total,
- Cloruros y
- Sulfatos.

y los análisis bacteriológicos de:

- Coliformes Totales, y
- Coliformes Fecales.

Las técnicas empleadas, se presentan en las tablas 1 y 2 obtenidas del Manual de Técnicas de Análisis Fisicoquímicos y Bacteriológicos del Agua y Aguas de Desecho (Robles *et al*, 1991).

- ❖ Con los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados, para cada una de las 7 estaciones muestreadas se calcularon las medias y con ellas se obtuvo el Índice de Calidad del Agua (ICA) de acuerdo a los criterios propuestos por la SARH (1979), (Robles *et al.*, 2003).

Para calcular el ICA se utilizó la siguiente fórmula

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

Donde:

I = Índice de Calidad del Agua.

I_i = Índice de cada parámetro

W_i = Valor de Importancia relativo de cada parámetro

El índice de calidad del agua se presenta en una escala de 0 a 100. El valor nulo, corresponde al peor caso y el máximo, a la calidad óptima.

Con el ICA obtenido se consulta la tabla 3 y se observa el uso mas adecuado para ese valor calculado.

- ❖ El porcentaje de remoción de la Materia Orgánica (DBO y DQO), así como de los Sólidos Suspendidos y de las Bacterias Coliformes Totales y Coliformes Fecales, se obtuvo utilizando la siguiente fórmula (DSNY, 1990):

$$\text{Eficiencia} = \frac{A - B}{A} 100$$

Donde:

A= Afluente

B= Efluente

Cuadro 1. Técnicas de análisis para la determinación de los parámetros Físicoquímicos.

PARÁMETRO	TÉCNICA.
DQO	TITULACIÓN CON DICROMATO DE POTASIO
DBO ₅	DILUCIÓN
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	CONO INHOFF
SÓLIDOS TOTALES	PRUEBA GRAVIMÉTRICA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PRUEBA GRAVIMÉTRICA
SÓLIDOS DISUELTOS	PRUEBA GRAVIMÉTRICA
CONDUCTIVIDAD	CONDUCTÍMETRO
pH	POTENCIÓMETRO
TEMPERATURA	TERMÓMETRO DE MERCURIO
NITRÓGENO ORGÁNICO	KJELDHAL
NITRÓGENO AMONIACAL	KJELDAHL
NITRITOS	DIAZOTIZACIÓN
NITRATOS	BRUCINA
ORTOFOSFATOS	CLORURO ESTANOSO
FOSFATOS TOTALES	DIGESTIÓN
SAAM	AZUL DE METILENO
OXÍGENO DISUELTO	OXÍMETRO
ALCALINIDAD TOTAL	TITULACIÓN
DUREZA TOTAL	TITULACIÓN CON EDTA
DUREZA DE CALCIO	TITULACIÓN CON EDTA
DUREZA DE MAGNESIO	DIFERENCIA DE DT – D _{Ca}
CLORUROS	ARGENTOMÉTRICO
SULFATOS	TURBIDIMÉTRICO

Cuadro 2. Técnicas de análisis para la determinación de los parámetros bacteriológicos.

PARÁMETRO	TÉCNICA.
COLIFORMES TOTALES	N.M.P
COLIFORMES FECALES	N.M.P

Cuadro 3. Usos del agua según el Índice de Calidad (ICA)

ICA	USO PÚBLICO	RECREO	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIA AGRÍCOLA	NAVEGACIÓN	TRANSPORTE DESECHOS TRATADOS.
100	Aceptable No requiere purificación	Aceptable	Aceptable	Aceptable No requiere purificación		
90	Requiere una ligera purificación	Para todo tipo de deporte acuático	para todo tipo de organismo.	Requiere una ligera purificación		
80						
70	Mayor Necesidad de tratamiento	Aceptable pero no Recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la	Aceptable para todo tipo de navegación.	Aceptable
60			Dudoso para especies sensibles	Industria normal		Para todo tipo de transporte de desechos
50	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo para organismos	Con tratamiento para la		tratados
40	Inaceptable	Sin contacto con el agua	Muy resistentes	Mayor parte de la industria		
30		Muestras obvias de contaminación	Inaceptable	Uso muy restringido	Contaminado	
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	
10						Inaceptable
0						

FUENTE: SARH. (1979)

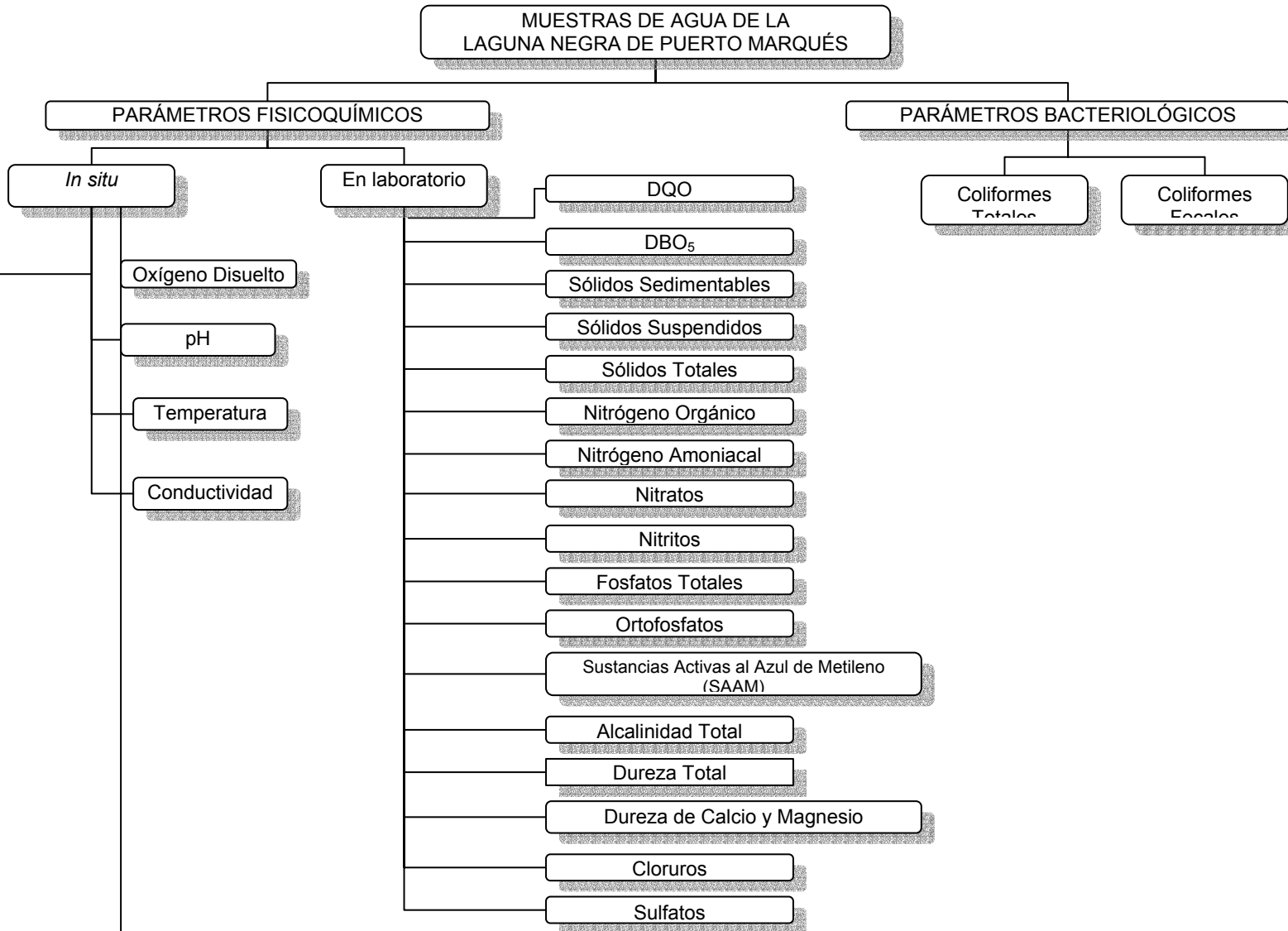


Fig. 2. Diagrama de Flujo de los Métodos Utilizados

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

VI.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Con los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, se calcularon las medias (tabla 4) y las medias geométricas de los parámetros bacteriológicos (tabla 5).

Con las medias de los parámetros, se calcularon los Índices de Calidad del Agua (ICA) por cada estación de muestreo de acuerdo a los criterios propuestos por la SARH (1979), cuyos valores se presentan en la tabla 6, en donde se pueden apreciar que éstos oscilaron entre 51 y 66%, siendo las estaciones Princess y Revolcadero las que presentaron la mejor calidad, esto es justificable ya que la depuración que se va obteniendo hasta la estación Revolcadero se vuelve a incrementar en Puente, puesto que ahí llega otra descarga de aguas residuales de tipo doméstico e industrial provenientes del poblado de Puerto Marqués incluyendo las aguas provenientes de la planta de tratamiento de esta población, así como de Cd. Renacimiento y del río La Sabana, volviendo a bajar el ICA en este punto y posteriormente la capacidad de dilución de la laguna vuelve a favorecer el ICA en la estación Princess.

VI.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN

Con el objeto de evaluar el grado de degradación presentado a lo largo de la laguna ya sea por dilución de los contaminantes que son arrojados a dicha laguna o por la acción del mangle como sistema purificador, el cual cubre aproximadamente las tres cuartas partes de la laguna, se hizo una aproximación del cálculo de los porcentajes de remoción de materia orgánica, sólidos suspendidos y bacterias. Para esto se consideró la estación 3 (100 metros) como el afluente, por ser ésta donde se juntan los desechos provenientes de las

estaciones 1 y 2 (descargas A y B). La estación 7 (Princess) fue considerada como el efluente por ser la última estación de muestreo antes de salir al mar.

Los resultados se presentan en la tabla 7.

Los valores de DBO_5 presentaron una degradación de 55% lo cual coincide con un incremento ligero de la concentración de oxígeno y por consiguiente una disminución de materia orgánica. La DQO fue de 14.5%, lo cual también es lógico si tomamos en cuenta que la DQO oxida tanto materia orgánica como inorgánica (Robles *et al.*, 2004) y que el agua costera es muy alta en sales inorgánicas, como se puede apreciar en los resultados y que conforme se acerca al mar las últimas estaciones de muestreo se vieron incrementadas en gran cantidad, las concentraciones de sales, por lo tanto la remoción de la DQO no pudo ser alta.

En cuanto a los sólidos suspendidos estos, a excepción de la estación 6 se vieron incrementados en la estación 5 como consecuencia del azolvamiento gradual originado por los sólidos suspendidos transportados por el río La Sabana, los cuales consisten en productos terrígenos de la erosión pluvial y desechos sólidos generados en la cuenca del río y los márgenes de la laguna por el poblado de Puerto Marqués (CNA, 1992). Posteriormente hay una ligera disminución como consecuencia de la dilución para volverse a incrementar en la estación 7, la cual tiene cercanía con el mar lo cual sugiere la entrada de agua marina a la laguna incrementando la concentración en algunos parámetros como los sólidos suspendidos. Conforme se va alejando de esta estación hacia los sitios de aporte de agua dulce se aprecia una disminución. Las dos corrientes acuáticas engendran sedimento de origen marino y terrestre. La distribución de éstos se determina por la acción de las corrientes locales y aparecen partículas de mayor tamaño mientras más fuerte es la corriente y viceversa. En términos generales, los sedimentos dominantes son de tamaño pequeño como el cieno, el fango y la arcilla; en los canales de circulación, conformados por la acción de la marea o la influencia de los ríos predominan las arenas. Otro fenómeno originado por las dos

masas de agua es la turbidez, asociada por la existencia notable de material de origen terrígeno en suspensión (Contreras, 1985).

En lo que se refiere a las bacterias cabe aclarar que si los porcentajes son muy altos no significa que ya no hay bacterias a la salida sino que se partió de concentraciones muy altas y aunque la degradación y dilución favoreció con una degradación muy alta, existen ciertas concentraciones en la salida pero que se encuentran dentro de los límites que indican los Criterios Ecológicos (10,000/ 100 ml).

Cuadro 4 Medias de los Parámetros Físicoquímicos

Estación	S. D mg/l	Cond µmho/ cm	SO ₄ mg/l	D. T mg/l	Cl ⁻ mg/l	Alc. mg/l	pH	S.S mg/l	O.D: Mg/l	DQO mg/l	DBO ₅ mg/l	N-NH ₃ mg/l	P-PO ₄ mg/l	P. tot mg/l
1	487	720	77	145	33	248	7.3	20.8	1.79	79	14.2	2.1	0.69	1.3
2	471	332	162	164	39	252	7.2	42.8	2.29	125	19.3	2.3	0.64	1.2
3	5411	7989	304	1328	2676	239	1.5	39	2.14	247	28	1.29	0.72	1.14
4	6280	9241	348	1445	3133	234	7.2	39	2.79	299	19.8	1.3	0.83	1.11
5	6667	9897	380	1834	3486	368	7.5	55	2.26	286	14.3	2.7	0.79	1.07
6	8053	11854	434	1768	3975	410	7.5	30.8	2.15	268	17.7	0.5	1.00	1.4
7	8234	11993	446	1789	4152	386	7.5	44	3.00	211	12.5	0.5	0.65	1.7

Estaciones: 1 = Descarga A;
 2 = Descarga B
 3 = 100 metros
 4 = Placetón
 5 = Revolcadero
 6 = Puente
 7 = Princess

Cuadro 5. Medias geométricas de los parámetros bacteriológicos

Parámetro	Estaciones de muestreo						
	1	2	3	4	5	6	7
Coliformes totales NMP/100 ml	108148	26594	134506	30107	909	1057	1428
Coliformes fecales NMP/100 ml	80432	20827	109849	26567	755	821	733

Estaciones: 1 = Descarga A;
 2 = Descarga B
 3 = 100 metros
 4 = Placetón
 5 = Revolcadero
 6 = Puente
 7 = Princess

Cuadro 6. Índices de Calidad del Agua para cada Estación de Muestreo

Estación	Índice de Calidad del Agua (ICA) %	Uso recomendado de acuerdo al ICA obtenido.
Descarga A	60	Recreación: Aceptable pero no recomendable. Pesca y vida acuática: Excepto especies muy sensibles.
Descarga B	54	Recreación: Sin contacto con el agua. Pesca y vida acuática: Dudoso para especies sensibles.
100 metros	54	Recreación: Sin contacto con el agua. Pesca y vida acuática: Dudoso para especies sensibles.
Placetón	51	Recreación: Dudoso para contacto directo. Pesca y vida acuática: Dudoso para especies sensibles.
Revolcadero	66	Recreación: Aceptable pero no recomendable. Pesca y vida acuática: Excepto especies muy sensibles.
Puente	60	Recreación: Aceptable pero no recomendable. Pesca y vida acuática: Excepto especies muy sensibles.
Princesa	65	Recreación: Aceptable pero no recomendable. Pesca y vida acuática: Excepto especies muy sensibles.

Cuadro 7. Remoción de Materia Orgánica, Sólidos y Bacterias

Parámetro	DBO₅	DQO	Sólidos Suspendidos	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
% de Remoción	55	14.5	0	99	98

VII. CONCLUSIONES

- ❖ El uso actual de la laguna es de conservación de flora y fauna. Con el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) se obtuvo para la estación 4 (Placetón) un uso dudoso tanto para recreación con contacto directo y para pesca y vida acuática dudoso para especies sensibles. Las estaciones 1 (descarga A), 2 (Descarga B) y 3 (100 metros) presentaron uso para recreación sin contacto directo y para pesca y vida acuática dudoso para especies sensibles, ya que en estas estaciones se presentó la contaminación más alta. Mientras que las estaciones 5 (Revolcadero), 6 (Puente) y 7 (Princess) presentaron un uso para recreación aceptable pero no recomendable y para pesca y vida acuática adecuada excepto especies muy sensibles.

- ❖ En base a los usos obtenidos de acuerdo al ICA se puede advertir que existen zonas que debido a las descargas que se vierten están alterando el uso actual de la laguna y que de no tomarse las medidas pertinentes acabarán destruyendo este refugio florístico y faunístico que tiene actualmente este humedal natural

- ❖ La laguna como humedal natural con su manglar, está funcionando en la depuración de contaminantes como materia orgánica y bacterias sin embargo las descargas de desechos crudos que recibe en diferentes puntos no le permiten obtener una mejor depuración por lo que es necesario que las descargas se canalicen todas hacia la planta de tratamiento que ya existe con el fin de lograr que el sistema funcione de una manera óptima y que el grado de autodepuración aumente de manera significativa.

VIII. REFERENCIAS

- ❖ Aguilar R I. (2002). “Estudio Bacteriológico y Físicoquímico de la Calidad del Agua de la Laguna de Mecoacán, Tabasco”. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. Estado de México.
- ❖ American Public Health Association. (1998). “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 20^a Edit. Washington. D.C.
- ❖ Anzures A, Meneses Y, Villatoro R y Luna C. (1995). “Enterobacterias en Agua, Sedimento y Camarón Blanco (*Penaeus vannamei*) del Mar Muerto, Chiapas”. Gaceta Médica de México 131 (1). 1995.
- ❖ Bañuelos Y. (1982). “Variación Estacional de la Contaminación Bacteriana Coliforme en Tres Lagunas Costeras del Estado de Tabasco, México”. Tesis Profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 34 p.
- ❖ Barrera G. (1995). “Contaminación de Origen Fecal en la Laguna de Tamiahua, Veracruz y su Influencia en Tres Especies de Importancia Comercial”. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias, UNAM. 60 p.
- ❖ Bautista M L M. (2001). “Estudio de la Calidad Físicoquímica y Bacteriológica de la Bahía de Banderas y sus Problemas de Contaminación”. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. Estado de México.
- ❖ Becerra N y Botello A. (1994). “Bacterias Coliformes Totales y Fecales en el Sistema Lagunar Chantuto- Panzacola, Chiapas, México”. III Congr. de Ciencias del Mar. Febrero, La Habana, Cuba.
- ❖ Botello 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. Centro Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 5(1):159-178.
- ❖ Botello A. y Páez F. (1987) “El Problema Crucial: la Contaminación, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Centro de Ecodesarrollo”, Vol. 1 México 180 p.
- ❖ Camerón K, Madramootoo C, Crolla A y Kinsley C. 2003. “Pollutant Removan from Municipal Sewage Lagoon Effluents with a Free-Surface Wetland”. Water.Research. 37: 2803-2812.

- ❖ CECODES. (1981) “Las Lagunas Costeras de Tabasco. Un Ecosistema en Peligro.” Centro de Ecodesarrollo. 109 p.
- ❖ CNA (Comisión Nacional del Agua). (1991). “Informe del Estudio de Clasificación de las Aguas de la Laguna de Coyuca”. CNA. México.
- ❖ CNA (Comisión Nacional del Agua). (1992). “Informe del Estudio de Clasificación de las Aguas de la Laguna Negra de Puerto Marqués”. CNA. México. 45 p.
- ❖ CNA (Comisión Nacional del Agua). (1990). “Informe del Estudio de Clasificación de las Aguas de la Laguna Tres Palos”. CNA. México.
- ❖ CNA (Comisión Nacional del Agua). (1988). “Informe del Estudio de Clasificación de las Aguas del Río La Sabana”. CNA. México.
- ❖ Contreras E F. (1985) “Lagunas Costeras Mexicanas”. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. México 253 p.
- ❖ DSNY (Departamento de Sanidad de Nueva York). (1990). “Manual de Tratamiento de Aguas Negras”. Limusa. México. 227 p.
- ❖ Jiménez C B E. (2002). “La Contaminación Ambiental en México”. Ed. Limusa. México D.F.
- ❖ Lagunes C, Pacheco J, Brito E. y Castillejos B. (1994). “Contaminación Bacteriana en Agua, Sedimento y Organismos de los Bancos Ostrícolas del Sistema Pom- Atasta, Campeche, México”. Res. III Congr. de Cienc
- ❖ Metcalf y Eddy. (1985) “Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, Evaluación y Reutilización de Aguas Residuales”. 2ª Edición. Labor. Barcelona. España. 969 p.
- ❖ Miranda B P. (1999). “Evaluación de un Sistema de Tratamiento Biológico Incluyendo una Fase de Lecho de Raíces como Alternativa para el Tratamiento del Efluente del Rastro del Municipio de Pachuca Hidalgo y su Posible Reuso en la Comunidad”. Tesis de licenciatura. UNAM. ENEP-IZTACALA. México. 77 p.
- ❖ Pesson J P. (1979). “La Contaminación de las Aguas Continentales (Incidencias sobre las Biocenosis Acuáticas)”. Mundi - Prensa. Madrid. 331 p.

- ❖ Rivera A F. y Calderón V A. (1993). "Biotratamiento de Aguas Negras." Información Científica y Tecnológica, CONACyT. 15 (203): 12-15
- ❖ Rivera A F, Warran A, Curds C, Robles E, Gutiérrez A, Gallegos E y Calderón A. (1997). "The Application of the Root Zone Method for the Treatment and Reuse of High – Strength Abattoir Waste in Mexico". Wat. Sci. Tech. 35 (5): 271-278.
- ❖ Robles V E, Gallegos N E, Calderón V A y Saíenz M G. (1993). "Remoción de Materia Orgánica en un Sistema de Tratamiento de Lechos de Raíces". Revista Ciencia y Tecnología. CONACYT 15 (203):26-28
- ❖ Robles V E, Rivera A F; Gallegos N E y Rivera A V. (1991). "Técnicas de Análisis Físicoquímicos y Bacteriológicos del Agua y Aguas de Desecho". Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. México. 79 p.
- ❖ Robles V E, Ramírez P, Saíenz M G, Ayala R, Martínez M E y González M E. (2003). "Aplicación del Índice de Calidad del agua (ICA) en la Presa Valle de Bravo, Estado de México". III Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Red Iberoamericana de Química Ambiental (RIQA). 6-10 octubre. Atlihuetzia Tlaxcala, México.
- ❖ Robles V E, González A M E. Y Castillo N P, (2004). "Los Contaminantes Químicos del agua y sus efectos en el hombre y el medio ambiente". UNAM FES Iztacala 120 p.
- ❖ Rodríguez H. y Romero J. (1981). "Niveles de Contaminación Bacteriana en Dos Sistemas Fluvio- Lagunares Asociados a Laguna de Términos, Campeche". An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 8(1):63-68.
- ❖ Romero J y Rodríguez H. (1982). "Niveles Actuales de Contaminación Coliforme en el Sistema Lagunar del Carmen- Machona, Tabasco". An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 9(1):121-126.
- ❖ SARH. (1979). "Índice de Calidad del Agua". Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. México. D.F.
- ❖ Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del Agua".

- ❖ Solis S. (1988). “Investigación e Informe sobre las Principales Fuentes de Contaminación y Algunos Efectos sobre los Cuerpos de Agua en el Estado de Veracruz”. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias Biológicas U.V. 43 p.
- ❖ Yañez A A. (1988). “Ecología de los Ecosistemas Costeros”. Anales Facultad de Ciencias., UNAM. México D.F.