

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

**EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DESDE EL PUNTO DE VISTA  
BACTERIOLOGICO Y FISICOQUIMICO EN EL LAGO DE PATZCUARO, MICHOACAN, MEXICO.**

**M A R I S A   M   A Z A R I N I R I A R T   •  1981**



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.

I N D I C E .

1. INTRODUCCION	1
2. ASPECTO BACTERIOLOGICOS EN LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA	5
3. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	21
4. MATERIALES Y METODOS	29
5. RESULTADOS	33
6. DISCUSION	35
7. CONCLUSIONES	44
BIBLIOGRAFIA	47

## 1. INTRODUCCION.

En México la inadecuada planeación de los centros urbanos ha provocado que los cuerpos de agua sean utilizados para el vertimiento de aguas residuales sin previo tratamiento. Estas aguas contienen materia orgánica que proviene, en parte, de los desechos fecales de organismos homeotermos, transformándose en un foco potencial de enfermedades entéricas para el hombre. Además, esta materia orgánica, puede llegar a sobrepasar la capacidad autodepuradora del sistema, alterando tanto sus elementos bióticos como abióticos, por lo que resulta importante llevar a cabo estudios para determinar el grado de contaminación al que están expuestos.

La contaminación de los sistemas acuáticos, ya sea química o biológica, se ve reflejada en la biocenosis, debido a que los organismos presentan diferentes límites de tolerancia, lo que determina una composición específica. La presencia de determinados organismos, considerados como indicadores, será de gran utilidad en la evaluación del daño provocado a un ecosistema. Esta evaluación puede ser complementada con la cuantificación de ciertos parámetros físicoquímicos, lo que le brinda una mayor confiabilidad.

Las bacterias coliformes han sido utilizadas desde 1880 como indicadores de la calidad sanitaria del agua, teniendo gran valor la cuantificación de coliformes fecales, ya que se consideran indicadores de posible contaminación por animales homeotermos.

La cuenca del lago de Pátzcuaro, con una población de aproximadamente 80 000 habitantes, distribuidos en 100 asentamientos humanos -isleños, ribereños y serranos-, con deficiencias tanto en el sistema de drenaje como en el de abastecimiento de agua potable, se ha visto alterada a través de los años. Esto, aunado a la explotación irracional de los bosques, al sobrepastoreo y al azolvamiento creciente del lago, con la consi

guiente proliferación de malezas acuáticas, han venido a modificar las condiciones naturales del mismo.

La región del estado de Michoacán donde se encuentra localizado el lago de Pátzcuaro, ha sido objeto de muchos estudios históricos, geográficos y biológicos, dada su importancia desde la época pre-hispánica como centro de la cultura purépecha, así como por encontrarse en una zona, poco extensa, con una configuración fisiográfica particular y una gran cantidad de recursos naturales (Toledo *et al.*, 1980).

Desde el punto de vista ecológico se han llevado a cabo estudios sobre plancton, ictiofauna, vegetación, asimismo se tiene información sobre aspectos de hidrología y meteorología.

En un principio los trabajos fueron apreciaciones visuales, tanto en el propio lago como en los poblados y mercados (Cuesta Terrón, 1931; Berriozábal, 1936; Matsui y Yamashita, 1936; Matsui, 1936, 1937; Quevedo, 1936). En el año 1937 se instala la Estación Limnológica de Pátzcuaro, con el propósito de llevar a cabo trabajos de investigación en el lago y sus alrededores (Matsui, 1937). A partir de esta fecha, el lago de Pátzcuaro ha sido objeto de estudios de diversa índole, tales como el realizado por Yamashita (1939) sobre variaciones en los parámetros químicos y físicos en las diferentes porciones lacustres; asimismo se refiere a las especies predominantes del plancton de manera muy general. Existe un Prospecto Biológico, realizado en 1940 por un grupo de investigadores del Instituto de Biología de la U.N.A.M. en el que se hace referencia al plancton, esponjas, hidrozoarios, hirudíneos, moluscos, insectos, crustáceos, vertebrados y macrofitas, incluyendo el análisis químico del agua (Ancona *et al.*, 1940). Sobre plancton se pueden mencionar los trabajos de Uéno (1939) y Brehm (1942). Osorio Tafall en 1941a y 1944 realizó investigaciones sobre el mismo tema, incluyendo en su último trabajo algunos aspectos sobre macrofauna y vegetación acuática del lago.

Los trabajos sobre ictiología, piscicultura y artes de pesca, refiriéndose a las especies Micropterus salmoides, Algansea lacustris y principalmente al género Chirostoma, fueron realizados por: De Buen (1940a,b, 1941b,c,d, 1944a, 1945); Espinosa Natarén (1941); Xirau (1941); Solórzano (1955, 1961, 1963); Alvarez y Cortés (1962); Moya (1970); Rosas (1970, 1976b,c); Alvarez (1972); Lara Vargas (1974) y Herrera (1979).

Sobre crustáceos existe un trabajo llevado a cabo por Rosas (1976a) referente al cultivo de Cambarellus montezumae patzcuarensis, mencionado antes por Villalobos (1955).

En lo que se refiere a estudios sobre aves, reptiles y mamíferos, existen reportes en los boletines de la Estación Limnológica de Pátzcuaro (Informe No. 42, 1943). Hall y Villa (1950) realizan un trabajo sobre mamíferos de Michoacán.

Puede citarse una publicación sobre vegetación del lago enfocada a malezas acuáticas, básicamente lirio acuático (Eichhornia crassipes) llevado a cabo en 1971 por Calderón y Angeles.

De 1977 a 1980 se realizaron una serie de investigaciones sobre etnobiología de la cuenca, publicado a la fecha, Toledo et al., 1980 y un trabajo sobre Etnomicología Purépecha llevado a cabo por Mápes, Guzmán y Caballero (1981). Referente a la vegetación tanto terrestre como acuática, se puede citar la Gufa Botánica de Excursiones de México (Caballero et al., 1981).

En cuanto a limnología pueden citarse los trabajos de De Buen (1941a, 1943, 1944b). También existen investigaciones hidrológicas realizadas por Villarello (1909), en donde se menciona el lago de Pátzcuaro; De Buen y Zozaya (1942) citan las variaciones de nivel del lago durante los años 1939 a 1941. Sobre meteorología, Zozaya (1941) lleva a cabo observaciones termopluviométricas. Jauregui y Soto (1970) realizan una caracterización de la precipitación y otros elementos del clima en el estado de Michoacán. Blásquez y Lozano (1946) llevan a cabo un estudio sobre hidrogeología y minerales no-metálicos de la zona norte del mismo estado. Sobre sedimentos del lago está el estudio realizado por Hutchinson, Patrick y Deevey (1956), en el que se

hace un análisis de polen y fitoplancton, relacionándolos con la historia sedimentaria. Actualmente se lleva a cabo un estudio limnológico sobre los lagos de Pátzcuaro, Cuitzeo y Zirahuén por investigadores del Instituto de Biología de la U.N.A.M.

Considerando lo mencionado anteriormente, se puede decir que aún cuando existen trabajos de investigación de la zona, hacen falta estudios particulares para determinar la calidad del agua del lago, dada la importancia que tiene desde diversos puntos de vista, que incluye tanto el doméstico, agrícola, recreacional, como para el desarrollo de organismos acuáticos.

Cabe mencionar que a pesar de que existe gran cantidad de información, ésta es muy diversa y no se ha llevado a cabo una integración seria de la misma, con el fin de analizar alternativas y proponer soluciones a algunos de los principales problemas que se presentan en esta región.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene por objeto evaluar la calidad del agua del lago de Pátzcuaro, basándose en la cuantificación de bacterias indicadoras, tales como: coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales, complementando con parámetros fisicoquímicos, para conocer la influencia que está ejerciendo la descarga de desechos de los poblados adyacentes al mismo.

## 2. ASPECTO BACTERIOLOGICO EN LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA.

### Distribución de las bacterias en un ecosistema acuático.

Todo cuerpo de agua posee una población bacteriana autóctona, que se mantiene como parte regular del ecosistema (Welch, 1952). Las transformaciones de la materia orgánica a través del metabolismo microbiano son fundamentales en la dinámica del ciclo de nutrientes y flujo de energía dentro del mismo (Wetzel, 1975). Las bacterias autóctonas pueden agruparse en, planctónicas, bentónicas y perifíticas, aunque no pueden dividirse tajantemente (Welch, 1952).

La población bacteriana, presenta variaciones en su distribución, tanto en sentido vertical como horizontal, debido a la influencia de diversos factores ambientales, tales como: luz, la cual puede presentar un cierto poder bactericida, sobre todo en la capa superficial del agua; temperatura, que tiene un efecto directo sobre la densidad bacteriana, cada especie presenta una temperatura metabólica óptima, viéndose ésta favorecida al haber un incremento en la temperatura y por el contrario una disminución al llegar al punto de congelación, sin producir la muerte; pH, factor de cierta importancia, ya que pocas bacterias toleran extremos de acidez o alcalinidad, el intervalo va de 4 a 9 y cada bacteria presenta un óptimo. De los gases disueltos en el agua, el oxígeno es favorable para algunas bacterias, mientras que el bióxido de carbono y el ácido sulfhídrico lo son para otras.

Los constituyentes inorgánicos del agua también ejercen cierta influencia, en algunos casos favorable, en otros inhibitoria. La densidad de la población bacteriana en el agua depende, en gran medida, de la cantidad de nutrientes disponibles. Todas las bacterias presenta requerimientos nutricionales específicos para su supervivencia, la competencia tanto por nutrien



tes como por espacio limita la reproducción en cualquier caso particular, aún si otros factores permanecen favorables.

Las bacterias son depredadas por otras bacterias, protozoarios, rotíferos, moluscos, insectos y crustáceos, por lo que la densidad encontrada en un momento dado, depende en cierta forma, de la interrelación con otros organismos (Welch, 1952; Holden, 1970; Kuznetov, 1970).

Los cambios estacionales tienen una marcada y compleja influencia sobre las bacterias que se presentan en aguas superficiales, por lo que la distribución estacional de las poblaciones es muy variable de lago a lago y aún de un año a otro en el mismo lago (Holden, 1970; Wetzel, 1975).

Un carácter sobresaliente observado en lagos, es que la población microbiana se incrementa en gran número en la capa de agua inmediata al sedimento y en la superficie del mismo. Este incremento es de un orden de magnitud de 3 a 5 del agua a los sedimentos superficiales y decrece rápidamente dentro de los sedimentos conforme aumenta la profundidad, de acuerdo con Wetzel (1975).

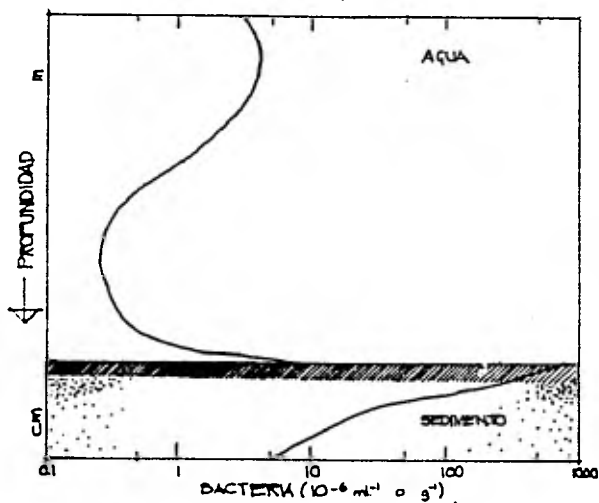


Figura 1. Esquema general de la distribución del número de bacterias en agua y sedimento en un lago moderadamente productivo -tomado de Wetzel, 1975-.

La mayoría de los microorganismos requieren de un ambiente acuoso para crecer y la discontinuidad de la fase acuosa constituye una superficie en la que la actividad microbiana puede alterarse substancialmente. Las interfases entre sólido-líquido, gas-líquido y líquido-líquido poseen propiedades físicoquímicas que en términos de actividad microbiana son importantes como fuentes potenciales de nutrientes o sitios de acumulación potencial de nutrientes.

Así, esta fase adyacente a los componentes sólidos organizados en los sedimentos que se desarrollan en condiciones de lo más constante, proporcionan el principal medio para el crecimiento y desarrollo de microorganismos dentro de este ecosistema (Marshall, 1978, 1980; Geldreich, 1981).

#### Organismos Indicadores.

A través de los años, se han venido desarrollando diversos métodos para evaluar la calidad del agua, recurso de primera necesidad desde el punto de vista urbano, industrial, agrícola y piscícola. Hace 10 años, éstos métodos se basaban en los aspectos químico e ingenieril, tomando con reserva los biológicos (Wilber, 1969). Este punto de vista, no tomaba en cuenta los diferentes tipos de información que estos métodos proporcionan. Los indicadores biológicos muestran el grado de de equilibrio ecológico y los métodos químicos, cuantifican la concentración del contaminante responsable de esta alteración. Por lo tanto, ambos tipos de evaluación son necesarios (James, 1979), considerándose actualmente no alternativos sino complementarios. Así vemos, de acuerdo con James y Evison (1979), que la evaluación de la calidad del agua descansa en la delicada interfase entre física, química y biología.

Puesto que la contaminación de los sistemas acuáticos, ya sea química o biológica se ve reflejada en la biocenosis, es

lógico que pueda ser evaluada biológicamente (James, 1979), ya sea por métodos directos o indirectos. Dentro de los métodos indirectos, resultan ser de gran utilidad los organismos indicadores; aún cuando no existe un indicador ideal, sino un mejor indicador, de acuerdo con lo que se desea evaluar (Cabelli, 1979). El papel de las bacterias como indicadores está relacionado con el más serio riesgo a la salud humana, asociado directamente con la propagación de enfermedades.

En el caso de la contaminación por materia orgánica, tiene un gran valor la evaluación bacteriológica, que de acuerdo con Evison (1979), presenta ciertas ventajas, tales como:

- que es fácil distinguir la contaminación fecal de otras formas de contaminación.
- que las pruebas microbiológicas, particularmente los análisis bacteriológicos son extremadamente sensibles.
- muchas de las pruebas bacteriológicas han llegado a tal grado de desarrollo, que es relativamente fácil obtener resultados confiables.
- dado que la evaluación bacteriológica del agua proporciona rápidamente un resultado cuantitativo, ha sido posible definir los estándares microbianos de calidad de agua para diferentes usos. Estos estándares deberán estar basados en la dosis mínima infecciosa, lo que brindará protección al hombre y ocasionalmente a los animales.

El establecimiento de estándares presenta ciertos problemas, asociados con la determinación de niveles microbianos que aseguren la calidad del agua.

El determinar cual es el nivel base de enfermedad en la comunidad es de gran importancia, ya que ello servirá para decidir cual sería el incremento aceptable asociado con un uso particular del agua (Figura 2).

Otro problema, sería la selección de los organismos apropiados que indicaran el riesgo particular al que el hombre está expuesto.

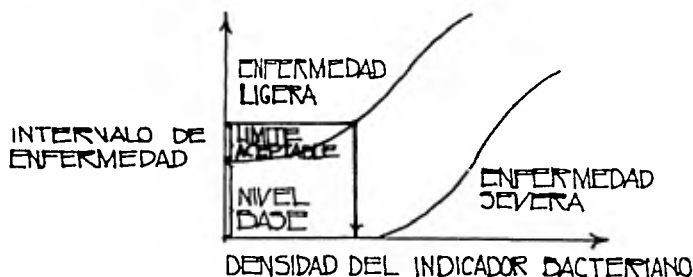


Figura 2. Datos epidemiológicos para determinar la calidad del agua -tomado de Evison, 1979-.

Las bacterias coliformes fueron elegidas como indicadoras de calidad del agua, basándose en el trabajo de Escherich, quién en 1885 identificó Bacillus coli como característico de heces de animales homeotermos. La presencia de estos organismos en el agua, se asumía que era un riesgo potencial a la salud por su asociación en el intestino con microorganismos patógenos tales como: Salmonella, Shigella, Vibrio, Mycobacterium, Pasteurella, Leptospira y virus entéricos (Dutka, 1973).

En la actualidad el término 'bacterias coliformes' es usualmente empleado para incluir organismos de la familia Enterobacteriaceae que fermentan lactosa con producción de ácido y gas (Holden, 1970). Se considera que las coliformes o grupo de coliformes totales incluye bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gram-negativos, que no forman esporas y fermentan lactosa en 24-48 horas a 35 °C e incluyen los géneros Escherichia, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella (U.S. Environmental Protection Agency, 1978).

A través de los años se vió que éste como único método de evaluación presentaba serias deficiencias, considerando como indicadores más específicos de contaminación fecal por animales homeotermos a las coliformes fecales, que son parte del grupo de coliformes totales; éstas son bacterias gram-negativas, no formadoras de esporas, con forma de bacilo, fermentan lactosa en 24-48 horas a 44.5 °C, con producción de gas. La principal

especie del grupo es Escherichia coli, bacteria indicadora de contaminación fecal reciente y posible presencia de patógenas entéricas (U.S. Environmental Protection Agency, 1978). La presencia de coliformes en ausencia de E. coli puede hacer suponer la posibilidad de principios de contaminación o de una antigua contaminación fecal. Debe enfatizarse que el peligro no reside en la presencia de coliformes por sí mismas, sino en la posible asociación con organismos patógenos, ya que algunas veces se infiere de esto que la ausencia de coliformes excluye la posibilidad de patógenos.

Las bacterias coliformes presentan la característica de poder aislarse fácilmente de medios con una pequeña o nula conexión con contaminación fecal, mientras que los streptococos son organismos que rara vez se encuentran en lugares donde no existe este tipo de contaminación y nunca, o casi nunca, se multiplican en aguas naturales, presentando una mayor supervivencia potencial en el agua, por lo que son usados como indicadores de la misma manera que E. coli (Dutka, 1973).

El término 'streptococos fecales' o grupo D Lancefield de Streptococos, se usa para describir bacterias que indican calidad de agua, en este grupo se incluyen las siguientes especies y variedades: Streptococcus faecalis, S. faecalis subesp. liquefaciens, S. faecalis subesp. zymogenes, S. faecium, S. bovis y S. equinus (U.S. Environmental Protection Agency, 1978).

Todos los miembros del género Streptococcus son bacterias gram-positivas, no forman esporas; cuando fermentan carbohidratos, el ácido láctico es el principal producto, no producen gas, usualmente son inmóviles aunque algunas flageladas pueden presentar movimiento (Holden, 1970).

Considerando que con un solo parámetro no se puede caracterizar adecuadamente un cuerpo de agua y que no existe un Sistema de Indicadores Bacterianos Universal, se ha propuesto usar una cierta variedad de pruebas o indicadores que estimen adecuadamente la calidad del agua y el riesgo potencial a la salud hu

mana.

Actualmente se desarrollan diversas técnicas, utilizando en conjunto varios organismos, tales como: Clostridium perfringens, Pseudomona aeruginosa, Staphylococcus aureus, Candida albicans, Proteus mirabilis, así como enterovirus, bifidobacterias, técnicas de ATP, epi-fluorescencia y detección de sustancias como esteroides y coprostanol, entre otras (Dutka, 1979; Geldreich, 1981).

Aún cuando existe gran controversia en la validez del concepto de indicadores (Geldreich, 1981), éstos continúan usándose, dado que no existen métodos equivalentes que reemplacen los actuales, sin embargo, el principio de indicador en contaminación bacteriológica es una necesidad (Dutka, 1973).

#### Criterios establecidos para calidad de agua.

El agua como recurso básico, tiene muy diversos usos: doméstico, agrícola, recreacional, para la pesca, para la navegación y para la generación de energía, cada uno de los cuales requiere de una calidad diferente.

La evaluación de la calidad del agua está basada en criterios, asignados de acuerdo con ciertas características que deberá presentar el agua, para brindar al hombre el mayor beneficio posible.

El criterio que se utiliza para establecer la calidad del agua, se basa en los aspectos cuali y cuantitativo de sus características físicas, químicas y biológicas (U.S. Environmental Protection Agency, 1972).

De acuerdo con Cabelli (1978), un criterio de calidad establecido con base en indicadores, se define como una relación cuantitativa entre la densidad del indicador en el agua y el riesgo potencial que pueda ejercer sobre los organismos, dependiendo del uso que se le dé. Una recomendación, es el límite

máximo de densidad del indicador en el agua, asociado con el riesgo potencial a la salud. Un estándar, de acuerdo con Evison (1979), es cualquier regla más o menos permanente y de amplia aplicación, establecida de manera autoritaria con propósitos reguladores; lo que vendría a ser una legislación de la recomendación.

Estas recomendaciones y estándares, no pueden considerar se inmutables, ya que pueden variar geográfica o temporalmente dependiendo de factores tales como el grado de enfermedad de los individuos cuyos desechos contaminan el agua, el nivel de inmunidad de la población y el riesgo considerado aceptable en ese momento (Cabelli, 1978).

Agua para uso doméstico.

El agua para uso doméstico, que es suministrada a través de las redes de distribución de agua potable, puede obtenerse directamente del nivel freático, con simple clorinación o de cuerpos de agua superficiales, sometida a diferentes tipos de tratamiento, según lo requiera, antes de ser abastecida.

Según Cabelli (1978), se asume que un agua tratada y abastecida como agua potable, no deberá contener microorganismos patógenos, aún cuando ésto es realmente difícil; una idea más real es que aún bajo condiciones epidémicas en una población cuyos desechos puedan contaminar la fuente de agua, exista un equilibrio en la combinación de purificación natural, tratamiento y desinfección, gracias a lo cual las infecciones debidas al agua se presentan rara vez o no se presentan y que la probabilidad de casos esporádicos de enfermedades infecciosas sea aceptablemente reducido.

Un gran número de organismos patógenos son transportados por el agua, tales como, virus, bacterias, protozoarios, helmintos y hongos, los cuales se encuentran en los desechos fecales y urinarios del hombre y animales inferiores. Estos pueden contaminar las fuentes de agua potable o su sistema de distribución, produciendo enfermedades tales como: gastroenteritis, he

patitis infecciosa, shigelosis, giardiasis, fiebre tifoidea y paratifoidea; salmonelosis, amibiasis y poliomeilitis, entre otras (Cabelli, 1978).

El uso de indicadores como Escherichia coli o coliformes, presupone que cuando la densidad de indicador es baja ( $<1$  por 100 ml), la probabilidad de la presencia de patógenos es muy baja, por lo tanto, cualquier ocurrencia de coliformes fecales en el agua, es una primera evidencia de contaminación por desechos de algún animal homeotermo y al incrementarse la densidad de coliformes fecales, el riesgo potencial de enfermedades aumenta, surgiendo a la vez, una necesidad inminente de tratamiento del agua.

Por ésto, se recomienda que la densidad de coliformes fecales y coliformes totales en aguas superficiales, sin tratamiento, consideradas como fuente de agua potable no sobrepasen una media geométrica de 2,000/100 ml y 20,000/100 ml, respectivamente (U.S. Environmental Protection Agency, 1972; Urroz, 1973; American Fisheries Society, 1979; Bordner, 1981).

Para agua potable, el estándar del Public Health Service citado por Cabelli (1978), indica una densidad límite de 1 organismo coliforme/100 ml. De acuerdo con las Normas Mexicanas de Calidad para Agua Potable, se considera que debe ser 20 organismos/l, o sea 2 organismos/100 ml y según Bordner (1981), el valor de coliformes totales debe ser 5/100 ml.

Los estándares de la E.E.C. (Commission of the European Communities, 1975, citado por Evison, 1979) para agua potable son: 5/100 ml coliformes totales, para agua sin desinfección y para agua desinfectada 0/100 ml, coliformes fecales y 0/100 ml streptococos fecales.

Agua para uso agrícola.

Una población en expansión requiere nuevas fuentes de agua para irrigación y desarrollo de sistemas de distribución de aguas residuales que no provoquen la contaminación de ríos, lagos y océanos. La irrigación de cultivos con aguas residuales



se ha venido practicando ampliamente debido a que satisface ambas necesidades simultáneamente (Committee on Water Quality Criteria, 1972, citado por Kowal, Phren y Akin, 1980).

La utilización de aguas residuales para irrigación, se basa en el principio de reciclamiento de materiales de desecho, de acuerdo con la idea de Liebig del mantenimiento del ciclo natural de los elementos, que se requiere para la conservación de la fertilidad del suelo. Así, la utilización de aguas residuales para irrigación se fundamenta tanto en el aprovisionamiento de agua, como en los diversos iones que la constituyen, ya que tendrán valor como fertilizantes.

Debe considerarse, que ciertos microorganismos patógenos son transportados en agua de irrigación, presentes en gran cantidad y variedad sobretodo en aguas residuales; estos microorganismos pueden sobrevivir por períodos de tiempo variables, tanto en el suelo (principalmente en el estrato de 0 a 20 cm) como en los cultivos, especialmente aquellas frutas y verduras que se consumen crudas, se ve alterada por la contaminación fecal (Geldreich y Bordner, 1971; Shuval, 1977).

Los agentes microbianos de mayor importancia desde el punto de vista sanitario incluyen bacterias (Salmonella y Shigella) virus (enterovirus, adenovirus y rotavirus), protozoarios (Entamoeba y Giardia) y helmintos (Ascaris, Trichuris y Toxocara). Los protozoarios y helmintos comunmente se agrupan bajo el término de parásitos, aún cuando todos los patógenos son parásitos. Una descripción más detallada sobre esto se encuentra en el artículo de Kowal, Pahren y Akin (1980).

Las bacterias patógenas de mayor importancia que producen infecciones asintomáticas en el hombre, transformándose éste en portador, en relación con las enfermedades que producen se encuentran en la Tabla 1.

BACTERIA	ENFERMEDAD
<u>Campylobacter fetus</u>	Gastroenteritis aguda
<u>Escherichia coli</u>	Diarrea aguda
<u>Leptospira</u> spp.	Leptospirosis
<u>Salmonella paratyphi</u>	Fiebre paratifoidea
<u>S. typhi</u>	Fiebre tifoidea
<u>Salmonella</u> spp.	Salmonelosis
<u>Shigella sonnei</u> , <u>S. flexneri</u> , <u>S. boydii</u> y <u>S. dysenteriae</u>	Shigelosis o Disentería bacilar
<u>Vibrio cholera</u>	Cólera
<u>Yersinia enterocolitica</u> , <u>Y. pseudotuberculosis</u>	Yersiniosis (gastroenteritis aguda) y/o Linfadenitis mesentérica.

Tabla I. Bacterias encontradas en agua para irrigación y enfermedades que producen (Kowal, Pahren y Akin, 1980).

La mayoría de estas bacterias se encuentran en las heces humanas, aunque algunas como Leptospira se encuentran en la orina. Las bacterias de la heces son presominantemente anaerobias, mientras que el medio en aguas residuales es aerobio y por lo tanto tóxico para las anaerobias, por lo que la composición bacteriana es drásticamente diferente. La composición varía también con la región geográfica y la estación del año, encontrándose una mayor densidad en verano.

Las principales bacterias de origen humano encontradas en aguas residuales de origen doméstico son Proteus, éterobacteria, streptococos fecales, Clostridium y en menor cantidad pero de gran importancia podemos mencionar Salmonella y Mycobacterium tuberculosis; desde luego los niveles de infección dependen de la población. La contribución de agua de lavado, considerada como 'agua gris', es relativamente insignificante, excepto si contiene patógenos oportunistas (Kowal, Pahren y Akin, 1980).

Así, a pesar de que no se conocen las dosis mínimas de organismos ingeridos necesarias para causar infección, se han podido estimar los posibles riesgos a la salud, determinando la probabilidad de la presencia de Salmonella en relación a los ni

veles de coliformes fecales, estableciendo que cuando la densidad de coliformes fecales por 100 ml es superior a 1,000 organismos, la presencia de Salmonella alcanza una frecuencia del 96.4 %. Abajo de 1,000 coliformes fecales por 100 ml (intervalo 1-1,000), la presencia de Salmonella es de 53.5 %, por lo que se recomienda para agua de irrigación una densidad de coliformes fecales abajo de 1,000/100 ml y de coliformes totales una densidad menor de 5,000/100 ml, lo que hace suponer que habrá una concentración de microorganismos suficientemente baja, que da cierta seguridad al hombre al consumir vegetales de cosechas irrigadas con este tipo de agua (Geldreich y Bordner, 1971; U.S. Environmental Protection Agency, 1972; Legislación relativa al agua y su contaminación, México, 1975; Evison, 1979; Bordner, 1981).

#### Agua para uso recreacional.

Existe una gran diversidad de factores que ejercen influencia sobre el valor tanto recreacional, como estético del agua. Los factores biológicos pueden dividirse en dos tipos principales: aquellos que ponen en peligro la salud de personas o animales y aquellos que hacen el agua estéticamente inconveniente o inutilizable como resultado de su sobrefertilización. El primero incluye vectores y organismos patógenos y el último, crecimiento de plantas acuáticas tanto microscópicas como macroscópicas.

Las plantas vasculares acuáticas tienen influencia sobre la calidad del agua, así como sobre otros organismos acuáticos; debe aclararse que el denso crecimiento de plantas acuáticas no es necesariamente debido a la alteración de ambiente por parte del hombre, puede tratarse de un proceso natural. A través de sus procesos metabólicos, las plantas acuáticas pueden tener efectos significativos sobre ciertos factores ambientales, tales como el oxígeno disuelto, bióxido de carbono, alcalinidad, pH, nutrientes, penetración de la luz, evaporación, circulación del agua, velocidad de corriente y composición de los sedimentos.

Las macrofitas acuáticas proporcionan un sustrato adecuado para la colonización de algas epifíticas, bacterias y otros microorganismos que proporcionan alimento de una manera directa o indirecta a gran cantidad de invertebrados y éstos a su vez sirven de alimento a peces (U.S. Environmental Protection Agency, 1972).

En cuanto al aspecto microbiológico, todas las aguas recreacionales deberían estar suficientemente libres de bacterias patógenas como para no implicar riesgo a la salud; éste es un requerimiento particularmente importante para áreas de baño y natación, ya que en estas dos actividades existe un contacto directo del hombre con el agua. En este tipo de agua, la cuantificación bacteriana debe estar basada en la detección de contaminación fecal por animales homeotermos. De esta manera, el índice de coliformes fecales es una medida de la 'limpieza sanitaria' del agua y puede denotar la posible presencia de desechos humanos no tratados o inadecuadamente tratados. Además de la cuantificación de coliformes se ha propuesto utilizar staphylococos y otros enterococos para aguas recreacionales (U.S. Environmental Protection Agency, 1972).

Para evaluar debidamente el agua con fines recreacionales, es importante definir el tipo de actividad recreativa, ya que la calidad microbiana del agua resulta ser de poca importancia en relación con la pesca y la navegación y es de gran importancia cuando existe contacto directo con el hombre, como en el caso del baño y la natación en los que puede existir un serio riesgo a la salud (Evison, 1979).

Existe una imperiosa necesidad de recomendaciones para agua de uso recreacional, especialmente para áreas costeras, lagos y ríos, adyacentes a grandes centros urbanos en donde resulta difícil mantener estos ecosistemas en buenas condiciones, desde el punto de vista sanitario.

Dos recomendaciones microbiológicas que se encuentran frecuentemente en la literatura son, para coliformes totales y fecales 1,000/100 ml y 200/100 ml respectivamente; el agua en la

que la cantidad de coliformes totales excede de 1,000/100 ml se clasifica como muy pobre (Cabelli, 1978). El agua recreacional de contacto primario deberá tener un máximo de 400 coliformes fecales/100 ml y general de 2,000/100 ml (Bordner, 1981). Según datos de la E.E.C. (Commission of the European Communities, citado por Evison, 1979) sobre requerimientos microbiológicos para agua de baño, las recomendaciones son: coliformes totales 500/100 ml, coliformes fecales 100/100 ml y streptococos fecales 100/100 ml.

#### Agua para uso piscícola.

Las aguas contaminadas, especialmente aquellas que reciben desechos domésticos, deben contener un gran número de bacterias normalmente transportadas en las heces del hombre y otros animales. Aunque estas bacterias pueden no ser dañinas por sí mismas, el peligro de que estén presentes bacterias patógenas y virus existe (U.S. Environmental Protection Agency, 1972).

La presencia de bacterias entéricas de origen humano en peces, representa un riesgo a la salud humana. Las bacterias Salmonella y Shigella, han sido aisladas de peces provenientes del río Nilo; ya que la Salmonella no es patógena para los peces, puede permanecer en el intestino de éstos y ser excretada hasta un mes después al agua.

Los peces de hábitos alimenticios bentónicos, son más susceptibles de contaminación por bacterias entéricas al utilizar partículas de desecho como fuente de alimentación, por ésto debe considerarse el monitoreo microbiológico de sedimento. En el caso de Salmonella y Shigella, no existe una evidencia directa de infección en peces, sin embargo, la existe para Streptococcus faecalis, que les produce una cierta enfermedad. En trabajos experimentales se ha visto que las bacterias son capaces de infectar ciertos peces, tales como carpas y anguilas. En animales poiquilotermos, como peces dulceacuícolas, la presencia de coliformes fecales se relaciona directamente con la calidad del agua y alimento disponible en el ambiente (Mitchell, 1978; Ame-

rican Fisheries Society, 1979).

Así, los peces pueden llegar a ser activamente infectados por patógenos después de la exposición a aguas contaminadas y llevar estos organismos a aguas limpias (Geldreich, 1970).

Se recomienda para las pesquerías de peces comerciales, incluyendo granjas de peces tropicales, maricultura y criaderos de peces, el abastecer los estanques o corrales con agua de buena calidad, con un contenido mínimo de material que las bacterias puedan utilizar para su crecimiento y multiplicación (American Fisheries Society, 1979), pero no existen criterios microbiológicos establecidos para cuerpos de agua donde se desarrollan organismos acuáticos.

USO	CRITERIO MICROBIOLÓGICO		
	Coliformes/100 ml		Streptococos/100 ml
	Totales	Fecales	
Fuente agua potable/previo tratamiento	20,000 <sup>a</sup> 10,000 <sup>m</sup>	2,000 <sup>a,b,m</sup> 1,000 <sup>h</sup>	—
Potable	<1 <sup>c</sup> <2 <sup>d</sup> <5 <sup>e,f</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>f</sup>
Agrícola	<5,000 <sup>g</sup>	<1,000 <sup>g,h</sup>	—
Recreacional Contacto directo	1,000 <sup>i</sup>	200 <sup>g,h,i,j</sup> <400 <sup>g</sup>	<100 <sup>k*</sup>
General		1,000 <sup>g</sup> <2,000 <sup>g</sup>	
Baño	<500 <sup>l</sup>	<100 <sup>l</sup>	<100 <sup>l</sup>
Desarrollo de organismos acuáticos	10,000 <sup>h</sup>	—	—

Tabla II. Criterios microbiológicos para calidad de agua.

Fuente:

a. U.S. Environmental Protection Agency, 1972.

b. American Fisheries Society, 1979.

c. Public Health Service, citado por Cabelli, 1978.

- d. Normas Mexicanas de Calidad para Agua Potable, S.S.A., citado por Urroz, 1973.
- e. Microbiological Methods for Monitoring the Environment, Water and Wastes, 1978, citado por Bordner, 1981.
- f. E.E.C., 1975, citado por Evison, 1979.
- g. Water Quality Criteria, 1968, citado por Bordner, 1981.
- h. Legislación relativa al Agua y su Contaminación, S.A.R.H., México, 1976.
- i. Cabelli, 1978.
- j. Federal Water Pollution Control Administration, 1968, citado por Cabelli, 1978.
- k. Geldreich, 1970. \*prueba paralela a la de coliformes fecales.
- l. E.E.C. Microbiological Quality Requirements for Bathing Waters, citado por Evison, 1979.
- m. Control de la calidad del agua para diversos usos, S.R.H., Urroz, 1973.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

#### Localización Geográfica.

El lago de Pátzcuaro se encuentra en la porción centro-oriental del estado de Michoacán, en la parte baja de una cuenca endorreica del Eje Neovolcánico Transversal. De origen tecto-volcánico, se dice que formaba parte de un sistema de cuencas lacustres que alguna vez estuvieron unidas con la red fluvial del río Lerma, que al dividirse dió origen a los actuales lagos de Chapala, Pátzcuaro, Zirahuén y Cuitzeo (Figura 3).

El área queda comprendida entre los paralelos 19° 32' y 19° 41' de latitud norte y entre los meridianos 101° 32' y 101° 43' de longitud oeste (Cartas Geológicas de DETENAL, 1978, E14-A21, A-22).

#### Fisiografía.

La zona estudiada forma parte de la Provincia Fisiográfica denominada Sistema Volcánico Transversal o Eje Neovolcánico Transversal, que se localiza al sur de la Altiplanicie Mexicana (Correa y Rodríguez-Palma, 1973), donde la actividad volcánica se hace patente a mediados del Terciario, cuando la parte occidental del país a raíz del fallamiento en bloques, fué el sitio de grandes eventos volcánicos (de Cserna, Mosiño y Benassini, 1974).

De acuerdo con Caballero *et al.* (1981), la cuenca está constituida por importantes elevaciones de origen ígneo que establecen el parteaguas. Estas, forman las sierras de Santa Clara y Tingambato al sur, las sierras de Pichátaro, de Pátzcuaro y de Comanjá al oeste y los del Ziráte y del Tigre hacia el norte. En la parte occidental, no existen elevaciones de importancia sino lomeríos que circundan el valle del Surumútaro, anti-



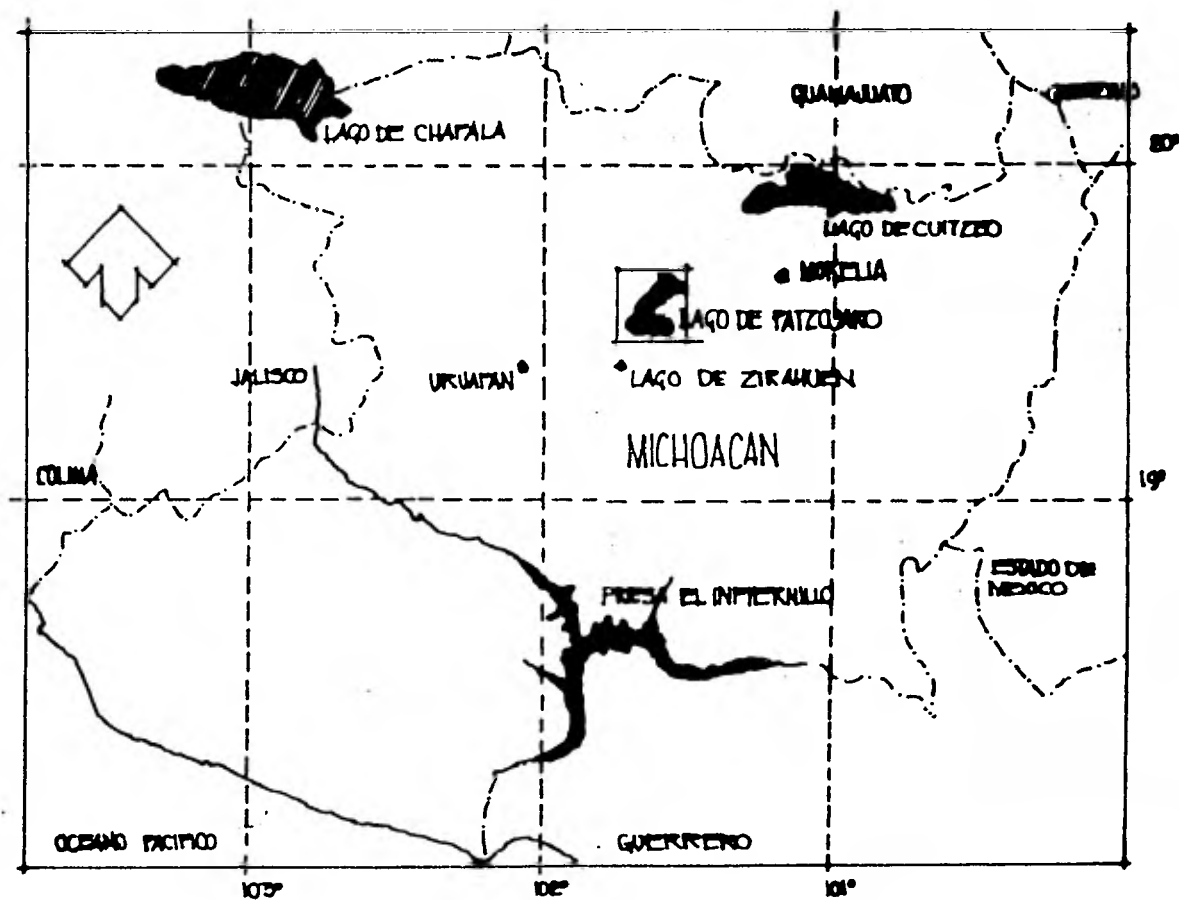


FIGURA 3

LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

guamente inundado. Las mayores elevaciones son el Ziráte con 3 200 m.s.n.m. al norte, al sur el Cerro del Frijol con 3 100 m.s.n.m., al suroeste el Cerro de la Virgen con 3 200 m.s.n.m. y al oeste el Uacapian con 3 000 m.s.n.m.

Esta unidad geomórfica tiene una extensión total de 1 000 Km<sup>2</sup>, de los cuales el lago ocupa una décima parte aproximadamente. La elevación media es de 2 500 m.s.n.m. y la altitud al nivel del lago es de 2 040 m.s.n.m. (Caballero et al., 1981).

### Geología.

Según Blásquez y Lozano (1946), en la región dominan las rocas ígneas, principalmente basalto, de color oscuro, gris y azul negruzco; de textura porfídica, felsítica y vesicular. Afloran en todas las sierras de la región y forman cerros aislados.

Constituidos por fragmentos y aún elementos de rocas ígneas, se encuentran aluviones, en zonas que alguna vez estuvieron inundadas por el agua del lago.

Desde el punto de vista edafológico, la región está constituida en gran parte por suelos de ando (arenosos), característicos de regiones templadas y de origen volcánico, así como por luvisoles (suelos arcillosos) y aluviones, según lo cita Toledo et al. (1980).

### Hidrología.

En las faldas de los cerros basálticos que rodean al lago de Pátzcuaro, se encuentran manantiales cuyo régimen de flujo es variable durante todo el año y su existencia se relaciona con la naturaleza porosa de las cenizas, arenas, brechas y tobas volcánicas, así como por el agrietamiento de las rocas basálticas, que a la vez son permeables y permiten la infiltración de aguas

pluviales. El lago recibe también aguas de escurrimiento que en época de lluvias descienden de las elevaciones que limitan esta depresión (Villarelo, 1909). Las aguas subterráneas provenientes de la Meseta Tarasca son un aporte considerable de agua al lago (Caballero et al., 1981).

Se puede decir, que por tratarse de un lago que se encuentra en una cuenca cerrada, alimentado por aguas de manantial y escurrimiento y no por el aporte constante de algún río, el nivel del mismo depende, en gran medida, del aporte de agua en época de lluvias y de la evaporación, así como de la evapotranspiración por parte de las plantas acuáticas.

#### Limnología.

Pátzcuaro es un medio léntico de forma irregular, formado por la actividad volcánica que tuvo lugar en la zona.

##### Datos Morfométricos.

El área del lago de Pátzcuaro es de 88.71 Km<sup>2</sup>, o sea, 8 870.84 Ha.

La longitud máxima en línea curva es de 21.2 Km y la longitud máxima efectiva, o sea en línea recta sin interrupción de tierra es de 17.7 Km.

La anchura máxima del lago, formando un ángulo recto con la longitud máxima es de 7.5 Km y la anchura media de 4.18 Km.

La máxima profundidad observada en el lago durante 1981, fué de 12.50 m y la relación profundidad máxima-superficie tiene un valor de 0.0013.

La dirección de los ejes mayores es de: 57.5 ° en dirección NE-SW, la longitud máxima y de 33.5 ° en dirección SE-NW la anchura máxima efectiva.

La longitud de la línea de costa es de 93.29 Km y el desarrollo de la línea de costa tiene un valor de 2.79.

El mapa batimétrico está siendo elaborado por García et al.

del Instituto de Biología de la U.N.A.M., por lo que los datos de profundidad media, relación profundidad media-profundidad máxima, volumen, desarrollo de volumen y curva hipsográfica no se presentan en este trabajo.

\* Datos obtenidos de la Cartas Geológicas de DETENAL, 1978, E14-A21, A22; vuelos 1976.

### Clima.

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Koppen, modificada por García (1973), el clima de la región es C (w<sub>2</sub>) (w) b (e) g (Carta de Climas 14Q-V. DETENAL, 1970). De manera general puede decirse que se trata de un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, extremoso. La temperatura ambiente promedio mensual va de 12.6 a 20.0 °C, siendo diciembre y enero los meses más fríos, mayo y junio los más cálidos, según Herrera (1979). La zona tiene sólo dos estaciones climáticas bien definidas, la época de secas que va de diciembre a mayo y la de lluvias que abarca los meses restantes. La precipitación anual es de más de 1 000 mm, siendo la porción meridional sensiblemente más lluviosa que el resto de la cuenca, de acuerdo con lo mencionado por Caballero et al. (1981).

### Vegetación.

De acuerdo con la descripción llevada a cabo por Caballero et al. (1981), la vegetación terrestre de la cuenca corresponde básicamente a bosques de coníferas, dominados por Abies religiosa, Pinus leiophylla, P. michoacana var. cornuta, P. pseudostrobus, P. montezumae, P. teocote y P. lawsoni, bosques de encino, en los que se encuentran Quercus laurina, Q. castanea, Q. rugosa y Q. candicans; bosques de pino y encino en los que se encuentran asociaciones de las especies antes menciona-

das. En estos bosques existe una abundante flora micológica, así como vegetación secundaria derivada de los mismos, pastizales y ciertos matorrales.

En el mismo, Lot menciona que la vegetación acuática está representada por distintas comunidades de hidrófitas emergentes y sumergidas. Dentro de las hidrófitas emergentes, tenemos plantas que dominan casi totalmente la orilla del lago, desde la zona sujeta a inundación, hasta los 4 m de profundidad, encuentran los llamados tulares de Scirpus americanus, S. validus, Typha latifolia y T. dominguensis, que pueden alcanzar hasta 4 m de altura. Entre los claros de estos extensos tulares podemos encontrar diversas especies de la misma forma de vida pero de menor talla. La vegetación de hidrófitas emergentes, está representada por Nymphaea mexicana, muy abundante en las cercanías de Erongarícuaro; la otra agrupación dominada por Potamogeton illinoensis, está muy mezclada con hidrófitas sumergidas en la mayoría de los lugares donde se encuentra. Las hidrófitas sumergidas junto con las emergentes cubren la mayor superficie ocupada por vegetación acuática; entre las especies que constituyen estas agrupaciones se pueden mencionar Potamogeton latifolius, Najas guadalupensis, Ceratophyllum demersum, Utricularia gibba y U. vulgaris, vegetación encontrada en el seno de Ihuatzio. Dentro de las hidrófitas libremente flotadoras, se encuentra el conocido 'lirio acuático' Eichhornia crassipes, asociado con Arenaria bourgaei y Habenaria limosa, así como otras especies que se distribuyen preferentemente entre los tulares, como: Lemna gibba, L. polyrhiza, Wolffia papulifera y Wolffiella lingulata.

Según los autores antes mencionados, en la actualidad, la vegetación natural de la región ha sido alterada por las actividades antropocéntricas. Las prácticas más comunes son: la agricultura de temporal y riego, la fruticultura, el cultivo de hortalizas, la pesca, la extracción de resina y de madera, la recolección de plantas y hongos, la artesanía de plantas acuáticas y de trigo, la artesanía de la madera y la alfarería.

### Población.

Considerando los cuatro municipios dentro de los que se encuentra la región del lago de Pátzcuaro, esto es: Erongarícuaro con 13 localidades y un total de 9 470 habitantes; Quiroga, que cuenta con 14 localidades y 16 004 habitantes; Tzintzuntzan, que cuenta con 9 139 habitantes distribuidos en 25 diferentes localidades y Pátzcuaro, con 37 615 habitantes, repartidos en 47 localidades, tenemos una población total establecida de 72 228 habitantes, distribuidos en 99 diferentes poblados (IX Censo General de Población, 1970). Debe considerarse la población flotante, que acude a la zona en Semana Santa (marzo/abril) y en el mes de noviembre para la festividad del día de muertos, así como en los meses de diciembre, julio y agosto.

De los 99 asentamientos humanos, destacan dos grandes ciudades, Pátzcuaro y Quiroga; así como Erongarícuaro y Tzintzuntzan, de menor tamaño y más de 50 comunidades con poblaciones entre 500 y 3 000 habitantes. La población indígena representa en la actualidad alrededor del 25 % del total de la población de la cuenca, distribuida en 24 comunidades (Toledo et al., 1980).

### Actividades Humanas.

La agricultura y la pesca son las principales actividades de los pobladores de la región. La agricultura de temporal está representada fundamentalmente por cultivos de maíz para autoconsumo y de trigo para la venta; en menor proporción se cultivan frijol, cebada, lenteja y haba, entre otros. En cuanto a las hortalizas, podemos decir que se cultivan en terrenos próximos al lago, de tal forma que es posible utilizar el agua de éste para irrigación. Se cosechan diversas verduras, tales como: cebolla, zanahoria, rábano, col, cilantro, calabacita, betabel, jitomate, ejote y otras; la producción se dirige fundamentalmen

te al mercado (Toledo et al., 1980).

La pesca constituye la actividad primordial de algunos de los pobladores ribereños y es actividad casi exclusiva de los pobladores isleños. Esta se lleva a cabo por medio de diversas artes de pesca, tales como: chinchorros, cherémecuas (redes agalleras), anzuelos y fizgas, utilizando la canoa o cayuco como embarcación (Figura 4).

La ictiofauna nativa está constituida por miembros de la familia Atherinidae: Chirostoma estor (pescado blanco), Ch. grandocule (charal blanco), Ch. bartoni (charal prieto), Ch. patzcuaro (charal pinto); de la familia Cyprinidae, Algansea lacustris (acúmara); además de algunos miembros de la familia Goodeidae de menor importancia tales como: Allophorus robustus (chegua), Neophorus diazi (choromu), Allotoca vivipara (tiro), Goodea luitpoldi (tiro) y Skiffia lermae (tiro). La ictiofauna introducida se compone de cuatro especies: Micropterus salmoides (lobina negra u hocicona) conocida en la región como trucha, de la familia Centrarchidae, Ctenopharyngodon idella (amura blanca) y Cyprinus carpio specularis (carpa de Israel) de la familia Cyprinidae y de la familia Cichlidae la especie Tilapia melanopleura (mojarra).

Las especies de mayor importancia comercial son: el pescado blanco, las tres especies de charal, la trucha o lobina, la carpa y la acúmara, de acuerdo con Herrera (1979).

La ganadería no existe como tal, sin embargo, dentro de la economía campesina de carácter familiar, los animales juegan un papel importante, en íntima relación con la agricultura, como animales de trabajo y de carga y en la alimentación. Los lugareños poseen uno o dos animales mayores (bueyes, caballos, vacas o burros) y de especies menores algunos otros (cerdos, gallinas, guajolotes, patos y conejos). Es importante mencionar que gran parte de la alimentación de este ganado se lleva a cabo dentro del lago y en las márgenes del mismo (Toledo et al., 1980).

Otra de las actividades importantes dentro de la zona, es

la elaboración de artesanías, de tres tipos básicamente: alfarería, artesanía de la madera y de plantas acuáticas (Caballero, 1981). Cabe mencionar dentro de las actividades a los comerciantes y personas dedicadas al turismo.





Figura 4. La pesca constituye la actividad primordial de algunos de los pueblos ribereños e isleños.

#### 4. MATERIALES Y METODD.

Después de recopilar y analizar el material bibliográfico sobre estudios realizados en la zona, se decidió efectuar el estudio que se describe a continuación.

##### Muestreo.

Se llevaron a cabo 5 muestreos en el lago de Pátzcuaro, durante los meses de febrero, abril, junio, julio y agosto de 1981, cubriéndose las dos estaciones climáticas que presenta la región.

Fueron establecidas 8 estaciones de muestreo, con base en las Cartas Geológicas de DETENAL (1978), escala 1:50 000 y a un recorrido previo de la zona, con el objeto de cubrir las diferentes regiones del lago. Se tomaron 4 estaciones complementarias para los análisis bacteriológicos exclusivamente, frente a los poblados de mayor importancia (Figura 5).

##### Determinaciones físicas y químicas.

Se consideraron las siguientes características físicas y químicas: profundidad, transparencia, temperatura, pH, alcalinidad total, dureza total, iones Ca y Mg; gases disueltos, oxígeno disuelto (O.D.), bióxido de carbono libre ( $CO_2$ ) y ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ); demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), así como amonio, nitritos, nitratos y fósforo total.

La ubicación de cada estación se llevó a cabo con una brújula tipo Brunton. La profundidad se determinó con ayuda de una sondaleza, con cuerda marcada cada metro. La transparencia del agua, se tomó con un Disco de Secchi de 20 cm de diámetro. Da-



tos de temperatura y pH se tomaron a diferentes profundidades, superficial y cada 3 metros, utilizando para la temperatura un Oxímetro Yellow Springs Instruments Co. modelo 54 con termistor integrado y el pH con un potenciómetro de campo marca Corning modelo 30.

En los mismos perfiles, a cada 3 metros de profundidad, se tomaron muestras para gases disueltos, en botellas de DBO de 300 ml de capacidad con tapón esmerilado, utilizando un muestreador metálico para gases. Las muestras se analizaron in situ, utilizando para oxígeno disuelto (O.D.) el método de Winkler con la modificación a la azida para la remoción de interferencias causadas por nitritos. El bióxido de carbono libre ( $\text{CO}_2$ ), se determinó utilizando NaOH 0.022 N y fenoftaleína como indicador. La determinación de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), se llevó a cabo por el método yodométrico (APHA-AWWA-WPCF, 1976).

Cada 3 m, se colectaron muestras de agua con una botella Van Dorn, colocándolas en una cubeta, con el objeto de homogeneizar y tomar una muestra combinada para la determinación de: nutrientes, DBO, DQO y metales pesados, colocando las muestras en botellas de polietileno debidamente etiquetadas. Las muestras para nutrientes y DBO se mantuvieron en refrigeración, las de DQO y metales pesados se preservaron por acidificación con ácido sulfúrico y nítrico respectivamente.

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Química del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la U.N.A.M., de acuerdo con las técnicas oficiales de análisis (APHA-AWWA-WPCF, 1976).

#### Análisis bacteriológico.

Para el análisis bacteriológico de coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales, se tomaron muestras en botellas de DBO de 300 ml de capacidad con tapón esmerilado, previamente esterilizadas, llenándolas a tres cuartas partes de

su capacidad, con el objeto de agitar vigorosamente las muestras antes de ser procesadas; las muestras se colectaron con un muestreador de gases (Figura 6), previamente lavado con alcohol y enjuagado con agua del lugar. Las muestras se tomaron de fondo, (1 m arriba del fondo).

Asimismo se tomaron muestras de sedimento en bolsas de plástico estériles de 150 g de capacidad aproximadamente; las muestras fueron colectadas con una draga Ekman-Birge que tiene una superficie de fondo de 225-250 cm<sup>2</sup>. Se tomó el sedimento de la capa superior con una pala de plástico pequeña, lavada previamente con alcohol y enjuagada con agua del lugar.

Las muestras de agua y sedimento debidamente etiquetadas, se conservaron a 4 °C y se transportaron al laboratorio para ser procesadas antes de un período de 24 horas.

En el laboratorio se llevó a cabo el análisis bacteriológico de las muestras, por el Método de Tubos Múltiples de Fermentación (Figura 7), en series de 3 tubos por dilución, obteniendo el Índice NMP/100 ml (Número Más Probable), con un límite de confiabilidad del 95 %, de acuerdo con las técnicas de APHA-AWWA-WPCF (1976) y U.S. Environmental Protection Agency (1978).

Se utilizó Caldo Lactosado para la prueba presuntiva de coliformes, pasando a Caldo de Bilis Verde Brillante y Medio EC (Escherichia coli) para la prueba confirmativa de coliformes totales y fecales respectivamente. La prueba presuntiva de streptococos fecales se llevó a cabo utilizando Caldo Azida Dextrosa, pasando a Caldo Azida Ethyl Violeta para la prueba confirmativa. La inoculación a Caldo Lactosado y Caldo Azida Dextrosa se realizó con diluciones de 10 ml, 1.0 ml, 0.1 ml, 0.01 ml, 0.001 ml, 0.0001 ml, 0.00001 ml, tomando de 3 a 5 diluciones, dependiendo de la muestra. En el caso del sedimento, se pesaron 10 g en una balanza granataria diluyéndolos en 100 ml de agua de dilución estéril, para obtener un homogeneizado y llevar a cabo tanto la siembra como las diluciones.

Para resembrar se utilizaron aplicadores de madera previamente esterilizados, introduciéndolos en ambos tubos 5 veces

aproximadamente. Para llevar a cabo las diluciones, se utilizó agua de dilución estéril, preparada con una solución buffer de fosfato y magnesio.

Todo el proceso se llevó a cabo frente al mechero, manteniendo el laboratorio en las condiciones más asépticas posibles.

Los periodos de incubación tanto para las pruebas presuntiva como confirmativa fueron de  $24-48 \pm 2$  hr, en el caso de coliformes y streptococos a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , en una Incubadora Blue M modelo 200A No. 2280 y en el caso de coliformes fecales de  $44.5^\circ\text{C}$  en Baño María Grant Instruments Ltd. tipo SB 15Q No. C49034.

En las estaciones complementarias, se tomaron muestras de agua a la mitad de la columna, se analizaron in situ, basándose en la Técnica de Filtración de Membrana, de acuerdo con Millipore (1973), APHA-AWWA-WPCF (1976) y U.S. Environmental Protection Agency (1978). Se utilizaron Caldo M-Endo y membranas estériles de poro  $0.45 \mu\text{m}$ , para la determinación de coliformes totales; Caldo Base m FC y membranas de  $0.7 \mu\text{m}$  en el caso de coliformes fecales. En el caso de streptococos, se utilizó medio KF Streptococcus Agar y membranas de  $0.45 \mu\text{m}$ . Los periodos de incubación para coliformes fueron de  $24 \pm 2$  hr, a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$  las totales y a  $44.5^\circ\text{C}$  las fecales. La incubación de streptococos fue de  $48 \pm 3$  hr, a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . Para estos análisis se utilizó material Millipore estéril y equipo portátil Millipore.

#### Obtención de Datos Morfométricos.

Los datos morfométricos del cuerpo de agua en estudio, se obtuvieron con base en las Cartas Geológicas de DETENAL, 1978, E14-A21, A-22, escala 1:50 000, utilizando para calcular el área un Planímetro Marca Rosback No. 16657 y un Curvímetro Marca K & R para obtener la longitud de la línea de costa.



Figura 6. Equipo para el muestreo de agua para el análisis bacteriológico.



Figura 7. Material utilizado para la prueba de Tubos Múltiples de Fermentación.

## 5. RESULTADOS.

Los resultados de los análisis físicoquímico y bacteriológico efectuados en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, se resúmen en las siguientes tablas y figuras:

En la Tabla III, se observan los valores promedio y desviaciones estándar de las características físicas y químicas del agua, encontrándose condiciones homogéneas en 7 de las estaciones de muestreo; en la estación 8, las condiciones varían, encontrándose una mayor concentración de amonio y fósforo total, caso contrario a lo que sucede con el ión Mg, la alcalinidad y la dureza total en los que se presenta una cierta disminución con respecto al resto de las estaciones.

En la Tabla IV, se reporta la concentración de los gases disueltos (oxígeno disuelto, bióxido de carbono libre y ácido sulfhídrico), considerando del perfil efectuado, únicamente el valor de la profundidad a la que se tomaron las muestras para bacteriología. Asimismo se reporta la concentración de la demanda bioquímica y demanda química de oxígeno. Se observa cierta variación en las diferentes épocas de muestreo, en cada una de las estaciones, excepto para bióxido de carbono y ácido sulfhídrico, encontrándose éste último solo esporádicamente en la estación 8.

La cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales (Índice NMP/100 ml) en agua, para los meses de febrero, abril, junio, julio y agosto, así como su media geométrica se reportan en la Tabla V, observándose una alta densidad de bacterias en la estación 8.

En la Figura 8, se observa la representación gráfica de la media geométrica de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales en agua, para cada una de las estaciones de muestreo, así como los límites permisibles para los diferentes usos del agua.

La cuantificación de coliformes totales, coliformes fe-



les y streptococos fecales (Índice NMP/100 ml) en sedimento, para los meses de febrero, abril, junio, julio y agosto, así como su media geométrica se reportan en la Tabla VI, observándose al igual que en agua una alta densidad de bacterias en la estación 8.

En la Figura 9, se observa la representación gráfica de la media geométrica de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales en sedimento, para cada una de las estaciones de muestreo.

En la Tabla VII, se encuentra la relación de coliformes fecales con streptococos, lo que proporciona una idea del origen de los desechos fecales.

En la Tabla VIII, se reporta la media geométrica de bacterias/100 ml (coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales), encontrada frente a Quiroga, Erongarícuaro, Janitzio y Pátzcuaro, así como la relación de coliformes fecales con streptococos fecales.

En la Figura 10, se observa la representación gráfica de la media geométrica de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales en agua, para las estaciones de muestreo situadas frente a los poblados de mayor importancia, así como los límites permisibles para los diferentes usos.

Tabla III. Valores promedio y desviaciones estándar de las características físicas y químicas del agua en el lago de Pátzcuaro, Michoacán.

CARACTERÍSTICA*	ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8
Profundidad ( m )		8.74 $\pm$ 1.37	10.64 $\pm$ 1.04	7.64 $\pm$ 0.32	3.96 $\pm$ 0.35	5.4 $\pm$ 0.34	5.28 $\pm$ 0.42	3.62 $\pm$ 0.33	2.44 $\pm$ 0.47
Transparencia ( m )		0.84 $\pm$ 0.38	1.12 $\pm$ 0.5	0.96 $\pm$ 0.31	1.1 $\pm$ 0.37	0.91 $\pm$ 0.33	1.0 $\pm$ 0.38	1.18 $\pm$ 0.61	0.41 $\pm$ 0.27
Temperatura (°C )		19.72 $\pm$ 2.54	20.04 $\pm$ 2.65	20.10 $\pm$ 2.83	20.3 $\pm$ 3.19	19.7 $\pm$ 2.63	19.9 $\pm$ 2.56	20.26 $\pm$ 2.85	21.48 $\pm$ 2.86
p H ( unidades )		8.48 $\pm$ 0.22	8.57 $\pm$ 0.18	8.55 $\pm$ 0.11	8.64 $\pm$ 0.3	8.45 $\pm$ 0.17	8.56 $\pm$ 0.28	8.60 $\pm$ 0.32	8.31 $\pm$ 0.56
N - NH <sub>4</sub>		0.43 $\pm$ 0.08	0.39 $\pm$ 0.09	0.38 $\pm$ 0.05	0.36 $\pm$ 0.08	0.42 $\pm$ 0.12	0.42 $\pm$ 0.11	0.5 $\pm$ 0.18	1.22 $\pm$ 0.33
N - NO <sub>2</sub>		0.003 $\pm$ 0.005	0.003 $\pm$ 0.005	0.008 $\pm$ 0.0004	.003 $\pm$ 0.005	.008 $\pm$ 0.004	0.01 $\pm$ 0.01	0.0008 $\pm$ 0.0004	.01 $\pm$ 0.004
N - NO <sub>3</sub>		0.13 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.07	0.013 $\pm$ 0.04	0.12 $\pm$ 0.04	0.14 $\pm$ 0.07	0.09 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.01	0.23 $\pm$ 0.12
P Total		0.05 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.03	0.08 $\pm$ 0.06	0.05 $\pm$ 0.03	0.09 $\pm$ 0.07	0.31 $\pm$ 0.13
Ca <sup>++</sup>		15.4 $\pm$ 0.94	14.44 $\pm$ 1.19	14.44 $\pm$ 1.54	14.76 $\pm$ 0.88	14.28 $\pm$ 1.27	14.79 $\pm$ 3.75	12.08 $\pm$ 2.28	14.12 $\pm$ 1.31
Mg <sup>++</sup>		31.07 $\pm$ 1.36	31.92 $\pm$ 0.89	32.12 $\pm$ 2.24	31.44 $\pm$ 1.42	32.12 $\pm$ 1.93	29.96 $\pm$ 3.63	26.19 $\pm$ 4.14	22.19 $\pm$ 7.22
Alcalinidad Total como CaCO <sub>3</sub>		415 $\pm$ 13.30	413.60 $\pm$ 10.5	397.60 $\pm$ 48.5	413.0 $\pm$ 14.5	411.40 $\pm$ 11.3	398 $\pm$ 21.9	325 $\pm$ 52.2	308.6 $\pm$ 40.42
Dureza Total como CaCO <sub>3</sub>		164.78 $\pm$ 5.10	165.78 $\pm$ 3.31	166.78 $\pm$ 7.28	164.58 $\pm$ 4.5	166.38 $\pm$ 5.19	160 $\pm$ 10.65	137.8 $\pm$ 13.03	126.29 $\pm$ 27.37

\* en mg/l a menos que se especifique otra unidad.

Tabla IV. Concentración de Gases Disueltos, Demanda Bioquímica y Demanda Química de Oxígeno (mg/l) en el lago de Pátzcuaro, Michoacán.

CARACTERISTICA	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oxígeno Disuelto (O.D.)	* 6.5	6.6	6.9	6.7	6.8	6.8	5.9	2.0
	7.2	6.1	6.7	6.4	6.3	5.3	2.3	5.0
	3.8	5.0	3.2	4.8	5.8	4.8	5.9	4.2
	5.4	5.7	5.8	6.4	6.1	5.8	4.4	2.3
	4.2	4.9	6.3	6.4	6.9	6.1	6.6	0.6
Bióxido de Carbono Libre (CO <sub>2</sub> )	0	0	0	0	0	0	0	0
Acido Sulphídrico (H <sub>2</sub> S)	0	0	0	0	0	0	0	0
								0
								0
								2.26
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	11.6	10.6	12.7	10.7	9.3	9.3	4.2	8.7
	-	-	-	-	-	-	2.0	11.6
	-	-	-	-	4.6	-	4.6	9.6
	-	-	-	-	-	-	3.2	14.9
						4.6	9.9	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	19.5	15.6	23.4	27.3	11.7	31.2	7.8	15.6
	19.8	11.9	7.9	17.8	36.0	24.0	36.0	52.0
	7.6	11.3	11.3	11.3	18.8	15.0	18.8	22.5
	23.6	31.5	35.4	47.2	31.3	19.6	35.2	54.9
	36.4	25.5	43.7	43.7	32.3	32.3	32.3	-

\* Datos correspondientes a los meses de : febrero, abril, junio, julio y agosto, 1981.

Tabla. V. Cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales (Indice NMP/100 ml) en el agua del lago de Pátzcuaro, Michoacán.

ESTACION PRUEBA	1			2			3			4		
	CT	CF	SF	CT	CF	SF	CT	CF	SF	CT	CF	SF
Febrero	40	<30	110	<30	<30	90	40	<30	430	40	<30	150
Abril	<3	4	40	9	4	<30	75	4	140	4	<3	70
Junio	43	4	9	75	<3	43	150	<3	90	11	<3	23
Julio	93	23	93	93	<3	240	43	43	93	43	23	23
Agosto	150	43	23	240	43	93	23	4	43	7	3	240

g	37.27	13.65	38.51	53.83	8.58	76.33	53.66	9.09	116.72	13.96	7.15	66.83
Máximo	150	43	110	240	43	240	150	43	430	43	<30	240
Mínimo	<3	4	9	9	4	<30	23	<3	43	4	<3	23

ESTACION PRUEBA	5			6			7			8		
	CT	CF	SF	CT	CF	SF	CT	CF	SF	CT	CF	SF
Febrero	90	<30	230	150	<30	1500	40	<30	<30	460000	24000	≥24000
Abril	240	93	150	15	4	150	15	<3	<30	240000	15000	≥240000
Junio	93	43	62	150	4	90	240	7	93	1100000	240000	≥240000
Julio	430	430	230	23	23	25	43	43	23	230000	230000	93000
Agosto	230	23	93	93	4	75	93	7	9	430000	93000	9300

g	181.81	65.29	135.55	59.11	8.49	130.58	56.50	11.37	28.04	412963.44	45013.72	41259.12
Máximo	430	430	230	150	<30	1500	240	43	93	1100000	240000	≥240000
Mínimo	90	23	62	15	4	25	15	<3	9	230000	15000	9300

CT- Coliformes Totales SF- Streptococos Fecales CF- Coliformes Fecales g- Media Geométrica

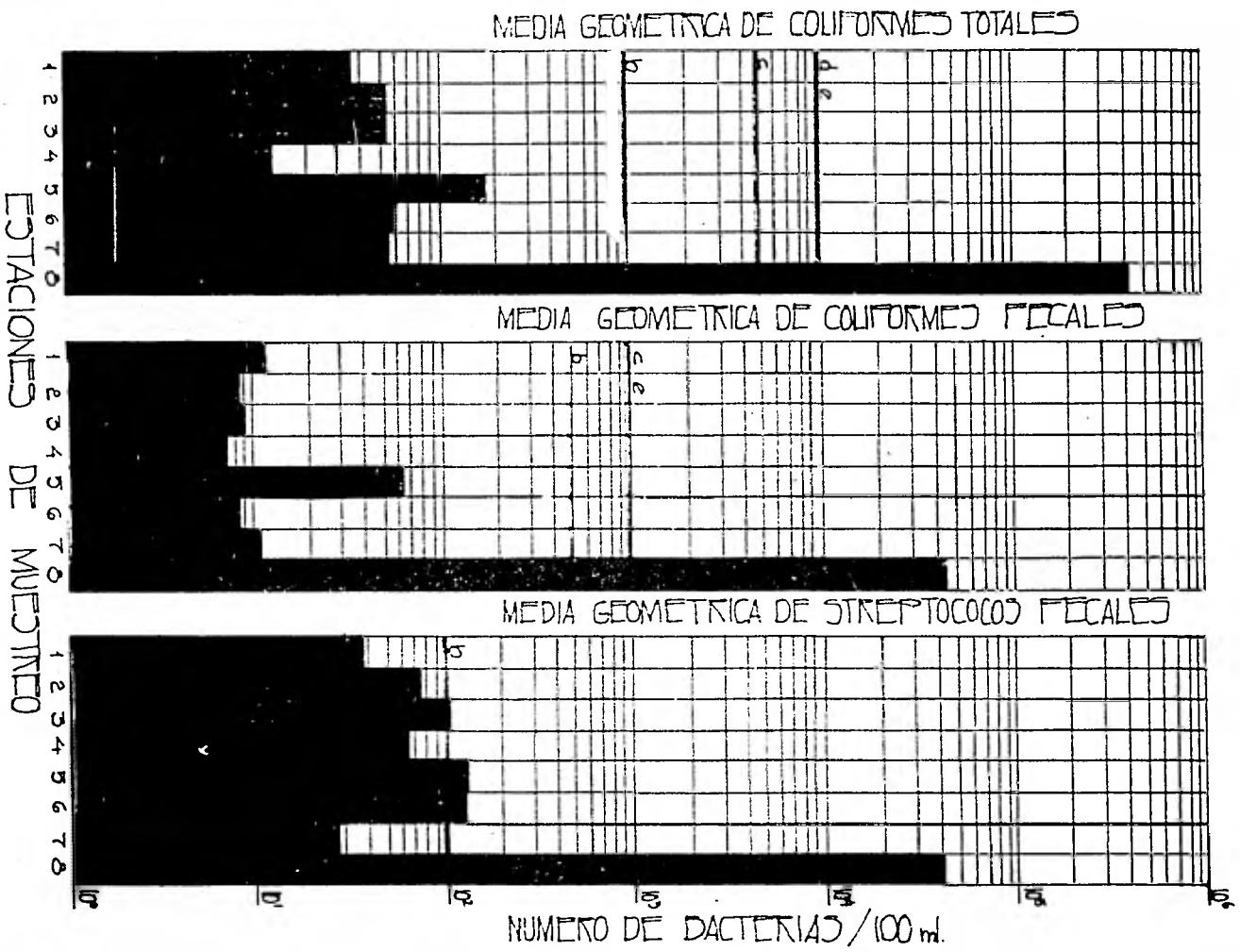


Figura 8. Medias geométricas de coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales en agua del lago de Patzcuaro, Michoacán, evaluadas estacionalmente. Límites permisibles: a. potable, b. recreacional de contacto primario, c. agrícola, d. piscícola, e. fuente de agua potable previo tratamiento.

Tabla VI. Cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales  
( Índice NMP/100 ml ) en el sedimento del lago de Pátzcuaro , Michoacán.

ESTACION MUESTREO \ PRUEBA	1			2			3			4		
	CT	CF	SF	CT	CF	SF	CT	CF	SF	CT	CF	SF
Febrero	900	< 300	24000	400	< 300	2300	900	< 300	2100	300	< 300	4300
Abril	30	< 30	2300	3000	< 30	700	< 30	< 30	2300	< 30	< 30	12000
Junio	46000	< 30	7500	280	< 30	2300	1500	40	2300	4600	70	700
Julio	9300	1500	24000	750	2100	4300	930	< 30	2300	930	61	3900
Agosto	4300	430	4300	9300	210	9300	2300	< 30	7500	930	< 30	150
$\bar{g}$	2183.81	177.09	8435.99	1185.71	89.27	2717.07	613.1	50.36	2975.73	513.80	64.92	1840.69
máximo	46000	1500	24000	9300	2100	9300	2300	< 300	7500	4600	< 300	12000
mínimo	30	< 30	2300	280	< 30	700	< 30	< 30	2100	< 30	< 30	150

ESTACION MUESTREO \ PRUEBA	5			6			7			8		
	CT	CF	SF	CT	CF	SF	CT	CF	SF	CT	CF	SF
Febrero	700	< 300	9300	400	< 300	2300	< 300	300	46000	90000	110000	110000
Abril	40	< 30	4300	30	< 30	9300	15000	< 30	900	210000	700	9300
Junio	230	< 30	2800	930	90	15000	210	< 30	46000	750000	430000	110000
Julio	7500	150	15000	430	30	2300	2300	40	43000	750000	21000	150000
Agosto	4300	30	2300	930	30	900	9300	390	24000	430000	150000	430000
$\bar{g}$	730.27	65.60	5216.58	338.78	59.23	3668.21	1824.44	84.12	18142.10	340416.46	40147.08	93791.96
máximo	7500	< 300	15000	930	< 300	15000	15000	390	46000	750000	430000	430000
mínimo	40	< 30	2300	30	30	900	210	< 30	900	90000	700	9300

CT- Coliformes Totales SF- Streptococos Fecales CF- Coliformes Fecales  $\bar{g}$  - Media Geométrica.

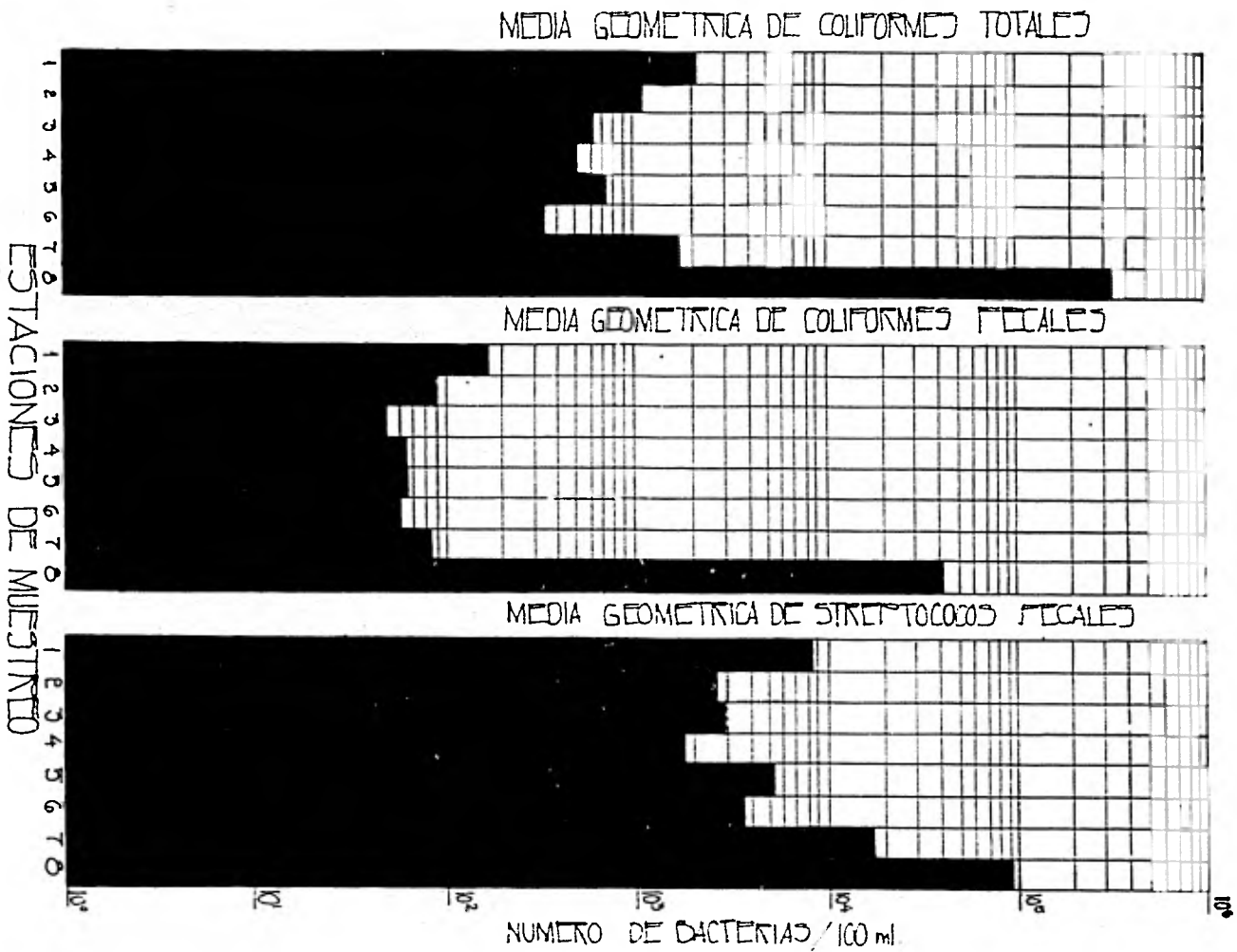


Figura 9. Medias geométricas de coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales en sedimento del lago de Patzcuaro, Michoacán, evaluadas estacionalmente.

Tabla VII. Relación de coliformes fecales con streptococos fecales\*.

ESTACION \ MUESTRA	AGUA	SEDIMENTO
1	0.35	0.02
2	0.11	0.03
3	0.08	0.02
4	0.11	0.04
5	0.48	0.01
6	0.07	0.02
7	0.41	0.004
8	1.09	0.43

Tabla VIII. Media geométrica de coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales (bacterias/100 ml) en agua frente a los poblados de mayor importancia.

ESTACION \ PRUEBA	CT	CF	SF	CF/SF*
Quiroga	3 354.10	4.83	7.01	0.68
Erongarícuaro	24 819.35	5.92	50	0.11
Janitzio	15 684.39	1 095.35	547.72	1.99
Pátzcuaro	52 459.51	2 142.43	141.42	15.14

CT- Coliformes Totales

SF- Streptococos Fecales

CF- Coliformes Fecales

CF/SF- relación

\* Relación coliformes fecales con streptococos fecales:

$\geq 4:1$  desechos de origen doméstico - humano.

$\leq 0.7$  desechos de ganado, aves de corral, industria alimenticia y sistema de alcantarillado (fuente no humana).

$1 \leq CF/SF \leq 2$  área de interpretación incierta.

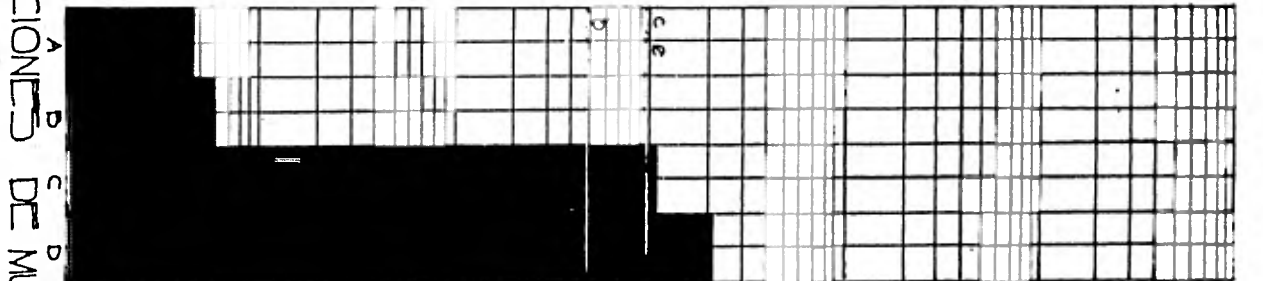
(Millipore, 1973; U.S. Environmental Protection Agency, 1978).



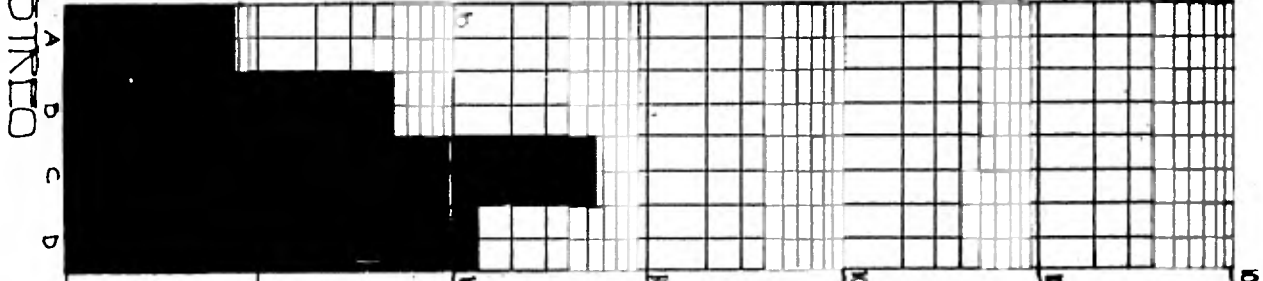
MEDIA GEOMETRICA DE COLIFORMES TOTALES



MEDIA GEOMETRICA DE COLIFORMES FECALES



MEDIA GEOMETRICA DE STREPTOCOLOS FECALES



NUMERO DE BACTERIAS / 100 ml.

ESTACIONES DE MUESTREO

Figura 10. Medias geométricas de coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales en agua de las zonas: A. Quifroga, B. E-rongaricuaro, C. Janitzio y D. Pátzcuaro. Límites permisibles: a. potable, b. recreacional de contacto primario, c. agrícola, d. piscícola, e. fuente de agua potable previo tratamiento.

## 6. DISCUSION.

El sistema acuático en estudio es un medio léntico, que de acuerdo con su profundidad puede dividirse en dos grandes regiones. La zona noreste, con una profundidad máxima de 12.50 m, carece de vegetación acuática en la parte central, sin embargo en los extremos se encuentran áreas pantanosas con vegetación acuática. La zona sur, presenta una menor profundidad (4 m en promedio) y en ella se encuentra una gran variedad de macrofitas acuáticas, sumergidas, emergentes y flotantes.

Se trata de un lago con escasa transparencia, donde la penetración luminosa se ve afectada por la gran cantidad de sólidos provenientes del arrastre de sedimentos de las zonas deforestadas adyacentes al lago, así como por el plancton. Durante el período de estudio el color aparente del agua fué verde.

De acuerdo con la clasificación de lagos de Forel, modificada por Whipple (Welch, 1952), Pátzcuaro es un lago tropical, en el que la temperatura superficial oscila entre 15 y 29 °C y de tercer orden, dado que la temperatura del fondo es muy similar a la de la superficie y la circulación es prácticamente continua a lo largo de todo el año. Según la clasificación introducida por Hutchinson y Loffler (Wetzel, 1975), en relación con los períodos de circulación del cuerpo de agua, Pátzcuaro es un lago polimíctico, que presenta frecuentes períodos de circulación a temperaturas arriba de 4 °C.

Dadas las condiciones socioeconómicas de la zona en estudio, es un hecho que el lago de Pátzcuaro constituye una fuente de suministro de agua con lo que se cubre gran parte de la demanda por parte de la población. El sistema recibe en forma intermitente desechos domésticos e industriales, lo que a largo plazo puede producir daños irreversibles, que podrían traer graves consecuencias para la población, ya que todos estos desechos implican tanto una carga de materia orgánica, como la presencia de innumerables microorganismos patógenos.

De tal forma que es de gran importancia evaluar mediante el análisis físicoquímico y el estudio de las comunidades acuáticas, tanto la alteración que está sufriendo el ecosistema, como el riesgo que esto implica a la salud humana.

Para determinar la influencia de la materia orgánica se consideraron parámetros físicoquímicos tales como pH, el cual es homogéneo, observándose en todas las estaciones valores entre 7.5 y 9.1, presentando un promedio general de 8.5, por lo que se considera un medio moderadamente alcalino.

En relación a los nutrientes, se observa que de las formas inorgánicas del nitrógeno, el amonio fué el más abundante, encontrándose en concentraciones de 0.3 a 0.5 mg/l en las estaciones 1 a 7, lo que indica la presencia de materia orgánica en proceso de degradación; en la estación 8, el valor promedio de 1.22 mg/l denota una zona crítica, en donde la mineralización de la materia orgánica es incompleta, debido al aporte constante, lo que consume gran parte del oxígeno disponible. Las concentraciones de nitritos fluctuaron entre 0.003 y 0.01 mg/l, estos valores en 7 de las estaciones de muestreo son característicos de aguas con una autodepuración activa (Arrignon, 1976), lo que no coincide en la estación 8. Los nitratos, se encuentran en concentraciones relativamente bajas, entre 0.01 y 0.2 mg/l, siendo el promedio para aguas dulces 0.30 ppm (Reid and Wood, 1976).

La relación que guardan las formas iónicas del nitrógeno nos indica que existe un aporte considerable de materia orgánica, lo que se refleja en la concentración de amonio, este ión, al haber suficiente oxígeno disuelto en el agua, se transforma a las formas oxidadas como son nitritos y nitratos, éstas sufren una cierta dilución, considerando el volumen del cuerpo receptor, por lo que no se encontraron en grandes cantidades.

La concentración de fósforo total en agua superficiales se encuentra entre 10 y 50 g/l (Wetzel, 1975), valores que tienden a incrementarse en lagos ricos en materia orgánica. De acuerdo

con esto, los valores de fósforo total observados en Pátzcuaro son relativamente altos, oscilando entre 0.05 y 0.09 mg/l en las estaciones 1 a la 7; en la estación 8, el valor promedio en contrado fué de 0.31 mg/l, lo que se atribuye al vertimiento de desechos de la Planta procesadora de pescado PROPEMEX, considerándose una zona crítica de contaminación.

Los iones Ca y Mg, son los que se encuentran en mayor cantidad en aguas dulces, siendo el Ca usualmente más abundante; en términos generales, podemos decir, que en aguas que contienen menos de 50 mg/l de sólidos disueltos, el Ca se encuentra en aproximadamente un 48 % y el Mg en un 14 % del total de cationes presentes (Reid and Wood, 1976). Durante el período de estudio, estos iones se encontraron en forma invertida, en mayor concentración el Mg que el Ca, dentro de los valores normales para un agua moderadamente dura, coincidiendo con los valores de dureza total.

Con respecto a la alcalinidad, los valores observados fluctuaron entre 308 y 415 mg/l, considerando que la alcalinidad en aguas naturales rara vez excede 400-500 mg/l (U.S. Environmental Protection Agency, 1972), se consideró como un agua moderadamente alcalina, lo que coincide con los valores de pH.

Tomando en cuenta la concentración de Ca y Mg, así como las condiciones de dureza y alcalinidad del agua, se puede decir que el lago posee una gran capacidad buffer, que impide fluctuaciones considerables de pH y contribuye en gran medida a evitar la presencia de gases como bióxido de carbono y otros productos de degradación anaeróbica, que requieren de condiciones de acidez para su formación.

Para determinar en qué grado la descarga de materia orgánica ha afectado un cuerpo de agua particular, es necesario conocer los niveles de oxígeno disuelto normales para esta zona; a falta de esta información deben tomarse como normales los valores de saturación de oxígeno bajo las condiciones de presión y temperatura del lugar (U.S. Environmental Protection Agency, 1972).

Considerando la temperatura promedio del agua durante el período de estudio, se encuentra que el 100 % de saturación de oxígeno disuelto para el sistema es de 11.7 mg/l.

Al analizar los resultados de oxígeno disuelto, se observa que éstos se encuentran por debajo de los valores de saturación esperados, fluctuando entre 14 y 100 %, observándose un decremento con respecto a la profundidad, lo que nos indica que existen descargas de materia orgánica de volumen variable que están afectando al sistema y que a pesar de ello, el oxígeno disuelto se encuentra dentro de un intervalo biológicamente tolerable, a excepción de la estación 8, donde llegan a encontrarse déficits de saturación de oxígeno disuelto del 86 %. Esto es una clara evidencia de que aún cuando existe aporte de materia orgánica al lago, éste no ha sido de tal magnitud como para causar un total abatimiento del oxígeno disuelto, llegando a condiciones de anaerobiosis en las que encontraríamos ácido sulfhídrico.

Las concentraciones de demanda bioquímica y demanda química de oxígeno encontradas son relativamente bajas, de acuerdo con los valores esperados para cuerpos de agua superficiales, excepto la demanda química para la estación 8, lo que nos indica, que si bien existen aportes de materia orgánica, está siendo adecuadamente degradada. Los valores de demanda bioquímica de oxígeno se consideraron bajos para el primer muestreo, por lo que se continuó con esta prueba, salvo en las estaciones 7 y 8, lo que se considera un error, dado que para tener una idea del grado de eutrofia del sistema, éste es un parámetro importante.

Con base en parámetros físicoquímicos, gran parte de los resultados nos muestran que la calidad del agua es buena para diferentes usos, sin embargo, esto se ve restringido por los resultados obtenidos a partir del análisis bacteriológico.

Se observa que la densidad de coliformes totales y fecales es variable a lo largo del año, no presentando un comportamiento específico en ninguna época. La media geométrica es relativamente baja para las estaciones 1 a 7, encontrándose por debajo de los límites permisibles para agua destinada a los usos recrea-

cional de contacto primario, agrícola y para el desarrollo de organismos acuáticos. Entre los diferentes usos a que se destina el agua del lago, está el doméstico (potable) para lo cual no es recomendable, ya que no cumple con los requerimientos de calidad; no obstante, se encuentra dentro de los límites como fuente de suministro de agua con previo tratamiento (U.S. Environmental Protection Agency, 1972). En la estación 8, la densidad de bacterias sobrepasa el límite permisible para todo uso, considerándose una zona crítica de contaminación por materia orgánica.

Los valores obtenidos para streptococos fecales en agua, son superiores a los registrados para coliformes totales, a excepción de la estaciones 5, 7 y 8, ubicadas cerca de zonas densamente pobladas, lo que sugiere que en el resto de las estaciones existe una contaminación por desechos orgánicos de origen animal predominantemente. Los valores de streptococos fecales, sobrepasan el límite para agua potable en todas las estaciones y para uso recreacional de contacto primario en las estaciones 3, 5, 6 y 8. Considerando estos valores, se puede decir que el agua es de buena calidad para uso agrícola, para el desarrollo de organismos acuáticos (Figura 11) y como fuente de suministro de agua potable con previo tratamiento.

Las medias geométricas de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales para las diferentes estaciones de muestreo, indican que en las estaciones 5 y 8 existe una mayor densidad bacteriana, lo que puede ser atribuido a que son las áreas más cercanas a los poblados de Janitzio y Pátzcuaro, respectivamente.

En la evaluación microbiológica del sistema se consideró importante incluir tanto al agua como al sedimento, ya que este último brinda un habitat adecuado para el desarrollo de innumerables microorganismos, de tal forma que puede reflejarnos la alteración que está sufriendo el ecosistema.

De acuerdo con los valores obtenidos del análisis bacterio-

lógico de los sedimentos del lago de Pátzcuaro, se aprecia que la densidad bacteriana en el sedimento se incrementa en un orden de magnitud, o sea 10 veces respecto al agua, no siguiendo el patrón de comportamiento sugerido por Wetzel (1975), que establece una relación de agua a sedimento de 3 a 5, lo que hace pensar en una alteración de las condiciones naturales del medio. Aún cuando no existen límites permisibles que pudieran servir de punto de referencia, se debe considerar que al incrementarse la cantidad de bacterias en sedimento, existirá un riesgo potencial mayor de contaminación del agua.

La relación coliformes fecales con streptococos, nos indica el origen de la materia orgánica; de acuerdo con esto, los valores encontrados nos muestran que en las estaciones 1 a la 7, los desechos provienen de ganado y animales de corral básicamente, lo que es muy probable, si se considera que el ganado se alimenta de plantas acuáticas dentro del lago y en las márgenes del mismo. En la estación 8 esta condición varía, considerándose se un área de interpretación incierta. Estos datos asociados con los obtenidos en el muestreo complementario, para Janitzio y Pátzcuaro, donde se registran valores altos, reflejan la presencia de desechos de origen doméstico, básicamente humano, sobresaliendo el valor 15.14 en la zona exterior del embarcadero frente a Pátzcuaro, cerca de donde desemboca el drenaje de esta ciudad.

De los muestreos efectuados frente a las poblaciones de Quiroga, Erongarícuaro, Janitzio y Pátzcuaro, podemos decir que, aún cuando Quiroga es la población más importante de la zona nor este del lago, las muestras de este sitio presentan una menor cantidad de bacterias, lo que puede atribuirse a que no se encuentra actualmente tan cerca de la orilla como las demás poblaciones, esto aunado al hecho de que es la zona más profunda y abierta y que por lo tanto posee una mayor capacidad de autodepuración, lo que no sucede frente a Erongarícuaro o Pátzcuaro, que se encuentran en una zona cerrada y somera, donde la gran cantidad de macrofitas acuáticas reduce la circulación del agua.

Al observar los resultados obtenidos en estos muestreos con respecto a coliformes totales, coliformes fecales y streptococos fecales en agua, se puede decir que ésta no cumple con las recomendaciones para agua potable, recreacional de contacto primario, agrícola, piscícola, ni como fuente de suministro de agua potable mediante tratamiento, lo que pone en evidencia el problema existente en la zonas de mezcla, frente a los poblados, lugar del que se extrae agua para muy diversos usos (Figura 12).

Siendo Janitzio y Pátzcuaro de las poblaciones más afectadas, es posible tomarlas como patrón de lo que sucede en la mayoría de los poblados adyacentes al lago de Pátzcuaro.

Janitzio posee un sistema de drenaje con tanque de retención construido en 1937 (Figura 13), el cual resulta insuficiente actualmente, por lo que el agua de desecho doméstico es vertida al lago directamente, por medio de canales o tubos superficiales. Muy pocas familias poseen baño con drenaje adecuado y la mayor parte de los habitantes se baña en la zonas arboladas en las márgenes de la isla, donde al bajar el nivel del agua quedan al descubierto una gran cantidad de desechos, siendo un foco de infección que al subir el nivel del agua se transforma en una zona insalubre, donde la gente continúa bañándose, lavando ropa y utensilios de cocina. A esto debe agregársele la gran cantidad de desechos fecales tanto de origen humano como del ganado porcino, encontrado en el perímetro de la isla.

El sistema de abastecimiento de agua potable es deficiente, ya que del muestreo efectuado al azar en 5 tomas de agua, en ningún caso cumplía con los requerimientos mínimos de calidad (Figura 14), por lo que se supone que no ha recibido tratamiento alguno, afectando directamente a la población, lo que se observa en los datos obtenidos en la Unidad Médica Rural Janitzio, IMSS/COPLAMAR, en dos períodos de cuatro meses, las enfermedades más comunes en orden de importancia fueron (Dra. Rojas - comunicación personal):



enero-abril, 1981

Amibiasis intestinal  
Gastroenteritis infecciosa  
Parasitosis / Ascaris, Oxiuros  
Amigdalitis  
Salmonelosis  
Escabiasis  
Tiña  
Trichomona genital

mayo-agosto, 1981

Amibiasis intestinal  
Gastroenteritis infecciosa  
Amigdalitis  
Parasitosis / Ascaris, Oxiuros  
Tiña  
Trichomona genital  
Bronquitis aguda  
Faringitis

Esto pone de manifiesto que aún cuando la población presenta un cierto grado de inmunidad, las condiciones sanitarias y el medio de vida son inadecuados; debe considerarse que el problema no es únicamente sanitario, sino que también existe un alto grado de desnutrición en la población.

Se menciona el caso de Janitzio donde un grave problema es la carencia de espacio para dedicarse a la agricultura o ganadería y la población vive sujeta a la cada vez más incipiente pesca, debida en gran parte a la sobreexplotación del recurso o bien depende del turismo.

Se considera que problemas similares existen en muchas otras de las comunidades que se encuentran en los alrededores del lago de Pátzcuaro.

En cuanto al embarcadero de Pátzcuaro, donde se encuentra ubicada la estación 8, zona que presentó el mayor grado de alteración, puede mencionarse que es donde se vierten parte de los desechos de la ciudad, sin previo tratamiento, siendo la descarga de volumen variable e intermitente. Esto aunado a los 12,000 l/hr, utilizados durante 12 horas diarias en la Planta procesadora de pescado PROPEMEX, agua que antes de ser vertida recibe un "tratamiento primario" rudimentario, que consiste en hacer pasar el agua a través de una malla de alambre, lo que evita el paso de vísceras y escamas (Figura 15). El producto procesado en dicha planta proviene de la Presa El Infiernillo, del lago de Chapala, de la costa, Coahuayana y Barra de Navidad y esporádicamente recibe producto del propio lago de Pátzcuaro.

Las estaciones situadas frente a los poblados de Erongarícuaro, Janitzio y Pátzcuaro, pueden tomarse como representativas de

lo que sucede en las zonas de mezcla, entendiendo por zona de mezcla, las regiones en las cuales se presenta una descarga de agua de diferente calidad que aquella del sistema, de tal forma que los desechos son progresivamente diluidos de la fuente hacia el cuerpo receptor.

De acuerdo con los criterios para evaluar el grado de eutrofia de un sistema acuático (Welch, 1952; Borchardt, 1969; Wetzel, 1975; Pesson, 1976; Reid and Wood, 1976; Holdgate, 1979; Bachmann, 1980) y dado que no existen sistemas de clasificación definidos a este respecto, puede considerarse a Pátzcuaro como un lago mesotrófico, con base en sus características físicas y químicas. La asignación de esta categoría deberá ser corroborada con los resultados obtenidos en los trabajos sobre productividad y comunidades bentónicas realizados paralelamente a éste, con lo que se podrá llegar a determinar con mayor exactitud el nivel trófico del sistema.

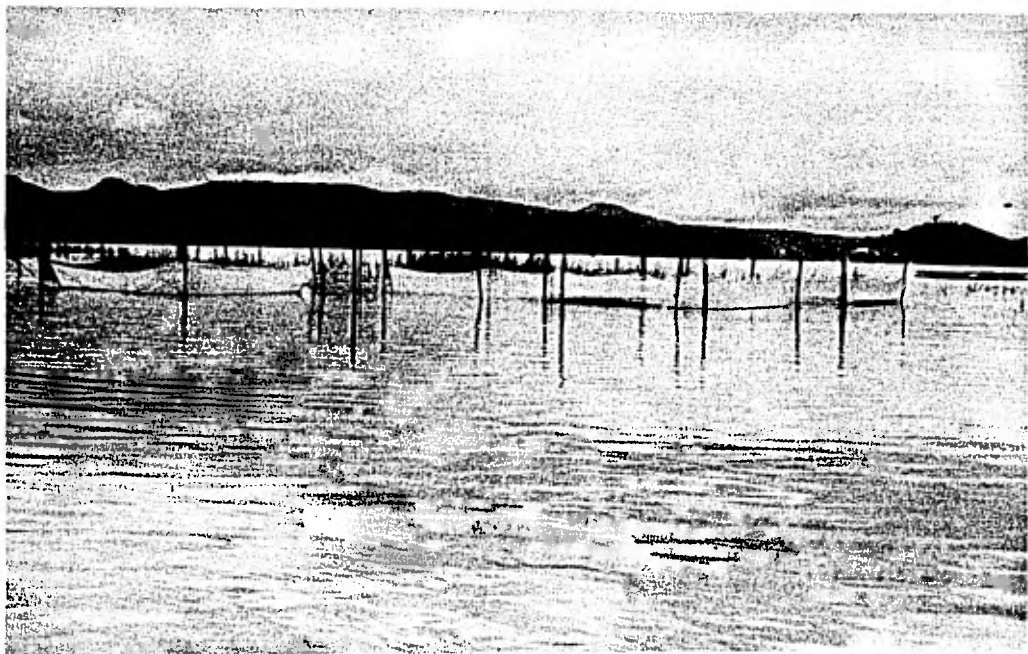


Figura 11. Zona del lago en donde se cultivan organismos acuáticos, La Granada.

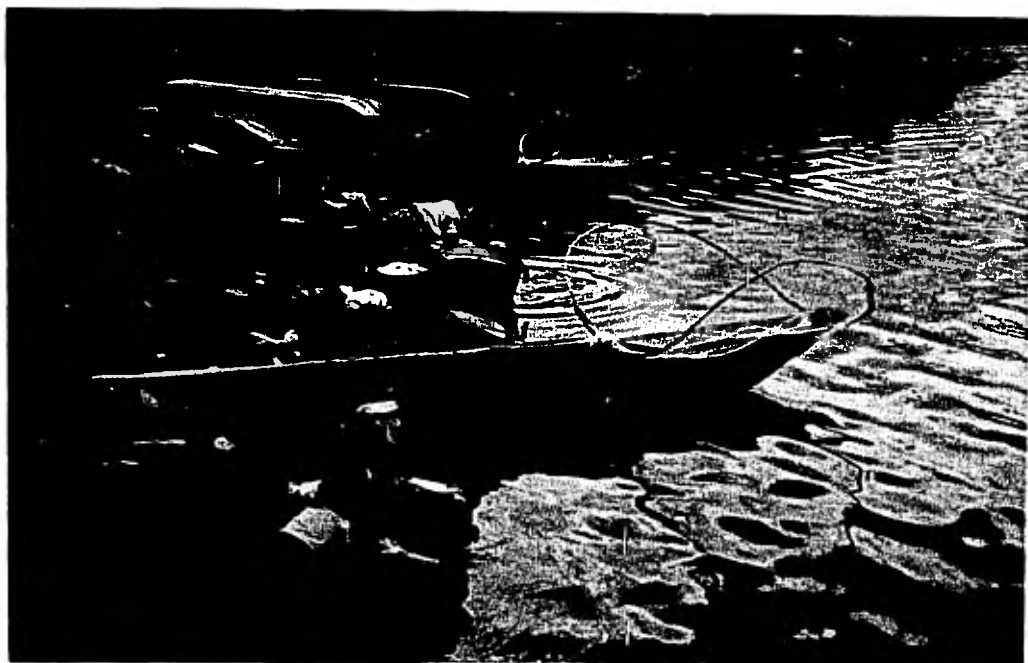


Figura 12. Los habitantes utilizan el agua del lago para satisfacer sus necesidades.

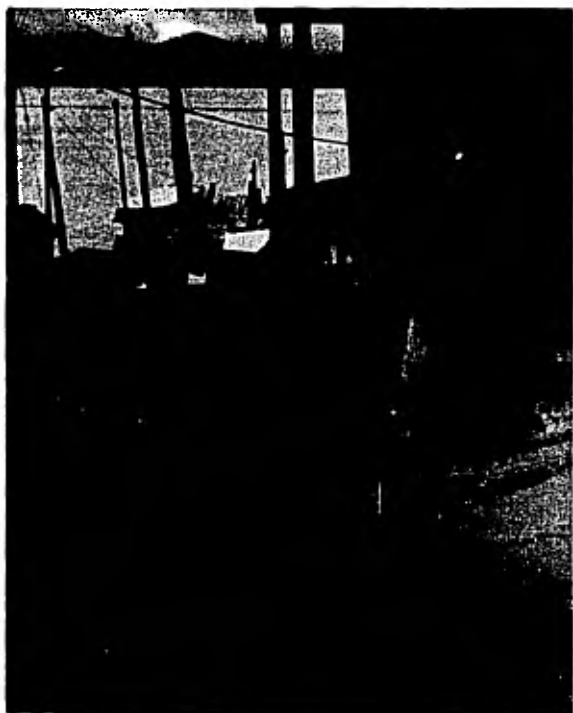


Figura 13. Tanque de retención de aguas negras, Janitzio.



Figura 14. Agua sin tratamiento es utilizada como potable.



Figura 15. Vertimiento de desechos de la Planta PROPEMEX, Pátzcua  
ro.

## 7. CONCLUSIONES.

El sistema acuático en estudio, de acuerdo con su temperatura, es un lago tropical de tercer orden; polimictico, en relación con sus periodos de circulación.

Con respecto a sus características físicas y químicas, puede considerarse que dentro de su proceso evolutivo el lago de Pátzcuaro se encuentra en un estado mesotrófico.

De acuerdo con los datos bacteriológicos, en la zona sur del lago se nota una clara influencia de los centros poblacionales, donde el vertimiento de desechos de carácter orgánico ha provocado en cierta medida la alteración de la calidad del agua y una concentración de bacterias en el sedimento.

En la zona de mezcla, la calidad del agua no cumple con las recomendaciones para los usos a que se destina actualmente, lo que implica un serio riesgo a la población, en detrimento de su salud.

El embarcadero de Pátzcuaro, de acuerdo con los datos físicoquímicos y bacteriológicos, se considera una zona crítica de contaminación, donde a corto plazo es necesaria la instalación de una planta de tratamiento.

De acuerdo con los resultados de los análisis bacteriológicos, en la actualidad el agua del lago de Pátzcuaro no cumple con las recomendaciones para agua potable, ni recreacional de contacto primario incluyendo baño. Sin embargo, si cumple con las recomendaciones de calidad para fines agrícola, recreacional en general, para la pesca y desarrollo de organismos acuáticos, así como para fuente de agua para uso doméstico mediante tratamiento previo; excepto en las zonas de mezcla.

Los resultados de este trabajo confirman, que el tipo de información que brindan los métodos físicoquímicos y biológicos para la evaluación de la calidad del agua son necesarios.

Para mejorar el suministro de agua potable, se propone una

reconstrucción de los sistemas de abastecimiento y tratamiento, o bien su establecimiento en caso de no existir.

Se recomienda la introducción, o bien la reparación de los sistemas de drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento del agua de las diferentes poblaciones, antes de verterla al lago.

Se considera necesario exigir a la empresa PROPEMEX, la construcción de una planta de tratamiento, evitando así el vertimiento de sus desechos directamente al lago.

Oada la gran capacidad autodepuradora del sistema, no se han hecho patentes los efectos nocivos de las descargas de materia orgánica en el lago, a excepción del embarcadero de Pátzcuaro y las zonas de mezcla, situación que puede llegar a agravarse de no tomarse medidas a corto plazo.

## AGRADECIMIENTOS.

De manera especial deseo agradecer a la M. en C. Irma Rosas la dirección de este trabajo, así como sus acertadas sugerencias.

Al M. en C. Armando Báez, Biólogo Pedro Ardisson e Ing. Quim. Raúl Belmont por su apoyo y colaboración a lo largo del estudio.

A los M. en C. Juan Luis Cifuentes y Francisco Vera por su ayuda y sugerencias.

Al Biólogo José Carlos Garduño y al Piscicultor Salvador Zuluaga de la Delegación Federal de Pesca, Pátzcuaro, Michoacán por su apoyo en el trabajo de campo.

Al personal del Departamento de Química Atmosférica y Estudios del Agua del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la U.N.A.M., por su cooperación en diferentes aspectos del trabajo.

A los M. en C. Javier Caballero, Cristina Mápés y Geógrafo Narciso Barrera por su ayuda en la recopilación de información.



## BIBLIOGRAFIA.

Alvarez, J. y M. T. Cortés, 1962. Ictiología Michoacana. Claves y catálogo de las especies conocidas. An. Esc. Nal. Cienc. Biol. 11(1-4): 79-148.

Alvarez, J., 1972. Ictiología Michoacana. Origen y distribución de la ictiofauna dulceacuícola de Michoacán. An. Esc. Nal. Cienc. Biol. 19: 155-161.

American Fisheries Society, 1979. A Review of the EPA Red Book: Quality Criteria for Water. Ed. by the Members of the Red Book Review Steering Committee. Maryland, U.S.A.: 82-89.

American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation (APHA-AWWA-WPCF), 1976. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th. ed. U.S.A.: 1193.

Ancona, I., M. A. Batalla, E. Caballero, C. C. Hoffmann, R. Llamas, R. Martín del Campo, I. Ochoterena, E. Rioja, J. Roca, A. Sámano, C. Vega y F. Villagrán, 1940. Prospecto Biológico del Lago de Pátzcuaro. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. México 11: 415-513.

Arrignon, J., 1976. Aménagement écologique et piscicole des eaux douces. Gauthier-Villars. Paris: 188-199.

Bachmann, R. W., 1980. The Role of Agricultural Sediments and Chemicals in Eutrophication. J. WPCF 52(10): 2425-2431.

Berriozábal, F. B., 1936. Informe del Comisionado Felipe B. Berriozábal sobre observaciones hechas en los lagos de Pátzcuaro y Zirahuén y en el río Cupatitzio. Bolet. Depto. Forestal, Caza y Pesca 1(3): 173-189.

Blásquez, L y R. Lozano, 1946. Hidrogeología y minerales no-metálicos de la zona norte del Estado de Michoacán. An. Inst. Geol. Univ. Nal. Auton. México 9: 156.

Borchardt, J. A., 1969. Eutrophication - Causes and Effects. J. Am. Wat. Wks. Ass. 61: 272-275.

Bordner, R. H., 1981. Recent Developments in Microbiological Methods for Water Quality Enforcement. In: Memoria. Primer Curso y Simposio Internacional sobre la Biología de la Contaminación. A.M.I.C.A., A.C. México: 1-17.

- Bordner, R. H., 1981. Microbiology: methodology and quality assurance. J. WPCF 53(6): 1098-1107.
- Brehm, V., 1942. Plancton del Lago de Pátzcuaro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 3 (1-4): 81-84.
- Buen, F. De, 1940a. Pescado blanco, chacuami y charari del Lago de Pátzcuaro. Est. Limnol. Pátzc. 1: 24.
- Buen, F. De, 1940b. Huevos, crías, larvas y jóvenes de Chirostoma del Lago de Pátzcuaro. Est. Limnol. Pátzc. 3: 14.
- Buen, F. De, 1941a. Dos cortas campañas limnológicas en el lago de Pátzcuaro. Est. Limnol. Pátzc. 10: 16.
- Buen, F. De, 1941b. El Micropterus (Huro) salmonides y los resultados de su aclimatación en el lago de Pátzcuaro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 2(1): 69-78.
- Buen, F. De, 1941c. Notas sobre ictiología de aguas dulces de México I. El Chirostoma fontinalis (Cházari). Est. Limnol. Pátzc. 1: 2-5.
- Buen, F. De, 1941d. Fases ontogénicas de la Acúmara (Algansea laeustris Steind) del lago de Pátzcuaro. An. Inst. Biol. Univ. Nat. Auton. México 12: 345-354.
- Buen, F. De y M., Zozaya, 1942. Variaciones del nivel de la superficie del lago de Pátzcuaro durante los años 1939 a 1941. Est. Limnol. Pátzc. 2(1): 16.
- Buen, F. De, 1943. La Muerte de los Lagos Michoacanos. Rev. Gral. Marina: 30-33.
- Buen, F. De, 1944a. Los Lagos Michoacanos II. Pátzcuaro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 5(1-2): 99-125.
- Buen, F. De, 1944b. Limnobiología de Pátzcuaro. An. Inst. Biol. Univ. Nat. Auton. México 15: 261-312.
- Buen, F. De, 1945. Investigaciones sobre Ictiología Mexicana. An. Inst. Biol. Univ. Nat. Auton. México 16(2): 475-489.
- Caballero, J., N. Barrera, A. Lot y C. Mápés, 1981. Guías Botánicas de Excursiones en México. Cuenca del Lago de Pátzcuaro. Soc. Botánica de México, A.C. México: 40.
- Caballero, J., 1981. Nota sobre el uso de los recursos entre los antiguos purépecha. Biótica 5(4): 14. -en prensa-

Cabelli, V., 1978. New Standards for Enteric Bacteria. In: Water Pollution Microbiology. John Wiley and Sons Inc. Mitchell, R. ed. U.S.A.: 233-271.

Cabelli, V., 1979. Evaluation of Recreational Water Quality, the EPA Approach. In: Biological Indicators of Water Quality. James, A. and L. Evison ed. John Wiley and Sons. Great Britain: 14-1 - 14-23.

Calderón-García, A. y J. Angeles-López, 1971. Estudio del lirio acuático (Eichhornia crassipes (Mart) Solms) en el Lago de Pátzcuaro. Com. Forest. Est. Mich. Serie Técnica. 2a Epoca 2: 48.

IX Censo General de Población, 1970. Srfa. Ind. Com. Dir. Gral. Estadíst. México. Estado de Michoacán: 3-12.

Correa, G. y T. Rodríguez-Palma, 1973. Provincias Fisiográficas del Estado de Michoacán. In: Memoria del VI Congreso Nacional - de Geografía. Tomo I. México: 23-30.

Cserna, Z. de, P. A. Mosiño y O. Benassini, 1974. El escenario geográfico. Srfa. Educ. Publ.-Inst. Nal. de Antrop. Hist. México: 51-55.

Cuesta Terrón, C., 1931. Chirostoma samani sp. nov.. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. México 2: 235-241.

Domingo, D. J., 1979. Los Indígenas Purépechas y la Pesca en el Lago de Pátzcuaro. In: Primer Simposio Internacional Educ. y Org. Pesquera. México.

Dutka, B. J., 1973. Coliforms Are an Inadequate Index of Water Quality. J. Environ. Health 36(1): 39-46.

Dutka, B. J., 1979. Microbiological Indicators, Problems and Potential of New Microbial Indicators of Water Quality. In: Biological Indicators of Water Quality. James, A. and L. Evison ed. John Wiley and Sons. Great Britain: 18-1 - 18-24.

Espinosa Natarén, M., 1941. Estudio bromatológico del pescado blanco (Chirostoma estor Jordan). Est. Limnol. Pátzc. 8: 8.

Estación Limnológica de Pátzcuaro, 1943. Informe No. 42. Aves, reptiles, mamíferos, meteorología, hidrología, piscicultura.

Evison, L., 1979. Microbial Parameters of Raw Water Quality. In: Biological Indicators of Water Quality. James, A. and L. Evison ed. John Wiley and Sons. Great Britain: 16-1 - 16-19.

Geldreich, E. E., 1970. Applying Bacteriological Parameters to Recreational Water Quality. J. Am. Wat. Wks. Ass. 62: 113-120.

Geldreich, E. E. and R. H. Bordner, 1971. Faecal contamination of fruits and vegetables during cultivation and processing for the market. A review. J. Milk Food Technol. 34(4): 184-195.

Geldreich, E. E., 1976. Fecal Coliform and Fecal Streptococcus Density Relationships in Waste Discharges and Receiving Waters. Critical Rev. Environ. Control 6 (4): 349-369.

Geldreich, E. E., 1981. Microbiology of Water. J. WPCF 53(6). U.S.A.: 1083-1098.

Hall, R. y B. Villa, 1950. Lista anotada de los mamíferos de Michoacán, México. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. México 21: 159-212.

Herrera, E., 1979. Características y Manejo del Lago de Pátzcuaro, Mich. Tesis (Licenciatura). Fac. Ciencias. Univ. Nal. Auton. México: 62.

Holden, W., 1970. Water Treatment and Examination. J. & A. Churchill Publ. London: 513.

Holdgate, M. W., 1979. A Perspective of Environmental Pollution. Cambridge University Press. Great Britain: 278.

Hutchinson, G. E., R. Patrick and E. S. Devey, 1956. Sediments of Lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico. Bull. Geol. Soc. Am. 67 (11): 1491-1504.

James, A., 1979. The Value of Biological Indicators in Relation to other Parameters of Water Quality. In: Biological Indicators of Water Quality. James, A. and L. Evison ed. John Wiley and Sons. Great Britain: 1-1 - 1-16.

James, A. and L. Evison, 1979. Preface. Biological Indicators of Water Quality. John Wiley and Sons. Great Britain: xii-xiv.

Jauregui, E. y C. Soto, 1970. Algunas características de la precipitación y de otros elementos del clima en el Estado de Michoacán. Ing. Hidraul. México 24(1): 23-34.

Kowal, N. E., H. R. Pahren and E. W. Akin, 1980. Microbiological Health Effects Associated with the Use of Municipal Wastewater for Irrigation. International Conference on Cooperative Research Needs for the Renovation and Reuse of Municipal Wastewater in Agriculture. México: 50.

Kuznetsov, S.I., 1970. The Microflora of Lakes. Univ. Texas Press. Oppenheimer, C. H. ed. U.S.A.: 503.

Lara Vargas, A., 1974. Aspectos del cultivo extensivo e intensivo del pescado blanco de Pátzcuaro, Chirostoma estor Jordan 1879. In: La Acuicultura en América Latina. Actas del Simposio de Montevideo FAO. Roma 1977: 113-116.

Legislación relativa al agua y su contaminación, 1976. Srfa. Agricultura Y Rec. Hidraul.. México: 143.

Mápes, C., G. Guzmán y J. Caballero, 1981. Etnomicología Purépecha. Serie Etnobotánica. Srfa. Educ. Publ., Soc. Mex. Micol., Inst. Biol, UNAM. México: 79.

Marshall, K. C., 1978. The Effects of Surfaces on Microbial Activity. In: Water Pollution Microbiology Vol. 2. John Wiley and Sons Inc. U.S.A.: 51-70.

Marshall, K. C., 1980. Adsorption of Microorganisms to Soils and Sediments. In: Adsorption of Microorganisms to Surfaces. Bitton, G. and K. C. Marshall ed. John Wiley and Sons. U.S.A.: 439.

Matsui, I., 1936. Informe del Dr. Matsui sobre el problema de la pesca en Pátzcuaro. Bol. Depto. Forestal, Caza y Pesca I(4): 177-184.

Matsui, I. y T. Yamashita, 1936. Informe de los doctores Matsui y Yamashita acerca del mismo asunto (Lago de Pátzcuaro). Bol. Depto. Forestal, Caza y Pesca I(3): 166-172.

Matsui, I., 1937. Proyecto de los trabajos que se desarrollan en la Estación Limnológica de Pátzcuaro, Michoacán. Bol. Depto. Forestal, Caza y Pesca II(6): 145-148.

Millipore Corp., 1973. Biological Analysis of Water and Waste water. Application Manual AM302. Bedford, MA 3th. ed.: 84.

Mitchell, R., 1978. Indirect Ecological Effects of Pollution. In: Water Pollution Microbiology Vol. 2. John Wiley and Sons, Inc. U.S.A. Mitchell, R. ed.: 177-199.

Moya, R., 1970. La pesca en el lago de Pátzcuaro. Técnica Pesquera III(32): 23-29.

Osorio Tafall, B. F., 1941a. Polimorfismo y epifitismo en diatomeas planctónicas de Pátzcuaro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 2 (2-3): 137-146.

Osorio Tafall, B. F., 1941b. Materiales para el estudio del Microplankton del Lago de Pátzcuaro. An. Esc. Nal. Cienc. Biol. 2 (2-3): 331-383.

Osorio Tafall, B. F., 1944. Biodinámica del Lago de Pátzcuaro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 5(3-4): 197-227.

Pesson, P., 1976. La Pollution des Eaux Continentales. Gauthier-Villars Ed. Paris: 67-96.

Quevedo, M. A., 1936. Observaciones llevadas a cabo sobre las condiciones de los bosques en el Estado de Michoacán. Bol. - Depto. Forestal, Caza y Pesca II(5): 135.

Reid G. K. and R. D. Wood, 1976. Ecology of Inland Waters and Estuaries. D. Van Nostrand, Co. U.S.A. 2nd. ed.: 485.

Rosas, M. M., 1970. Pescado blanco (Chirostoma estor). Inst. Nal. Inv. Biol. Pesq.. Sria. Ind. Com. México. Instructivo 2: 79.

Rosas, M. M., 1976a. Datos biológicos sobre el Acocil (Cabarellus montezumae patzcuarensis) In: Memorias Simposio sobre Pesquerías en Aguas Continentales. Tomo II. México: 91-123.

Rosas, M. M., 1976b. Datos biológicos de la Ictiofauna del Lago de Pátzcuaro, con especial énfasis en la alimentación de sus especies. In: Memorias Simposio sobre Pesquerías en Aguas Continentales. Tomo II. México: 299-366.

Rosas, M. M., 1976c. Peces dulceacuícolas que se explotan en México y datos sobre su cultivo. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. Inst. Nal. Pesca, Sria. Ind. Com. México: 17-40.

Shuval, H. I., 1977. Water Renovation and Reuse. Academic Press. U.S.A.: 45-49.

Solórzano, A., 1955. La pesca en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán y su importancia económica regional. Sria. de Marina: 58.

Solórzano, A., 1961. Contribución al conocimiento de la biología del charal prieto del lago de Pátzcuaro, Michoacán (Chirostoma bartoni Jordan y Everman, 1896). In: Trabajos de Divulgación Iá. época. Sria. Ind. Com. México: 70.

Solórzano, A., 1963. Algunos aspectos biológicos del pescado blanco del Lago de Pátzcuaro, Michoacán (Chirostoma estor Jordan 1879). Inst. Nal. Inv. Biol. Pesq. 2a. época(4): 7-12.

Tobin, R. S., P. Lomax and D. J. Kushner, 1980. Comparison of Nine Brands of Membrane Filter and the Most-Probable-Number Methods for Total Coliform Enumeration in Sewage-Contaminated Drinking Water. Appl. Environ. Microbiol. 40: 186-191.

Toledo, V. M., J. Caballero, C. Mápés, N. Barrera, A. Argueta y M. A. Nuñez, 1980. Los purépechas de Pátzcuaro: una aproximación ecológica. Amer. Indígena 40(1): 17-55.

Uéno, M., 1939. Zooplankton of Lago de Patzcuaro, Mexico. Annot. Zool. Jap. 18(2): 105-114.

Urroz, J. E., 1973. Control de la calidad del agua para diversos usos. Publ. Técnicas. Srfa. Rec. Hidarul.: 28.

U.S. Environmental Protection Agency, 1972. Water Quality Criteria 1972. Ecological Research Series. Washington D.C.: 594.

U.S. Environmental Protection Agency, 1978. Microbiological Methods for Monitoring the Environment. Bordner, R. H. and J. Winter ed. Cincinnati, Ohio: 338.

Villalobos, A., 1955. Cambarinos de la Fauna Mexicana. Tesis (D.C. Biología). Fac Ciencias. Univ. Nal. Auton. México: 290.

Villarello, J. D., 1909. Hidrología subterránea de los alrededores de Pátzcuaro, Michoacán. Inst. Geol. de México. Tomo II. Párrafos 9: 343-362.

Welch, P., 1948. Limnological Methods. McGraw Hill Book Co., Inc. U.S.A.: 77-98.

Welch, P., 1952. Limnology. McGraw Hill Book Co., Inc. U.S.A.: 538.

Wetzel, R., 1975. Limnology. W. B. Saunders Co. U.S.A.: 743.

Wheater, D. W. F., D. D. Mara and J. Oregui, 1979. Indicator Systems to Distinguish Sewage from Stormwater Runoff and Human from Animal Fecal Material. In: Biological Indicators of Water Quality. James, A. and L. Evison ed. John Wiley and Sons. Great Britain: 21-1 - 21-27.

Wilber, Ch., 1969. The Biological Aspects of Water Pollution. Charles C. Thomas Publ. Illinois U.S.A.: 224-240.

Xirau, J., 1941. Nota sobre el ciclo del NaCl en el Chirostoma estor del lago de Pátzcuaro. Est. Limnol. Pátzc. 4: 3.

Yamashita, T., 1939. Informe rendido por el Ing. Yamashita, sobre investigaciones realizadas en el lago de Pátzcuaro. Bol. - Depto. Forestal, Caza y Pesca IV: 91-100.

Zozaya, M., 1941. Observaciones Termopluviométricas en Pátzcuaro. Est. Limnol. Pátzc. (2): 14.