

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS



**EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA CON BASE
EN ALGUNOS ASPECTOS DE LA COMUNIDAD FITO-
PLANCTONICA DEL LAGO DE PATZCUARO, MICH.**

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

ADRIANA VELASCO PACHECO

1 9 8 2



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.

INDICE.

INTRODUCCION Y OBJETIVO.	1
ASPECTOS ECOLOGICOS DEL FITOPLANCTON EN LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA.	4
a. Comunidades fitoplanctónicas.	
b. Estado trófico y especies indicadoras.	
c. Periodicidad fitoplanctónica y cambios físicoquímicos.	
d. Comportamiento fisiológico de las algas.	
e. Productividad primaria.	
AREA DE ESTUDIO.	26
a. Localización.	
b. Climatología.	
c. Hidrografía.	
d. Geología.	
e. Biología.	
f. Actividades humanas.	
MATERIAL Y METODO.	31
a. Trabajo de campo.	
b. Trabajo de laboratorio.	
c. Análisis estadístico.	
RESULTADOS.	36
DISCUSION.	60
RECOMENDACIONES.	71
REFERENCIAS.	72

INTRODUCCION Y OBJETIVO.

En general, los cuerpos de agua como el lago de Pátzcuaro, Mich., extensos y de una belleza natural, son utilizados para la pesca, para el suministro de agua y con fines recreativos. Sin embargo, su mal uso, la sobreexplotación de sus recursos y la contaminación de sus aguas, originan su extinción prematura.

El mar, los lagos y los ríos tienden a convertirse en cloacas, captadoras de todos los desechos producidos por el hombre. En esta situación se encuentra el lago de Pátzcuaro, al cual los poblados aledaños así como la planta procesadora de pescado PROPEMEX, vierten sus aguas residuales sin previo tratamiento o con un tratamiento mínimo, provocando alteraciones fisicoquímicas y biológicas, de manera que se incrementa el material y las sales minerales, así como la producción algal. Además, las actividades agrícolas han causado la erosión del suelo, provocando el azolvamiento de su embalse.

De esta forma, el hombre ha ido acelerando el proceso de envejecimiento del lago, alterándose su equilibrio ecológico lo cual se refleja en: cambios en los distintos niveles tróficos, variaciones sucesivas en el número y tipo de organismos y en una reducción de los niveles de oxígeno disuelto (Vallentyne, 1978).

Las algas constituyen la base de las redes alimentarias, convirtiendo la energía solar en calorías bajo la forma de alimento, siendo su abundancia y su tasa de producción las que determinan principalmente la productividad en los niveles superiores. Sin embargo, cuando los cuerpos de agua presentan florecimientos muy densos de algas, se produce un agotamiento de oxígeno disuelto durante la noche, provocando la asfixia y muerte de peces, algunos de importancia comercial. Asimismo, se ha visto que el ganado y animales domésticos que consumen agua con gran contenido de algas cianofitas, se ven gravemente afectados. Cabe mencionar que esta agua sin previo tratamiento de purificación, produce intoxicaciones, enfermedades gastrointestinales y dermatitis en el hombre.

El lago de Pátzcuaro, ha sido objeto de innumerables trabajos debido a su importancia en la explotación pesquera. Por ello, existen varios trabajos sobre diferentes aspectos ictiofaunísticos, entre los cuales destacan los de: De Buen (1940, 1941, 1944a y 1944b), Solórzano (1955, 1961 y 1963) y Rosas (1970 y 1976).

Entre otras investigaciones, se encuentran aquellas publicadas en el Prospecto Biológico, el cual abarca los siguientes puntos: - observaciones acerca del plancton del lago (Rioja, 1940); notas sobre algunos invertebrados (Caballero, Hoffmann y Rioja, 1940); conocimiento de los vertebrados de la región (Martín del Campo, 1940); datos de la vegetación acuática y algunos aspectos fisicoquímicos del lago (Acona, 1940).

Posteriormente De Buen y Zozaya (1941) y Blásquez y Lozano (1946), efectuaron algunos análisis fisicoquímicos de este embalse y Hutchinson *et al.*, (1956), hicieron estudios de los sedimentos por medio del polen y diatomeas.

En el Instituto de Biología, U.N.A.M., desde 1977 a la fecha se han venido realizando algunos estudios de la región de Pátzcuaro, sobre: Ecología (Toledo *et al.*, 1980); Geografía física, Florística y Etnobotánica (Caballero *et al.*, 1981) y sobre el conocimiento y uso de los hongos (Mapes *et al.*, 1981). Asimismo, García *et al.*, actualmente trabajan sobre algunos aspectos limnológicos.

Una característica que es de gran importancia en la evolución de cualquier cuerpo de agua, es la referente a la composición planctónica que el sistema es capaz de sostener con sus variaciones innatas. Con respecto a esto, se han llevado a cabo estudios enfocados a conocer las especies más abundantes, tanto del fito como del zooplancton. A continuación se mencionan algunos de ellos:

En 1939, Matsui y Yamashita informaron sobre la existencia de diatomeas en este lago, debido a la concentración relativamente alta de silicatos. Pero es hasta 1940, cuando Rioja realizó observaciones acerca del plancton durante los meses de marzo y junio, indicando el -

predominio de la diatomea *Melosira*, a la que le sigue en orden de importancia *Ceratium hirundinella*, *Pediastrum simplex* y especies pertenecientes al género *Surirella*. Posteriormente Brehm (1942), publicó únicamente 4 especies fitoplanctónicas.

Destacan los trabajos de Osorio Tafall realizados entre 1941 y 1944, acerca del fitoplancton del lago. Este autor reportó que las especies dominantes pertenecen al grupo de las diatomeas, entre las cuales se encuentran: *Melosira granulata*, *Surirella capronii* y *S. nervosa*; le siguen los dinoflagelados como: *Ceratium hirundinella* y *Peridinium*; entre las clorofitas predominaron algunas especies de *Pediastrum*. En las épocas más calurosas, abundaron las cianofitas constituidas principalmente por *Microcystis*, e indicó la ausencia de algas flageladas y de desmicias. En este trabajo, habla por vez primera de la aparición de un "bloom" florecimiento de cianofitas caracterizado por *Anacystis rupestris* var. *prasina* y *Aphanothea stagnina*.

Los trabajos planctónicos que se han llevado a cabo en el lago de Pátzcuaro únicamente han sido descriptivos, por lo que se consideró conveniente en este estudio realizar un análisis de la comunidad fitoplanctónica, mediante:

- 1.- El conocimiento de la diversidad, abundancia y sucesión de los organismos, durante diferentes épocas del año.
- 2.- El establecimiento de la influencia de los factores bióticos y abióticos, en la dinámica de las poblaciones algales.
- 3.- La determinación indirecta de la productividad primaria como clorofila a y biomasa (peso seco libre de cenizas).

Todo ello, con el fin de poder evaluar la calidad del agua y el estado trófico de un sistema tan importante como es el lago de Pátzcuaro, Mich.

ASPECTOS ECOLOGICOS DEL FITOPLANCTON EN LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA.

a. Comunidades fitoplanctónicas.

La calidad de las aguas superficiales se ve reflejada en la composición y diversidad de las especies, en su densidad poblacional y por las condiciones fisiológicas de los organismos acuáticos de las comunidades autóctonas (Weber, 1973b).

Los estudios sobre la composición de las especies han sido utilizados para caracterizar la calidad del agua, tomando en cuenta a los organismos indicadores, a las asociaciones de especies, a su riqueza y a su abundancia relativa (incluyendo análisis matemáticos e índices de diversidad). Fjerdingsstad (1965; citado por Collins y Weber, 1978), menciona que las evaluaciones de la calidad del agua, son más objetivas cuando se determina la composición de toda la comunidad, que cuando se basan sólo en especies indicadoras.

El fitoplancton ocupa el nivel primario de la red alimentaria, siendo el reflejo inmediato y directo de las condiciones desfavorables y es quizás la medida más apropiada de la calidad del agua. La composición de especies suministra medidas integradas del estado del sistema. Esta es una característica muy importante, debido a que los cambios en la biota pueden reflejar efectos ocasionados por las interacciones internas o externas al sistema, las cuales no son fácilmente medibles o consideradas importantes (Stoermer, 1978).

Los medios que contienen gran número de especies con poblaciones relativamente pequeñas son óptimas y los cambios de las condiciones en el medio ambiente, reducen el número de especies y las que permanecen están representadas por grandes poblaciones (Wilber, 1969).

Fjerdingsstad (1963) y Patrick (1953), han usado el principio de diversidad de especies para mostrar el grado de alteración.

Estudios ecológicos han mostrado que en aguas "limpias" la distribución de las especies fitoplanctónicas es muy amplia y diversa, pero en aguas enriquecidas y tóxicas algunas especies son más abundantes que otras (Hohn, 1959; citado por Williams, 1964).

El concepto de riqueza de especie, ha sido usado extensivamente en la descripción de las comunidades fitoplanctónicas. Sin embargo, los números relativos de las especies que representan grupos taxonómicos diferentes en una muestra de plancton, han sido muy significativos como indicadores de las condiciones ecológicas (Rawson, 1956).

Los datos biológicos cualitativos y cuantitativos, pueden ser utilizados como indicadores de la contaminación. Algunos investigadores han concluido que las clases características de los organismos presentes en la mayoría de los cuerpos de agua, están determinados por factores edáficos y la sola presencia de ciertos organismos, no es una indicación de la calidad del agua. La presencia de algunas especies y su abundancia relativa es un indicador más real de la condición del agua, que la presencia o ausencia de cualquier especie particular (Williams, 1964).

b. Estado trófico y especies indicadoras.

El estado trófico puede ser definido como la capacidad del sistema para la formación de materia orgánica. Esto implica la presencia de algunos nutrientes, los cuales son utilizados por las algas para su desarrollo. Presenta tres niveles de acuerdo a su contenido en nutrientes:

- 1-OLIGOTRÓFICO.- Agua con baja concentración en nutrientes.
- 2-MESOTRÓFICO.- Contenido moderado en nutrientes.
- 3-EUTRÓFICO.- Concentración alta en nutrientes.

El fenómeno de la eutroficación consiste fundamentalmente en el enriquecimiento del agua con nutrientes, a un ritmo tal, que llega el momento en que no es posible la mineralización completa de la materia orgánica producida, ya que la descomposición del exceso de esta

materia, hace disminuir grandemente la concentración de oxígeno en el fondo del lago.

El enriquecimiento en nutrientes de los cuerpos de agua, es atribuido a los desechos orgánicos autóctonos y alóctonos, así como al aporte de terrígenos tratados con fertilizantes y arrastrados por la lluvia y el viento hacia el cuerpo receptor.

El paso de un lago oligotrófico a uno eutrófico, se caracteriza por un cambio importante en sus poblaciones. El plancton se hace más denso y en donde predominaban crisofitas y diatomeas, persisten algunas diatomeas y aparece gran número de clorofitas y cianofitas. Asimismo, se observa una variación en la composición de las comunidades del zooplancton, de los micro y macroinvertebrados y de los peces.

Los lagos oligotróficos pueden considerarse como ecosistemas estables, al presentar un cociente producción/biomasa bajo y una gran diversidad biótica. En cambio, los lagos eutróficos presentan una gran producción algal y una diversidad baja (Margalef, 1977).

En el sedimento del fondo de los lagos se acumula una gran cantidad de nutrientes, los cuales al ser resuspendidos son tomados por las algas para su desarrollo. Esta zona es particularmente apta para conservar gran cantidad de compuestos orgánicos, por esta razón, la diversidad de los pigmentos preservados en el fondo, es mayor en los lagos eutróficos que en los oligotróficos.

Las condiciones de los embalses varían de acuerdo a las diferentes estaciones del año, a la latitud, altitud y morfometría de la cuenca.

El estado trófico puede ser determinado por tres formas diferentes: 1) con base en sus características químicas; 2) de acuerdo a las asociaciones fitoplanctónicas (Hutchinson, 1967); 3) y a la distribución trófica (Rawson, 1956; Van Nuland y Meis, 1980).

Rawson (1956), enlistó a las algas del plancton más frecuentemente encontradas y las arregló de acuerdo a su aparición óptima en relación al contenido de nutrientes del agua, como sigue:

OLIGOTROFICO



MESOTROFICO



EUTROFICO

Asterionella formosa Hass.
Melosira islandica O. Müll.
Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kütz.
Dinobryon divergens Imh.
Fragilaria capucina Desmaz.
Stephanodiscus niagarae Ehrenb.
Staurastrum spp. Meyen.
Melosira granulata (Ehrenb.) Ralfs.
Fragilaria crotonensis Kitt.
Ceratium hirundinella (O. F. Müll.) Schr.
Pediastrum boryanum (Turp.) Menegh.
Pediastrum duplex Meyen.
Coelosphaerium naegelianum Unger.
Anabaena spp. Bory.
Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs.
Microcystis aeruginosa Kütz.
Microcystis flos-aquae (Wittr.) Kirchn.

Van Nuland y Meis (1980), presentaron una modificación del listado anterior, que consistió en la omisión de las especies *Asterionella formosa*, ya que en Canadá presenta una conducta ecológica diferente a la que presenta en Europa y de *Stephanodiscus niagarae*, por el hecho de no encontrarse en este último lugar. Rhode (1948), estableció que estas especies pueden indicar periodos oligotróficos y en cierta forma un ambiente mesotrófico. Consecuentemente la distribución de Rawson (1956), indicaría sólo mesotrofia.

Se ha observado que en lagos oligotróficos se presentan muchas especies poco numerosas, a diferencia de los eutróficos, en donde existen pocas especies pero abundantes.

Rawson (1956), indicó que las especies eutróficas prosperan en agua rica en nutrientes y desaparecen cuando los nutrientes disponibles, bajan hasta el mínimo requerimiento.

Muchas especies algales caracterizan al agua eutrófica y muy pocas pueden ser consideradas como indicadoras de oligotrofia. En un estudio de más de 300 lagos en Finlandia, se encontraron 30 especies de algas en lagos eutróficos y sólo 6 especies características de aguas oligotróficas,

por lo que se concluyó que existe un cierto tipo de algas presentes en los cuerpos de agua oligotróficos, capaces de sobrevivir en otro ambiente (Jarnefelt, 1952; citado por Rawson, 1956).

De los grupos algales, las diatomeas han sido ampliamente estudiadas debido al hecho de que ellas son consideradas de gran importancia en los lagos (Davis, 1966; citado por Stoermer, 1978). Ocupan diferentes microhábitats y con frecuencia es el grupo dominante. Cada especie de diatomeas ocupa un nicho diferente en el ecosistema acuático, respondiendo individualmente a los diferentes parámetros fisicoquímicos. Algunas especies son estenobiontes y están normalmente restringidas a condiciones específicas, favorables para su existencia (Lowe, 1974).

De este grupo, generalmente se encuentran dominando algunas especies del género *Cyclotella*, las cuales están incluidas en los medios oligotróficos y en las asociaciones propuestas por Hutchinson, (1967). Aunque estos organismos se han encontrado en estas condiciones, no necesariamente indican oligotrofia, puesto que muchas especies están asociadas con fuertes disturbios o con baja contaminación. De modo, que los nombres genéricos sólo dan una información mínima de las condiciones ambientales y cualquier interpretación basada sobre la aparición genérica, es bastante azarosa. Sin embargo existen ciertas excepciones a esto, ya que la presencia de la cianofita *Aphanizomenon* es un signo seguro de agua alterada (Stoermer, 1978).

En la mayoría de los lagos oligotróficos casi siempre se presentan 3 géneros de diatomeas: *Asterionella*, *Melosira* y *Tabellaria*. De estas, la mayoría de los ficólogos han reconocido que *Melosira islandica* es una especie indicadora de menos eutrofia, que la especie más común *Melosira granulata* la cual nunca se presenta en medios oligotróficos (Holland, 1968). De acuerdo a esto, Patrick (1973), reconoció que *Melosira granulata* y *Fragilaria capucina*, son nativas de hábitats eutróficos aunque en algunos casos se consideran como especies indicadoras de mesotrofia. Otras diatomeas características de agua enriquecida son: *Diatoma tenue* var. *elongatum*, *Stephanodiscus binderanus* y *S. tenuis*.

Las poblaciones algales no sólo pueden cambiar con el tiempo sino también con el espacio, en respuesta a los cambios de la calidad del agua, de tal forma, que la eutroficación puede iniciarse alrededor de las regiones cercanas a las orillas de los lagos oligotróficos, mientras que el centro permanece relativamente inalterable (Odum, 1971). Un ejemplo de esto, es el lago de Ontario, Canadá, en el cual predominan en la zona central oligotrófica *Melosira islandica* y *Asterionella formosa*, mientras que en la región costera existe una abundancia considerable de *Stephanodiscus tenuis*, la cual indica condiciones más alteradas.

Cambios en la composición de las poblaciones también toma lugar en un mismo nivel trófico, tal es el caso de las cianofitas *Aphanizomenon flos-aquae*, y *Anabaena solitaria*; las diatomeas *Cyclotella pseudostelligira* y *Fragilaria crotonensis*; y la clorofita *Staurastrum chaetoceros*, las cuales sólo aparecen después de que empieza la eutroficación y nunca se encuentran antes de ésta.

Entre las desmicias existen algunas especies estrictamente eutróficas, tales como: *Staurastrum planctonicum*, *S. alandicum*, *S. tetracerum*, *Closterium acutum* var. *variable*, *C. acesorum* y otras. En cambio, la diatomea *Tabellaria flocculosa* var. *pelagica* y la cianofita *Dactylococcopsis ellipsoideus*, están estrictamente confinadas a lagos oligotróficos asociadas con un gran número de desmicias. Cuando la oligotrofia desciende, la mayoría de las clorococales planctónicas, empiezan a aparecer, especialmente *Kirchneriella lunaris*, posteriormente se presentan las diatomeas *Attheya zachariassi*, *F. crotonensis* y *M. granulata* y por último, en las zonas verdaderamente eutróficas florecen *Microcystis aeruginosa* y *M. viridis*.

La presencia de muchas euglenofitas, indica condiciones de mesotrofia, ya que estas se presentan cuando se inician los procesos de degradación de materia orgánica. Cuando estos procesos alcanzan la mineralización, aparecen las especies autotróficas obligatorias. Asimismo, se ha observado que muchas especies de crisofitas y peridineos, están presentes cuando existe un bajo grado de contaminación (Dresscher y Mark, 1980).

Las asociaciones propuestas por Hutchinson (1967), observadas en la Tabla 1., son indicadoras de las condiciones de los cuerpos de agua, aunque frecuentemente se presentan sobrelapamientos así como diferentes combinaciones entre ellas, principalmente entre las diatomeas.

Teiling (1955), sugirió que los organismos indicadores muestran una relación estrecha con el carácter del lago, ya que muchos presentan cuencas confluentes separadas por islas, en donde una de ellas puede permanecer oligotrófica, mientras que la otra puede ser auxotrófica por sedimentación. Parte de las dos comunidades diferentes de plancton se mezclan, dando origen al amicto-plancton. En cambio, un lago uniformemente eutrófico puede recibir un afluente de agua oligotrófica dando lugar al micto-plancton, con el que no se puede precisar el estado trófico del embalse. Soltero et al. (1974), mencionaron que los diferentes grupos algales son tan heterogéneos, que todos contienen algunas formas que resisten la eutrofia, de tal forma que pueden aparecer tanto en medios oligotróficos como eutróficos, siendo necesario el respaldo de un análisis fisicoquímico del cuerpo de agua.

c. Periodicidad fitoplanctónica y cambios fisicoquímicos.

La sucesión estacional y periodicidad de las poblaciones fitoplanctónicas son de gran importancia en los estudios limnológicos, ya que reflejan las condiciones de los lagos.

El comportamiento de los cuerpos de agua varía grandemente en cada época del año, determinando en la densidad y biomasa de las poblaciones, cambios periódicos y sucesionales.

En general en un lago templado, durante la primavera, la densidad y abundancia del fitoplancton se incrementa notablemente debido a la penetración, cantidad y calidad de luz. Al principio de esta estación la densidad fitoplanctónica es alta y permanecen algunas diatomeas adaptadas a temperaturas bajas, como algunas especies de *Diatoma* y *Fragilaria*; dinoflagelados como *Ceratium hirundinella* y diversos Peri-

Tabla 1.* Características de las principales asociaciones algales planctónicas, en relación al estado nutricional del lago.

ESTADO TROFICO	CARACTERISTICAS DEL AGUA	ALGAS DOMINANTES	OTRAS ALGAS COMUNES
Oligotrófico	Ligeramente ácida con muy baja salinidad.	Desmidiás: <i>Staurodesmus</i> , <i>Staurastrum</i> .	<i>Sphaerocystis</i> , <i>Gloeocystis</i> , <i>Rhizosolenia</i> , <i>Tabellaria</i> .
Oligotrófico	Neutral a ligeramente alcalina y pobre en nutrientes.	Diatomeas: <i>Cyclotella</i> y <i>Tabellaria</i> .	Algunas especies de: <i>Asterionella</i> , <i>Melosira</i> y <i>Dinobryon</i> .
Oligotrófico	Neutral a ligeramente alcalina. Pobre en nutrientes.	Crisofitas: <i>Dinobryon</i> y algunas <i>Mallomonas</i> .	Otras crisofitas como: <i>Synura</i> , <i>Uroglena</i> y la diatomea <i>Tabellaria</i> .
Oligotrófico	Neutral a ligeramente alcalina.	Clorococal: <i>Oocystis</i> . Crisofita: <i>Botryococcus</i> .	Diatomeas indicadoras de oligotrofia
Oligotrófico	Neutral a ligeramente alcalina, pobre en nutrientes.	Dinofitas: <i>Peridinium</i> y <i>Ceratium hirundinella</i> .	Crisofitas y diatomeas
Mesotrófico	Neutral a ligeramente alcalina.	Dinofitas: <i>Peridinium</i> y <i>C. hirundinella</i> .	<i>Glenodinium</i> y otras algas.
Eutrófico	Generalmente alcalina con gran contenido en nutrientes.	Diatomeas: <i>Asterionella</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Synedra</i> , <i>Melosira granulata</i> y <i>Stephanodiscus</i> .	Clorofitas y cianofitas en época calurosa. Desmidiás cuando hay materia orgánica.
Eutrófico.	Alcalina, rica en nutrientes.	Cianofitas: <i>Anacystis</i> = <i>Microcystis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Anabaena</i> .	Otras cianofitas y euglenofitas en medio rico en materia orgánica.

* Tomado de Hutchinson (1967).

dinium. A este periodo le sigue otro de densidad algal baja, que permanece durante todo el verano. En este tiempo cuando el lago se estabiliza, se presentan cianofitas de los géneros: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis* y la clorofita *Botryococcus*. Se ha observado que en los embalses eutróficos, durante el verano se promueve el florecimiento de cianofitas, que persisten en el otoño hasta la estratificación termal; y en los lagos oligotróficos, las poblaciones fitoplanctónicas se componen principalmente de diatomeas. Después de la mezcla de otoño, se desarrollan grandes poblaciones de flageladas pequeñas como: *Cryptomonas*, *Rhodomonas* y otras, mientras que algunas diatomeas requieren un movimiento vertical del agua para permanecer en suspensión, como ocurre con *Melosira*, cuyas poblaciones aparecen durante el invierno en las zonas profundas del cuerpo de agua. Durante el invierno disminuyen las poblaciones y florecen las crisofitas como: *Dinobryon* y diatomeas pertenecientes a los géneros *Asterionella*, *Cyclotella*, *Diatoma*, *Fragilaria* y *Tabellaria*.

Debido a la gran variabilidad en la densidad y biomasa fitoplanctónica que existe en los diferentes lagos, se ha llegado a un acuerdo en los siguientes puntos:

- 1) Cada año durante la sucesión estacional, la periodicidad de la biomasa algal es constante. Si el sistema acuático no es perturbado por la influencia externa provocada por las actividades del hombre, los cambios estacionales se repetirán anualmente.
- 2) Los cambios en la densidad y biomasa algal, son generalmente muy grandes en lagos templados y polares, dependiendo de la estación. En cambio, en aguas tropicales, en donde las condiciones ambientales son relativamente constantes, los cambios y la variación estacional es mucho menor.
- 3) Los valores máximos y mínimos en densidad y biomasa fitoplanctónica, no corresponden frecuentemente con la periodicidad de la productividad primaria. La producción generalmente sigue el ciclo anual de la radiación solar incidente, en los lagos templados poco productivos. Durante la primavera, a menudo se presentan algas muy grandes como las diatomeas,

con tasas de reemplazamiento más bajas, que las que se presentan durante el verano, las cuales aparecen en condiciones más favorables de luz y temperatura (Wetzel, 1975).

En general, se han observado patrones de distribución que incluyen miembros de la asociación eutrófica de cianofitas como: *Anabaena subcylindrica*, *A. variabilis*, *Anacystis cyanea* y *Aphanizomenon flos-aquae*. Otras algas clorofitas generalmente encontradas en los lagos eutróficos, muestran el mismo tipo de patrón de distribución, como en el caso de: *Pediastrum* y *Scenedesmus* las cuales se encuentran distribuidas ampliamente; *Pedinomonas minutissima* y *Phacotus lenticularis*, las cuales alcanzan grandes densidades; especies de *Oedogonium* y *Mougeotia*, son ocasionalmente miembros de esta asociación. Especialmente durante el final de la primavera y al comienzo del otoño, los criptomonadinos y dinoflagelados pueden alcanzar densidades poblacionales altas. De igual forma, algunas especies de diatomeas presentan sus máximos florecimientos durante la época más caliente. Esto se observa en dos especies extremadamente holofílicas: *Coscinodiscus subsalsus* y *Skeletonema subsalsus*. Al iniciarse la primavera *Peridinium aciculiterum* es muy importante principalmente en términos de biomasa, ya que forma "bloom" y después desaparece de una región por una o dos semanas (Stoermer, 1978).

Los cambios en la calidad del agua, principalmente de oligotrofia a eutrofia, invariablemente ocasionan el decremento de la penetración de la luz, debido al incremento en las cantidades de material disuelto y suspendido (Clarke, 1939; citado por Bellinger, 1979). Al mismo tiempo la eutroficación, origina un aumento en la producción autotrófica y el incremento del fitoplancton por sí mismo, puede dar origen al decremento en la penetración de la luz. El aumento autotrófico cesará si la respiración iguala a la fotosíntesis (Punto crítico de Svedrup, 1953 o punto de compensación de la columna de Talling, 1957b o Edmonson, 1956: citados por Bellinger, 1978). Los cambios en la concentración del material suspendido, pueden producir cambios en la producción fotosintética, especialmente en los lagos grandes.

El incremento de la turbidez o color del agua resultante de los cambios en la calidad del agua, da lugar a una reducción marcada - de la zona eufótica y por lo tanto, de la penetración de la luz y de la temperatura, lo cual juega un papel muy importante en la determinación de las poblaciones algales (Lund, 1965; citado por Hickmann, 1979).

Los patrones de circulación en un cuerpo de agua, afectan la penetración de luz y la depositación de las partículas, lo cual puede determinar en alguna forma, las especies presentes. Los movimientos del agua igualmente influyen en la distribución de los organismos.

La temperatura es un parámetro muy importante en la sucesión y distribución vertical de los organismos. Algunos grupos algales toleran intervalos distintos de temperatura, como las diatomeas las cuales presentan una amplia tolerancia a bajas temperaturas, mientras que las cianofitas florecen en temperaturas mayores de 15°C.

Otro factor importante que de alguna manera interviene en la presencia de las especies, es la dureza del agua. En general los lagos con dureza total alta, presentan una relación directa con: sólidos disueltos, conductividad, alcalinidad total, carbono soluble, calcio y magnesio, y no necesariamente presentan concentraciones altas de fósforo, nitrógeno y fierro. Los intervalos de la dureza total como carbonato de calcio reportados por Miller (1974), son los siguientes:

- 1) Agua suave (0 - 75 mg/l).
- 2) Agua moderadamente dura (76 - 150 mg/l).
- 3) Agua dura (151 - 300 mg/l).
- 4) Agua muy dura (>300 mg/l).

Moss (1973; citado por Wetzel, 1975), encontró que el ión de calcio, a una concentración mayor de 1 mg/l, ocasiona algunos efectos entre las especies indicadoras de oligotrofia y eutrofia y se ha observado que las primeras, son incapaces de crecer en valores de pH mayores de 8.6, en donde el bióxido de carbono libre se encuentra en concentraciones muy bajas; mientras que las indicadoras de eutrofia son capaces de utilizar

este compuesto y el bicarbonato, floreciendo en valores de pH mayores de 9.

Entre el 20 y 60% del peso seco de las diatomeas es sílice, el cual es un macronutriento para ellas. Pearsall (1932), sugirió que poblaciones grandes de diatomeas, no se desarrollan en medios ambientes con SiO_2 menor de 0.5 mg/l.

Desechos domésticos y descargas industriales vertidas a los lagos, causan un incremento en las concentraciones de fósforo y nitrógeno. Estos elementos han sido considerados como los nutrientes responsables de la eutroficación (Naumann, 1919; citado por Miller, 1974), sin embargo, cambios en las concentraciones de los nutrientes y en la calidad del agua no pueden ser usados para predecir la variación de las poblaciones algales, a menos que se conozcan los requerimientos de cada una de las especies. La utilización del fósforo y nitrógeno, varía enormemente de una especie a otra, ya que algunas pueden absorber el fósforo a concentraciones muy bajas y son capaces de almacenar cantidades apreciables de este elemento (Mackereth, 1953; citado por Bellinger, 1979). En general, las algas planctónicas requieren el nitrógeno y el fósforo en una tasa de 7.2:1 respectivamente (Richards y Vaccaro, 1956; citado por Hickmann, 1979).

Pearsall (1932), indicó que los factores químicos son determinantes en el incremento y decremento de las poblaciones algales y Rhode (1948), sugirió cierta dependencia de éstas, a la concentración de fosfatos. Ambos autores, proponen los puntos siguientes:

- 1) Las algas verdes tales como: *Scenedesmus* y *Ankistrodesmus*, presentan un crecimiento óptimo y su límite de tolerancia máxima está por arriba de 0.02 mg/l de P-PO_4 .
- 2) Organismos como *Uroglena*, tienen su crecimiento óptimo y su límite de tolerancia máximo está por debajo de 0.02 mg/l.
- 3) *Asterionella formosa* y otras especies de diatomeas, se desarrollan cuando se presenta un nivel de nutrientes muy alto (N-NO_3 0.06-0.20 mg/l, P-PO_4 0.002 mg/l) y *Tabellaria* (N-NO_3 0.005-0.1 mg/l, P-PO_4

0.0005-0.01 mg/l).

- 4) En invierno y en primavera cuando el agua se enriquece con fosfatos, nitratos y sílice, hay un incremento en las poblaciones de diatomeas.
- 5) *Dinobryon divergens*, aparece en lagos con agua dura y su máximo desarrollo se observa cuando el contenido de sílice baja hasta 0.5 mg/l. - También se observa esto, con una disminución en las concentraciones de calcio.
- 6) Las algas clorofitas y las desmidias, aparecen cuando disminuyen las concentraciones de nutrientes en el verano. Las desmidias florecen - cuando existe un contenido bajo de calcio y una concentración pequeña de $N-NO_3$ / $P-PO_4$.
- 7) La presencia de abundantes cianofitas se correlaciona con un gran contenido de materia orgánica disuelta en el agua. Los organismos de este grupo son capaces de aumentar concentraciones muy bajas de nutrientes orgánicos disueltos.

Aunque se ha visto que el nitrógeno es un factor limitante en algunos lagos, el fósforo es el nutriente que controla la eutroficación. Con suficiente fósforo, el sílice y eventualmente el nitrógeno están - limitados (Vanderhoef et al., 1972; citado por Stoermer, 1978).

El fósforo y el nitrógeno son reciclados varias veces durante el año y las algas sólo utilizan una porción de $N-NO_3$ y $N-NH_4$, mientras que el $P-PO_4$ es almacenado en exceso (Ketchum, 1939). El amonio liberado por la descomposición bacteriana es tomado rápidamente por las algas y algunos autores argumentan que éste, es el principal nutriente que regula la biomasa (Søndergaard y Sand-Jensen, 1979).

Algunas cianofitas, utilizan el nitrógeno en forma orgánica, inorgánica y atmosférica. Las concentraciones de 0.07 mg/l de $N-NO_3$ o menores a 0.01 mg/l, limitan el florecimiento algal de algunos grupos. Las cianofitas a menudo crecen cuando las concentraciones de nitrógeno y fósforo son bajas, lo cual indica que existen otros elementos involu-

crados en esto, como son: el molibdeno, fierro, zinc, magnesio, manganeso y galio. El molibdeno es muy importante, ya que está relacionado a los cambios en la composición cualitativa del fitoplancton, pues se ha observado que un mínimo de este elemento, produce un "bloom" de *Anabaena*. En el caso del fierro, aun no está claro que proporción de fierro es asimilable por las algas y el galio es un elemento raro, esencial para las plantas (Hutchinson, 1957; citado por Søndergaard, 1979).

El agua superficial, también contiene una gran variedad de compuestos orgánicos que pueden ser utilizados por las algas para su crecimiento heterotrófico, de esta manera, muchas algas requieren de vitaminas o de compuestos que contengan disulfuros como: la cistina, tiamina y biotina. Estas sustancias varían de concentración estacionalmente, originando la multiplicación o disminución de las poblaciones de diatomeas, aunque algunas parecen ser independientes de tales sustancias (Vallentyne, 1957; citado por Bellinger, 1979).

Como respuesta a los cambios físicos y químicos, es frecuente la aparición de "blooms" en los lagos eutróficos, lo cual no ocurre generalmente en los lagos oligotróficos. Durante el verano y el otoño, muchos "blooms" son producidos por las algas cianofitas, algunas de las cuales pueden ser capaces de fijar el nitrógeno atmosférico y ser por lo tanto, independientes de este elemento en solución. En diversos estudios se ha comprobado que a temperaturas y concentraciones de nutrientes altas, se producen florecimientos algales. Estos han sido relacionados a la mortandad de peces e impiden las actividades recreacionales (Hergenrader, 1980).

d. Comportamiento fisiológico de las algas.

Algunos de los comportamientos fisiológicos de los organismos dependen en gran medida de los parámetros medio ambientales, como los cambios en la adaptación a la luz y a la temperatura.

Ketchum (1939), ha demostrado que las divisiones celulares continuas, aparecen después de un periodo de agotamiento de fosfato en algunos cultivos de *Nitzschia*. También pueden ocurrir cambios en la condición fisiológica, debido a la acumulación de metabolitos.

Se han observado variaciones florísticas, con los cambios en la calidad del agua. Hutchinson (1967), sugirió 4 categorías del fitoplancton basadas en su tipo de nutrición:

- Fotótrofos autoauxotróficos estrictos - los cuales sólo necesitan las sustancias producidas por la fotosíntesis, ya que son incapaces de usar compuestos orgánicos como energéticos. Ocasionalmente es posible la toma facultativa de vitaminas. En esta categoría se encuentran la mayoría de las cianofitas planctónicas dulceacuícolas y la mayoría de las especies de diatomeas.

- Fotótrofos heterotróficos facultativos, pero autoauxotróficos - los cuales sobreviven con glucosa en la oscuridad. En esta categoría se encuentran incluidas muchas clorofitas. Provasoli (1958; citado por Williams, 1972), sugiere que éstas presentan un requerimiento alto de fosfato y nitrógeno orgánico, de tal forma que las clorofitas abundan en agua rica en nutrientes.

- Fotótrofos facultativos y aloauxotróficos - estos organismos pueden utilizar el carbono orgánico externo y requieren de vitaminas. Entre estos se incluyen pocas diatomeas, algunas clorofitas y la mayoría de las euglenofitas.

- Heterótrofos parcialmente obligados y aloauxotróficos - son individuos capaces de obtener todos sus requerimientos nutricionales por medio de la fotosíntesis. Incluyen algunas especies de *Oscillatoria* y algunos criptomonadinos.

Volterra (1926; citado por Hutchinson, 1944), demostró teóricamente y experimentalmente, que cuando dos especies compiten en términos idénticos por el mismo espacio y por el mismo material alimenticio que se encuentra en cantidades limitadas, no es posible que se alcance un -

equilibrio poblacional compuesto de una mezcla de ambas especies y la dirección del reemplazamiento de una especie con la otra, está determinada por las condiciones medio ambientales.

Fogg (1971; citado por Collingwood, 1979), mostró que las algas secretan materiales orgánicos en el agua, incluyendo quelatos potenciales. Algunas exotoxinas son producidas al menos por tres especies de cianofitas: *Anabaena flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* y *Aphanizomenon flos-aquae*. De cerca de doce toxinas producidas por estas especies, sólo una ha sido identificada, sintetizada y determinada toxicológicamente.

Se ha observado, que cuando hay un "bloom" de alguna de estas especies, las toxinas y células se concentran causando daño y muerte en casi todos los mamíferos, aves y peces que ingieren bastantes células tóxicas o toxinas extracelulares. Esto ha traído como consecuencia la pérdida de animales que incluyen principalmente: ganado vacuno, caprino, porcino, aves y peces; mientras que las pérdidas menores se han registrado en: perros, caballos, mamíferos silvestres pequeños, anfibios e invertebrados.

Para el hombre no ha sido reportada una toxicidad aguda, pero hay evidencias de que estas sustancias causan gastroenteritis e irritaciones por el contacto y el consumo del agua recreacional o municipal.

La endotoxina lipopolisacárida, es también producida por ciertas cianofitas como *Schizothrix calcicola*, la cual causa igualmente gastroenteritis en el hombre. Estas secreciones producidas por diversas especies, incluyen alcaloides, polipéptidos y pteridinos (Carmichael, 1981).

e. Productividad primaria.

La productividad primaria es la tasa a la cual la energía solar es fijada, es decir la materia orgánica se crea por la fotosíntesis,

en unidad de superficie y en un tiempo dado.

Muchos métodos han sido empleados para medir la producción orgánica de las comunidades fitoplanctónicas. Estos métodos incluyen las siguientes medidas; a) peso seco libre de cenizas del seston; b) concentración de clorofila; c) abundancia fitoplanctónica; d) volumen celular; e) medida del oxígeno ; f) y asimilación del C_{14} (Weber, 1958).

De estas medidas, la concentración de la clorofila a del fitoplancton es muy usada para la estimación de la productividad algal y tasas fotosintéticas, para evaluar el estado trófico de las aguas superficiales y los efectos de los efluentes.(Moss, 1967),

La abundancia relativa de la clorofila a, b y c es característica de varios grupos algales y provee información sobre la composición taxonómica de la comunidad. La clorofila a, es el pigmento algal principal requerido para la fotosíntesis y se encuentra en todas las algas en concentraciones similares. Generalmente constituye del 1 al 2% del peso seco de la materia orgánica. Sin embargo, en adición a la clorofila a, las algas pueden contener cantidades apreciables de los pigmentos clorofilianos b y c, de este modo las clorofitas contienen clorofila a y b en una tasa de 2:1, pero carecen de clorofila c ; las diatomeas y algunas crisofitas contienen la clorofila a y c, pero carecen de la b ; y las cianofitas sólo presentan la clorofila a (Jeffrey, 1976; citado por U. S. EPA, 1979).

La productividad primaria de un lago puede incrementarse principalmente por el enriquecimiento del agua con nutrientes, aunque no siempre un aumento de éstos, dará como resultado una mayor producción, ya que un descenso paralelo en la penetración de la luz causado por el incremento del color y de la turbidez, limitará a la productividad (Vollenweider, 1974). De acuerdo a esto, la cantidad y calidad de luz, nutrientes y otros parámetros determinan en alguna forma el estado trófico del cuerpo de agua (Tabla 2).

Tabla 2. * Algunas características que presentan los diferentes tipos de lagos.

CARACTERISTICA	OLIGOTROFICO	MESOTROFICO	EUTROFICO	SALINO	DISTROFICO
Productividad primaria (g/m ² /año)	15 - 50	50 - 150	150 - 500	500 - 2,500	10 - 100
Biomasa fitoplanc _{tónica} (mg/m ³)	20 - 200	200 - 600	600 - 10,000	1,000 - 20,000	20 - 100
Materia orgánica total (ppm)	1 - 5	2 - 10	10 - 100	20 - 200	20 - 100
Clorofila <u>a</u> (ppb)	0.3 - 3	2 - 15	10 - 500	50 - 1,000	0.01 - 2.0
Penetración de luz (m)	20 - 120	5 - 40	3 - 20	2 - 10	1 - 5
P-Total (ppb)	1 - 5	5 - 10	10 - 30	30 - 100	1 - 10
N-Inorgánico (ppb)	1 - 200	200 - 400	300 - 650	400 - 5,000	1 - 200
Solutos inorgánicos totales (ppm)	2 - 20	10 - 200	100 - 500	1,000 - 100,000	5 - 100

* Tomado de Whittaker (1975).

La productividad primaria presenta una relación directa con el estado trófico del cuerpo de agua. De manera que una productividad baja, es característica de los lagos oligotróficos, los cuales presentan poca biomasa y una transparencia alta. Esta da como resultado, una tasa pequeña de la descomposición de materia orgánica y los niveles de oxígeno disuelto permanecen altos. En cambio, en cuerpos de agua - eutróficos, la productividad se incrementa reflejándose en densidades muy altas de fitoplancton, lo cual reduce la transparencia del agua y produce una gran descomposición de la materia orgánica sedimentada.

Los lagos pueden presentar variaciones en su productividad de acuerdo a su edad, particularmente por las condiciones de los cambios en su cuenca. Disturbios en la vegetación pueden permitir movimientos más rápidos de los nutrientes, aumentando la producción.

Algunos factores afectan la circulación de nutrientes y la productividad de estos embalses, como son:

- 1) La cantidad de nutrientes de la cuenca de drenaje. En donde el tipo de roca puede determinar el grado de la producción.
- 2) Profundidad del lago y pendiente de la costa. La profundidad es muy importante, ya que el hecho de que un lago sea muy profundo puede implicar que la estratificación térmica impida el movimiento efectivo de los nutrientes, desde el fondo hasta la superficie, durante las estaciones cálidas. En cambio, en las costas rocosas e inclinadas de los lagos poco profundos, el gran crecimiento de las plantas del fondo y de las orillas, aumentan la productividad no sólo por unidad de volumen, sino en producción por unidad de superficie del lago.
- 3) Forma de la línea de costa. Los lagos con línea de costa larga e irregular con muchas ensenadas, presentan una productividad más alta que un lago con línea de costa reducida. En este caso, la gran productividad es favorecida por la poca profundidad y por el gran tamaño de la línea de costa.
- 4) Temperatura. En los lagos de clima caluroso, la actividad biológica

es más grande y la mezcla de nutrientes es mayor a través del año, implicando una productividad muy alta.

- 5) Mezcla del agua. La humedad y la forma de entrada y salida del agua, indirectamente afectan a la productividad. En un clima húmedo la cantidad de agua eliminada de la superficie por evaporación, es generalmente más pequeña, comparada con la que se pierde por el flujo del efluente. En cambio en un clima seco, la pérdida de agua por evaporación es mucho más grande y muchos lagos no presentan efluentes, perdiendo su volumen sólo por evaporación y filtración. De esta forma, en los lagos de clima seco, existe una gran tendencia de los nutrientes a acumularse, aumentando la productividad.
- 6) Edad del lago. La edad afecta particularmente al llenado de la cuenca, influyendo por lo tanto en la productividad primaria. La mayoría de los lagos son de vida relativamente corta y muchos fueron formados por glaciares o cambios en los cursos de los ríos. Un lago envejece en el tiempo, a medida que los sedimentos y demás materiales disueltos se acumulan en el fondo, además de los materiales orgánicos del mismo lago. El clima y el carácter de la cuenca, influyen en la edad de los lagos y su envejecimiento puede ocurrir de las formas siguientes:
 - En climas húmedos y fríos muchos lagos pequeños con cuencas cerradas, sin efluentes, envejecen a medida que crece la vegetación y el material suspendido y por la acumulación de sedimentos que llenan su cuenca. El proceso de envejecimiento en este caso, es lento y se debe principalmente al material orgánico y no por nutrientes inorgánicos. Los lagos distróficos son característicos por presentar gran cantidad de material húmico y una productividad baja.
 - En regiones áridas, muchos lagos envejecen en formas muy diferentes. Con la pérdida del agua por evaporación, las sales se van acumulando y progresivamente los lagos van siendo más salinos. Como la salinidad incrementa el carácter biológico del lago, cambia grandemente ya que el plancton y las distintas comunidades de agua dulce, son reem-

plazadas por otras especies. En este caso, la productividad tiende a aumentar y la diversidad de especies a disminuir.

- La mayoría de los lagos maduran a través del tiempo por el llenado gradual de su cuenca, la cual pierde profundidad y pendiente. La tasa de envejecimiento en condiciones naturales, está determinada por: la entrada y depositación de los sedimentos, la forma de la cuenca, la cantidad de nutrientes y la condición del área de drenaje. Esta forma de llenado, hace que un lago poco profundo forme pantanos y por lo tanto que su cuenca llegue a secarse y a desaparecer.

La productividad de un lago, está correlacionada significativamente con la latitud y consecuentemente con la temperatura y la penetración de luz. Muchos lagos tropicales son viejos, ricos en nutrientes y por lo tanto, son altamente productivos (Whittaker, 1975).

En contraste con el proceso natural de enriquecimiento de los lagos, el hombre ha acelerado este cambio con el aporte de nutrientes, derivados de sus actividades. A este fenómeno se le conoce como eutroficación cultural o artificial (Figura A), causado por varios factores entre los que se encuentran: el incremento de los aportes de agua de desecho de los poblados y ciudades; el constante vertimiento de los desechos industriales; el uso intensivo de detergentes; el mayor uso de fertilizantes en la agricultura y por el aporte de los óxidos de nitrógeno atmosférico que se originan de los motores de los automóviles y de otras fuentes. La eutroficación cultural, es rápida y reversible, ya que se pueden eliminar las fuentes humanas (Bachmann, 1980). Aunque este proceso de recuperación es lento, el cuerpo de agua puede regresar al estado trófico que presentaba antes de que el hombre ejerciera un impacto sobre él.

PRODUCCION DE MATERIA ORGANICA POR
UNIDAD DE AREA DE LA SUPERFICIE DEL LAGO

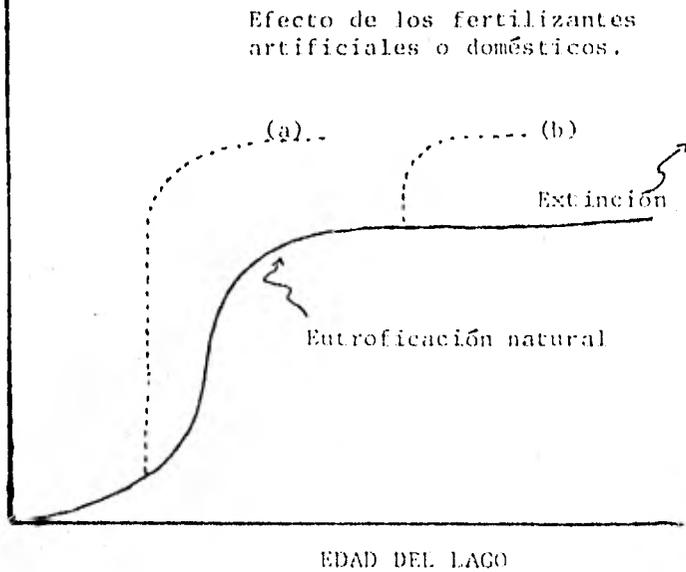


Figura A. Curva hipotética del curso de eutroficación en un lago. Las líneas punteadas muestran el rápido incremento en la productividad de los lagos, por el aporte de desechos domésticos en un estado oligotrófico (a); en un estado eutrófico (b), (Hasler, 1947).

AREA DE ESTUDIO.

a. Localización.

El cuerpo de agua en estudio es de origen tecto-volcánico y su formación data del Terciario. Tanto este lago como el de Zirahuén y Cuitzeo, posiblemente se formaron a partir del río Lerma.

Pátzcuaro es un lago maduro con cuenca endorreica, ubicado en el Eje Neovolcánico Transversal en el Estado de Michoacán, encontrándose a una altura de 2,040 m.s.n.m. Se localiza en los paralelos 19°41' 19°32' de latitud N; en los meridianos 101°32' y 101°43' de longitud W (Figura 1).

Esta cuenca presenta una superficie de 8,870 ha. con un volumen aproximado de 700,000,000 m³ y su longitud mayor se extiende desde el Seno de Erongarícuaro hasta el Seno Quiroga, siendo de 17.7 km y su anchura máxima de 7.5 km (Cartas Geológicas de DETENAL, 1978). Se considera un lago somero con profundidad media de 8 m y máxima de 12.5 m.

Actualmente existen seis islas; Jarácuaro (que presenta la mayor extensión), Janitzio (turísticamente importante), Pacanda, Yunuén, Urandén y Tecuena.

b. Climatología.

El clima de la región de Pátzcuaro se clasifica como templado con lluvias en verano y corresponde al tipo C(w₂) (w)b (e)g, según la clasificación de Köppen modificada por García (1973). Presenta dos estaciones climáticas bien marcadas: la época de secas, que corresponde a los meses de diciembre a mayo y la época de lluvias, que va de junio a noviembre, alcanzando una precipitación anual por arriba de 1000 mm (Caballero *et al.*, 1981). Los meses más lluviosos corresponden a julio y agosto y se caracteriza por frecuentes nublados (127 días al año).

La temperatura media anual es de 16°C, registrándose una máxima de 36.5°C y una mínima de 5°C.

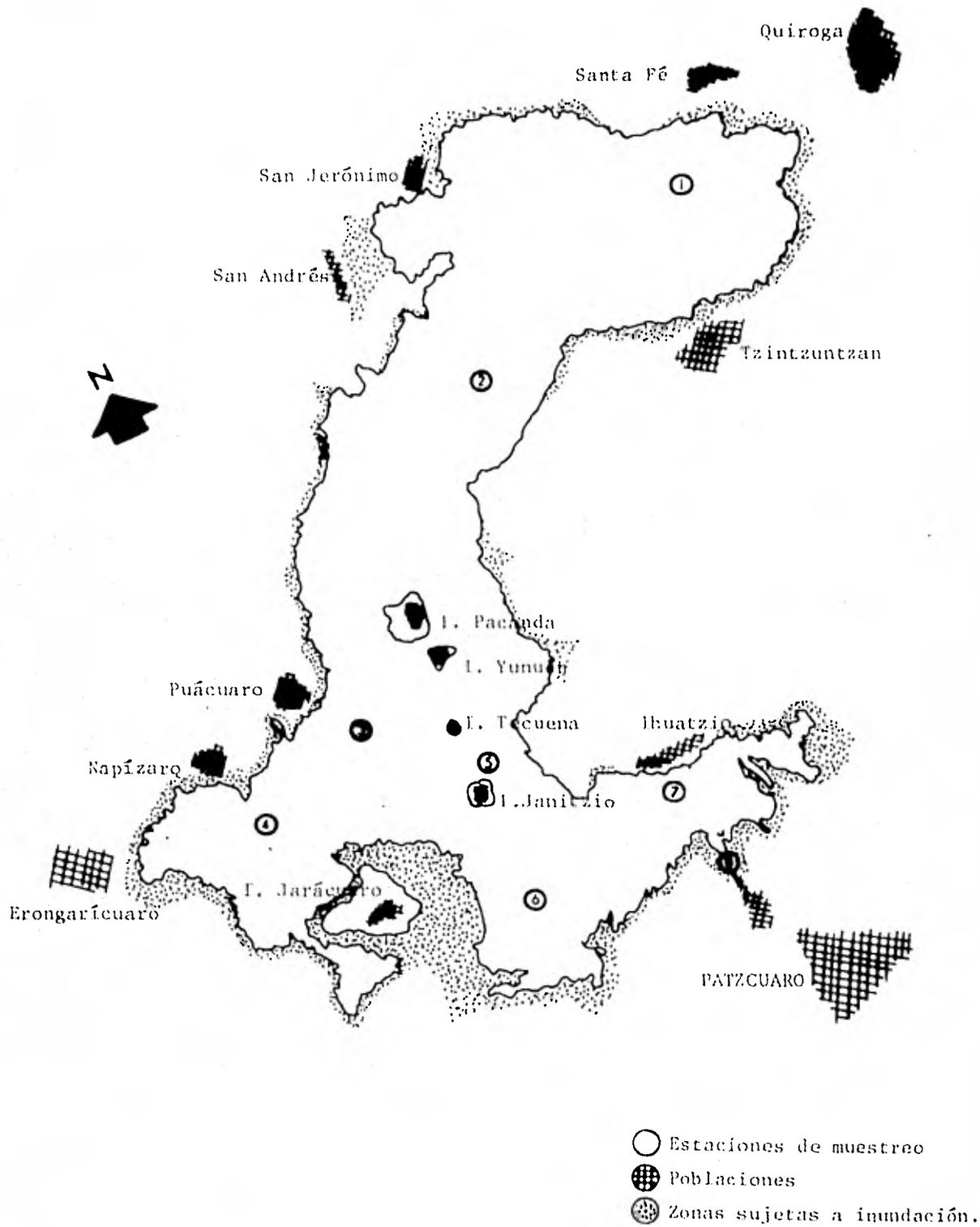


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en el lago de Pátzcuaro, Mich.

Durante la primavera y parte del verano, la temperatura del agua superficial del lago asciende gradualmente alcanzando 25°C y a partir de julio, ésta desciende hasta aproximadamente 14°C en el mes de enero (Rosas, 1976).

Según la clasificación de Forel modificada por Whipple (1927), el lago de Pátzcuaro es de tipo tropical de 3 er. orden, debido a que la temperatura del fondo es muy similar a la de la superficie, por lo que la circulación es continua durante todo el año.

c. Hidrografía.

El lago no presenta afluentes que lo alimenten continuamente, sin embargo su volumen depende principalmente de las lluvias y de aportes hídricos subterráneos que provienen de la Meseta Tarasca y de algunos manantiales como el Chapultepec, Tzintzuntzan y otros que circundan la región. Según De Buen (1944b), de acuerdo a las estaciones, el nivel del lago aumenta y disminuye en un intervalo de 60 cm a excepción del verano, en donde decrece cerca de 80 cm.

El agua del embalse presenta una marcada turbidez, debido a la gran cantidad de material sedimentario endógeno y exógeno suspendido, y al aporte de agua negra de las poblaciones de Pátzcuaro, Quiroga y Janitzio presentando una transparencia variable, que disminuye durante el periodo de lluvias.

d. Geología.

La región de Pátzcuaro está constituida principalmente por rocas de tipo ígneo, como el basalto y el aluvión. Se caracteriza por suelos de ando (arenosos), luvisoles (arcillosos) y aluviones (Toledo et al., 1980).

Los alrededores del lago han estado sujetos a la deforestación y a la tala immoderada, ocasionando la erosión del suelo por la acción del viento y la lluvia, los cuales arrastran abundante arcilla incrementando el azolve del cuerpo de agua.

e. Biología.

Gran parte del embalse ha sido invadido por vegetación arraigada, impidiendo el acceso a la navegación.

La vegetación acuática presenta comunidades distintas de hidrófitas: a) emergentes, las cuales abarcan desde el litoral hasta 4 m de profundidad, representadas por los siguientes géneros: *Scirpus*, *Typha*, *Sagittaria*, *Eleocharis*, *Cyperus*, *Panicum*, *Polypogon*, *Echinochloa*, *Leersia* y *Bidens*; b) de hojas flotantes, comunidades arraigadas al fondo de zonas someras del lago como: *Nymphaea* y *Potamogeton*; c) sumergidas, las cuales se encuentran en las partes más profundas: *Potamogeton*, *Najas*, *Ceratophyllum* y *Utricularia*; d) libremente flotadoras: *Eichhornia*, *Arenaria*, *Habenaria*, *Limnobium*, *Lemna*, *Wolffia* y *Wolffiella* (Caballero et al., 1981).

El plancton se encuentra dominado por el fitoplancton y se caracteriza principalmente por los organismos de los géneros: *Melosira*, *Ceratium*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Nitzschia*, *Anabaena*, *Asplanchna*, *Bosmina*, *Daphnia* y *Brachionus*.

De acuerdo a Herrera (1979), la ictiofauna del lago está representada por 14 especies de las cuales 10 son nativas, pertenecientes a las familias Atherinidae, Goobeidae y Cyprinidae; y 4 son introducidas y corresponden a las familias: Centrarchidae, Cyprinidae y Cichlidae. De las 14 especies, 6 son carnívoras primarias, 2 carnívoras secundarias, 3 omnívoras y 3 herbívoras. La lobina negra (*Micropterus salmoides*) es la especie dominante del lago y depreda a las especies nativas e introducidas. El pescado blanco (*Chirostoma estor*) y 3 especies de charal pertenecientes al mismo género, son los principales recursos pesqueros de la región (Lara, 1974).

La vegetación terrestre de los alrededores se caracteriza principalmente por bosques de coníferas y de encinos, y vegetación secundaria derivada de ellos, así como pastizales y matorrales.

f. Actividades humanas.

La región de Pátzcuaro presenta una población de 80,000 habitantes correspondientes a 100 asentamientos, de donde el 25% del total lo constituye la población indígena repartida en 23 comunidades (Mapes et al., 1981).

Actualmente las actividades humanas del lugar son: la agricultura de temporal y de riego, la arboricultura, el cultivo de hortalizas, la pesca, la extracción de resina y de madera, la recolección de plantas y hongos, la caza de patos, la artesanía de plantas acuáticas y de trigo, la artesanía de la madera y la alfarería. La horticultura está restringida a los terrenos a la orilla del lago, mientras que la agricultura está ampliamente distribuida. En general la agricultura es la actividad fundamental, excepto en las poblaciones isleñas que son principalmente pescadoras (Caballero, 1981).

MATERIAL Y METODO.

De acuerdo a un reconocimiento previo del lago en estudio, se eligieron 8 estaciones de muestreo en las que se incluyen algunas - cercanas a los poblados - para determinar el posible efecto que ejercen sobre la calidad del agua -, así como estaciones intermedias que - sirven como punto de referencia.

En el mes de febrero de 1981, se realizó un muestreo preliminar en sólo 5 puntos; de ello se decidió efectuar observaciones y - muestreos en los meses de: abril, junio, julio y agosto del mismo año, para estimar los cambios de la época de secas y lluvias.

a. Trabajo de campo.

- parámetros fisicoquímicos -

Durante los 5 periodos de muestreo, se evaluaron los siguientes parámetros: profundidad, la cual se obtuvo con una sondaleza; la - transparencia del agua se determinó por la visibilidad del disco de Secchi; la temperatura y el pH se midieron cada 3 m, con un oxímetro YSI modelo 54 con termistor integrado y con un potenciómetro de cristal líquido - Corning modelo 30, respectivamente.

Con la botella Van Dorn, se obtuvieron muestras de agua de la capa superficial, media y de fondo, las cuales se mezclaron y se colectaron en botellas de 1 y 2 litros, para el análisis posterior de: nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, fósforo total, dureza y alcalinidad total, calcio, magnesio y demanda química y bioquímica de oxígeno.

Para conocer el contenido de oxígeno disuelto, bióxido de - carbono y ácido sulfhídrico, se tomaron muestras cada 3 m. Las colectas de agua para el análisis de oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno, se fijaron antes de su llegada al laboratorio. Las demás muestras - de agua se mantuvieron en refrigeración.

- parámetros biológicos -

Para el análisis del fitoplancton, se tomaron muestras de agua de la capa superficial en frascos ámbar de 125 ml de capacidad y se preservaron con solución de lugol y ácido (Schwoerbel, 1975).

Para el análisis de la productividad primaria (clorofila a) y biomasa (peso seco libre de cenizas), se tomaron muestras de 5 litros de agua de la superficie con la botella Van Dorn, conservándose en envases de polietileno en refrigeración y oscuridad.

b. Trabajo de laboratorio.

- parámetros fisicoquímicos* -

En el laboratorio, se procedió al análisis de los nutrientes- utilizando los métodos colorimétricos, descritos en el Standard Methods (APHA-AWWA-WPCA, 1976). Para la determinación de nitritos se utilizó la técnica de α -naftilamina; para los nitratos la técnica de la Brucina; para el nitrógeno amoniacal, el método de Nesslerización directa - y para el fósforo total se utilizó el método del Acido ascórbico. La dureza total como carbonato de calcio, se determinó por titulación con EDTA, utilizando eriocromo negro T como indicador. La alcalinidad se obtuvo por titulación con ácido clorhídrico y anaranjado de metilo como indicador. El calcio se determinó por titulación con EDTA, usando murexida como indicador. El magnesio se obtuvo por cálculo utilizando los datos resultantes en las determinaciones de calcio y dureza total. El oxígeno disuelto se determinó por el método de Winkler con la modificación de la azida. El bióxido de carbono libre se determinó por ti tulación con hidróxido de sodio y fenoftaleína como indicador y para la obtención del ácido sulfhídrico se utilizó el método Yodométrico. Asimismo las determinaciones para la demanda bioquímica del oxígeno y demanda química del oxígeno, se realizaron con las técnicas descritas en el Standard Methods (1976),

*

Estos análisis se llevaron a cabo en el Departamento de Química Atmosférica y Estudios del Agua, del Centro de Ciencias de la Atmósfera, U.N.A.M.

- parámetros biológicos -

El análisis cuantitativo del fitoplancton se llevó a cabo siguiendo la técnica de Utermöhl (1958). Las muestras de agua se homogeneizaron agitándolas suavemente y se tomaron submuestras que se colocaron en cámaras de sedimentación de 5 y 10 c.c. de capacidad, las cuales se dejaron en reposo durante 24 hrs. Los volúmenes sedimentados se analizaron con el microscopio invertido, utilizando el aumento de 320 X. Para la estación 8 fue necesario hacer dilución de la muestra original, debido a la abundancia de organismos y al gran contenido de sedimento.

El análisis cualitativo, se efectuó con un microscopio óptico marca Zeiss, usando los aumentos 400 X y 1000 X. La identificación de los organismos se realizó con claves y obras especializadas para algas de agua dulce (Palmer, 1959; Ward y Whipple, 1959; Weber, 1971 y Prescott, 1980).

La determinación de la productividad primaria se realizó inmediatamente al llegar al laboratorio. La clorofila a, se analizó siguiendo el método del Standard Methods (APHA, 1976). Las muestras de agua - se concentraron por filtración a través de membranas "Millipore" de 0.45 μ m de tamaño de poro, utilizando un volumen de 1 litro por cada punto de muestreo. Las extracciones de pigmentos clorofilianos se llevaron a cabo con 5 ml. de acetona R. A. al 90%, e inmediatamente estas extracciones se refrigeraron por 24 hrs. a 4°C, manteniéndolas en la oscuridad. Posteriormente las muestras se centrifugaron a 2000 r.p.m. durante 20 min. y se leyeron en un espectrofotómetro Carl Zeiss modelo PM QII. Las lecturas de las muestras se realizaron a 630, 645, 663 y 750 nm., a través de cubetas de 1 y 2 cm. de paso de luz. La concentración de la clorofila a se calculó con la ecuación siguiente:

$$Ca = 11.64_{D663} - 2.16_{D645} + 0.10_{D630}$$

Para obtener la cantidad de pigmento por unidad de volumen - de la muestra, se aplicó la ecuación siguiente:

$$\text{Clorof. } \underline{a} \text{ mg/m}^3 = \frac{\text{Ca x vol. extracto, l.}}{\text{vol. muestra, m}^3}$$

La biomasa se obtuvo por los métodos de peso seco y peso seco libre de cenizas, establecidos por la Environmental Protection Agency Weber (1973a), filtrando 1 litro de cada una de las muestras de agua, a través de membranas "Millipore" de 0.45 μm de tamaño de poro. Se utilizan crisoles de porcelana con tapallevados a peso constante, en los cuales se colocaron las membranas con el concentrado y se procedió a secar colocándolas en una estufa, a 105°C. Posteriormente se incineró en una mufla a 500°C para obtener las cenizas. Los pesos obtenidos se realizaron con una balanza analítica tipo Mettler H35 AR.

El peso seco se obtuvo restando al peso final, la cápsula de porcelana y las membranas; y el peso seco libre de cenizas se calculó restando al peso seco, las cenizas. La biomasa como peso libre de cenizas se calculó en mg/m^3 .

Con los resultados obtenidos de la clorofila a y la biomasa, se determinó el Índice Autotrófico (U. S. Environmental Protection Agency, 1975) con la fórmula siguiente:

$$\text{I. A.} = \frac{\text{Biomasa (peso seco libre de cenizas), mg/m}^3}{\text{Clorofila } \underline{a}, \text{ mg/m}^3}$$

c. Análisis estadístico.

Se aplicó el Índice de Diversidad de Especies de Shannon-Weaver (H'), para cada una de las estaciones de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_e P_i$$

Asimismo se efectuaron análisis de regresión (r^2) y correlación lineal (r), para obtener una medida de la relación entre dos variables - clorofila a, con algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos, utilizando las ecuaciones siguientes:

$$r^2 = \frac{b^2 \left[\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right]}{\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}}$$

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

se determinó el nivel de significancia de estas relaciones, aplicando la prueba de t:

$$t = r \sqrt{\frac{n - 2}{1 - r^2}}$$

y a partir de esta prueba, se obtuvo la probabilidad de error de las diferentes correlaciones, considerando como valores significativos aquellos mayores del 90% (Rohlf y Sokal, 1969; Bennett, 1974; Snedecor y Cochran, 1978; Green, 1979 y Daniel, 1980).

RESULTADOS.

Los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos y biológicos del lago de Pátzcuaro, Mich., están contemplados en las tablas y figuras que a continuación se mencionan:

Los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos están contenidos en la Tabla I, en la cual se observa que la mayor profundidad correspondió a la estación 2, ubicada en la zona N del lago y la menor se localizó en la estación 8, frente al embarcadero. La temperatura, el pH y el calcio presentaron valores homogéneos en todas las estaciones; no siendo así para la transparencia, alcalinidad total, dureza total, magnesio y oxígeno disuelto, los cuales mostraron una reducción marcada en la estación 8. Los valores obtenidos de la demanda química y bioquímica de oxígeno presentaron una relación directa, siendo sus registros máximos y mínimos en la estación 8 y 2 respectivamente. No se detectaron concentraciones de bióxido de carbono libre y de ácido sulfhídrico.

La cuantificación de nutrientes se resume en la Tabla II. Las concentraciones fueron similares en las primeras siete estaciones y se incrementaron en la estación 8. Los nitritos y nitratos se detectaron a nivel traza, en algunos meses de muestreo, mientras que las concentraciones de amonio y de fósforo total siempre fueron altas.

Las medidas indirectas de la productividad primaria, es tán contenidas en la Tabla III, en la que se muestra que los valores máximos y mínimos correspondieron a la estación 8 y 1 respectivamente, alcanzándose la mayor producción durante el mes de julio; y la mayor densidad fitoplanctónica, en el mes de agosto.

En las Figuras 2 - 5, se muestran las variaciones de las concentraciones de la clorofila a y de los nutrientes, para cada

una de las estaciones durante los meses de estudio, registrándose una relación entre estos parámetros. En general, los valores más altos se presentaron en el mes de julio.

La comunidad fitoplanctónica se encontró constituida por los grupos algales siguientes^{*}: Bacilariofitas (diatomeas), Clorofitas (verdes), Cianofitas (azul-verdes), Crisofitas y Criptofitas (flageladas), Pirrofitas (dinoflageladas) y otros grupos en menor proporción (Benson y Williams, 1975). En las Tablas V - VIII, están contenidas las especies registradas y su cantidad. Se encontró un total de 71 especies de las cuales 28 correspondieron a las clorofitas, 25 especies a las diatomeas, 8 especies a las cianofitas, 4 especies a las flageladas, 3 especies a las dinoflageladas y 3 especies a otros grupos. La densidad algal mayor se observó en la estación 8 y la menor en la estación 2.

Como se muestra en las Figuras 6 y 7, en los meses de febrero, abril y junio el grupo algal dominante correspondió a las diatomeas, siguiéndole en orden de importancia: las clorofitas, cianofitas, dinoflageladas, flageladas y otras algas. Estas últimas presentaron su mayor proporción en el mes de junio. A diferencia de lo anterior, en los meses de julio y agosto predominaron las cianofitas, observándose una gran disminución de las algas diatomeas y dinoflageladas; y un aumento de las clorofitas y flageladas. Asimismo, hubo un incremento en el porcentaje de las algas pertenecientes a otros grupos.

En la Figura 8 se observa la variación del número de especies de los diferentes grupos algales durante los meses de muestreo. Se encontró que el mayor número de especies de diatomeas, cianofitas, flageladas, dinoflageladas y otras algas correspondió al mes de julio; no siendo así para las clorofitas, las cuales presentaron un mayor número de especies en el mes de agosto. El menor número de especies para todos los grupos algales, se registró en el mes

* Estos grupos algales se denominaron en su forma más usual.

de febrero.

De acuerdo a los valores promedio de la producción algal y de los nutrientes, contenidos en la Tabla IV, se determinó el estado trófico de los diferentes sitios de muestreo, encontrándose que las estaciones: 5, 6 y 8 presentan condiciones de eutrofia; mientras que las otras cinco fueron mesotróficas. El grupo algal dominante correspondió a las cianofitas, excepto en la estación 8 en la cual predominaron las diatomeas.

En la Tabla IX, están reportadas algunas especies de algas indicadoras de la calidad del agua encontradas en el lago, sugiriendo que el estado trófico actual de este embalse, es meso-eutrófico.

En la Tabla X, se encuentran resumidos los índices auto-tróficos y los índices de diversidad de especies de Shannon-Weaver (H'), obtenidos en cada una de las estaciones. Para el primer caso, se obtuvieron valores en el rango de 135 - 550, presentándose el mínimo en la estación 3 y el máximo en la 5. En el segundo caso, los índices de diversidad mostraron cifras poco heterogéneas, registrándose la máxima y la mínima en la estación 7 y 8 respectivamente.

En la Figura 9, se presentan los valores obtenidos del análisis de correlación y regresión lineal, observándose una buena relación entre la clorofila a con la mayoría de los parámetros físico-químicos y biológicos.

Tabla I. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos (mg/l), en el lago de Pátzcuaro, Mich.

PARAMETRO	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Profundidad (m)	8.74	10.64	7.64	3.96	5.40	5.28	3.62	2.44
Transparencia (m)	0.84	1.12	0.96	1.10	0.91	1.00	1.18	0.41
Temperatura (°C)*	20.2	20.3	20.0	20.2	20.3	20.5	21.0	22.1
pH*	8.6	8.6	8.6	8.7	8.5	8.8	8.6	8.6
Alcalinidad Total**	415.0	413.6	397.6	413.0	411.4	398.0	325.0	308.6
Dureza Total**	164.78	165.78	166.78	164.58	166.38	160.00	137.80	126.29
Ca ⁺⁺	15.4	14.44	14.44	14.76	14.28	14.79	12.08	14.12
Mg ⁺⁺	31.07	31.92	32.12	31.44	32.12	29.96	26.19	22.19
Oxígeno Disuelto*	6.6	6.5	6.7	6.7	6.5	6.8	6.0	3.8
DBO ₅	11.6	10.6	12.7	14.8	12.9	11.8	13.1	17.2
DQO	21.38	19.16	24.34	29.46	26.02	24.42	26.02	36.25
CO ₂ y H ₂ S	0	0	0	0	0	0	0	0

* Medidas superficiales.

** Medidas como carbonato de calcio.

Tabla II. (Continuación).

PARAMETRO	MES DE 1981	ESTACION							
		1	2	3	4	5	6	7	8
N - NH ₃	Febrero	0.50	0.50	0.40	0.40	0.60	0.50	0.80	1.70
	Abril	0.45	0.40	0.37	0.25	0.37	0.42	0.40	1.20
	Junio	0.45	0.38	0.38	0.30	0.28	0.25	0.35	0.78
	Julio	0.30	0.25	0.30	0.42	0.42	0.55	0.45	1.32
	Agosto	0.45	0.40	0.43	0.43	0.45	0.40	0.50	1.10
P - Total	Febrero	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.34
	Abril	<0.01	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.29
	Junio	0.04	0.05	0.05	0.04	0.18	0.04	0.20	0.48
	Julio	0.05	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.32
	Agosto	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	<0.01	0.04	0.11

Tabla III. Valores promedio de las medidas indirectas de la productividad primaria, en el lago de Pátzcuaro, Mich.

PARAMETRO	MES DE 1981	ESTACION							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Fitoplancton (cél/ml)	Febrero	52	-	-	50	66	-	38	98
	Abril	56	51	48	62	78	94	67	205
	Junio	123	133	34	74	78	131	125	804
	Julio	149	232	249	252	458	600	185	590
	Agosto	313	754	341	472	660	742	428	2,370
Clorofila <u>a</u> (mg/m ³)	Febrero	4.49	-	-	10.78	22.56	-	5.52	43.55
	Abril	8.04	11.25	10.20	6.04	19.24	22.38	8.75	85.41
	Junio	10.94	7.31	8.30	9.27	10.10	12.36	7.10	58.78
	Julio	13.34	16.53	13.80	20.73	17.13	25.94	13.85	146.00
	Agosto	11.21	5.45	11.46	13.63	11.38	24.80	17.17	90.11
Biomasa (mg/m ³)	Febrero	400	-	-	1,400	10,000	-	700	8,300
	Abril	775	1,212	1,559	2,213	11,872	4,869	1,508	13,692
	Junio	3,500	351	2,609	763	2,945	6,204	1,033	19,405
	Julio	550	2,650	1,050	4,000	14,450	1,600	950	27,700
	Agosto	1,275	4,350	750	6,500	4,750	7,900	3,850	16,000

Tabla IV. Determinación del estado trófico del lago de Pátzcuaro, Mich., de acuerdo a los valores promedio de la producción y de los nutrientes (mg/l).

ESTACION	Clorofila <u>a</u>	Biomasa (p.s.l.c.) *	Grupo algal dominante	P - Total	N - Inorgánico	Estado trófico
1	0.009	1.30	cianofitas	0.031	0.56	mesotrófico
2	0.010	2.14	cianofitas	0.042	0.53	mesotrófico
3	0.011	1.49	cianofitas	0.039	0.50	mesotrófico
4	0.012	2.97	cianofitas	0.032	0.46	mesotrófico
5	0.016	8.80	cianofitas	0.062	0.56	eutrófico
6	0.021	5.14	cianofitas	0.030	0.53	eutrófico
7	0.010	1.60	cianofitas	0.067	0.60	mesotrófico
8	0.085	17.01	diatomeas	0.31	1.44	eutrófico

* (peso seco libre de cenizas).

Tabla V. (Continuación).

ESPECIE	EST. MES	1					2					3					4					5					6					7					8				
		f	a	j	j	a	f	a	j	j	a	f	a	j	j	a	f	a	j	j	a	f	a	j	j	a	f	a	j	j	a	f	a	j	j	a	f	a	j	j	a
<i>Navícula</i> sp. 2		1	1				1										1					1	1				1					1					2	1			
<i>Nitzschia acicularis</i>																			1						1				1					1							1
<i>Nitzschia</i> sp.		1	1				1					1		1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
<i>Pinnularia borealis</i> **																	1					1	1											1	1						
<i>Rhizosolenia eriensis</i>						1	1	1	1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
<i>Stephanodiscus</i> sp.		1	1	1	1	1	1	1	1	1		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	5	4	2
<i>Surirella caproni</i> **		1		1			1	1	1				1	1	1			1	1			1			1		1		1	1	1		1	1	1	1					
<i>Synedra acus</i> **		1	1				1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1		2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1		1
<i>S. parasitica</i> **		1					1					1	1				1	1				1	1									1	1								1
<i>Synedra</i> sp. 1									1			1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1							
<i>Synedra</i> sp. 2			1						1	1				1	1				1	1	1			1	1	1	1	1				1				1					
<i>Tetracyclus</i> sp.				1					1					1	1				1	1				1	1				1	1				1		1					
No. de especies		18					18					18					18					22					21					25					20				
Promedio (cél/ml).		17					13					24					29					53					60					34					458				

Tabla VI. (Continuación).

ESPECIE	EST.	1					2					3					4					5					6					7					8				
	MES	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a
<i>Pediastrum boryanum</i> **																								1	1																
<i>P. clathratum</i> **																													1												
<i>P. duplex</i> **		1		1								1					1	1																							
<i>P. tetras</i> **									1																																
<i>Pediastrum</i> sp.														1	1											1															1
<i>Protococcus</i> sp.				1										1										1	1				1			1	1				1				
<i>Radiococcus</i> sp.		1	1									1		1	1												1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1
<i>Rivularia planctonica</i> **																								1																	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>				1					1					1	1		1	1	1					1	1	1	1	1	1	1		1	1	1							1
<i>Selenastrum gracile</i>			1	1	2		1	1	2	2			2	1			1	1	2	2			2	3	2		2	2	2			2	1	1			1				1
<i>Staurastrum chaetoceros</i>		1		1	1		1	1	1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Tetrademus</i> sp.																				1						1			1						1	1					
<i>Trebouxia</i> sp.			1	1			1	1	1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1				1	1			1			1				1
<i>Zygnema</i> sp.		1					1	1	1			1	1				1					1								1					1	1					
No. de especies		16					14					21					19					21					20					18					20				
Promedio (cél/ml)		16					16					24					46					71					83					30					103				

Tabla VII. Cantidad* de cianofitas y dinoflageladas (pirrofitas) en las diferentes estaciones y épocas de muestreo en el lago de Pátzcuaro, Mich.

ESPECIE	EST.	1					2					3					4					5					6					7					8									
	MES	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a	f	a	J	J	a					
<i>Anabaena</i> sp.		1	1	1	1	1	1	1	2	2		1	1	2	2		1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	3	2		1	1	2	2	2						1	2	1	1	
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>								1										1						1				1	1				1	1												
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> **		1	1	1	2	3	1	1	2	4		1	1	2	2		1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1	1	3		1	1	1	3							1	1			
<i>Dactylococcopsis</i> sp.					1				1	1				1					1										1	1					1	1									1	1
<i>Lynbya</i> sp.									1					1	1				1					1	2				1	1	2				1	2									1	2
<i>Merismopedia</i> sp.			1	2	4				2	5			1	2	4			1	2	4			1	2	4				2	4				2	2	3				1	2					
<i>Microcystis aeruginosa</i> **		1	2				1	1	1			1	1	1			1	1				1	1				1	1				1	1													
<i>Oscillatoria</i> sp.			3	2	1			3	2	1			1	2	2	1		1	1	2	2		1	2	2	1		1	1	2	2		1	2	2	1		1	2	1	3					
No. de especies		6					8					7					8					7					8					8					6									
Promedio (cél/ml)		104					195					75					88					134					155					86					53									

<i>Ceratium hirundinella</i> **		1					1					1	1				1					1					1	1				1	1				1	1								
<i>Gonyaulax palustre</i> **				1	1			1	1				1	1	1			1	1					1					1	1				1	1	1				2	1					
<i>Peridinium cinctum</i> **							1	1				1							1								1	1				1														
No. de especies		2					3					2					3					2					3					3					2									
Promedio (cél/ml)		1					1					1					3					1					3					4					15									

Tabla IX. Algas indicadoras de la calidad del agua, encontradas en el lago de Pátzcuaro, Mich.

Especie indicadora *	Grupo algal	Estado trófico	Presencia
<i>Ceratium hirundinella</i>	dinoflagelada	mesotrófico	ocasional
<i>Pediastrum boryanum</i>	clorofita	mesotrófico	ocasional
<i>Pediastrum duplex</i>	clorofita	mesotrófico	poco común
<i>Melosira granulata</i>	diatomea	meso-eutrófico	abundante
<i>Anabaena sp.</i>	cianofita	meso-eutrófico	abundante
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	cianofita	eutrófico	ocasional
<i>Microcystis aeruginosa</i>	cianofita	eutrófico	común

* De acuerdo a Rawson (1956), Van Nuland y Meis (1980).

Tabla X. Índice autotrófico e índice de diversidad de especies de la comunidad fitoplanctónica del lago de Pátzcuaro, Mich.

ESTACION	INDICE AUTOTROFICO BIOMASA/CLOROFILA <u>a</u>	INDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON-WEAVER (H').
1	144	2.96
2	214	2.75
3	135	3.31
4	247	3.31
5	550	3.40
6	245	3.42
7	160	3.56
8	200	2.70

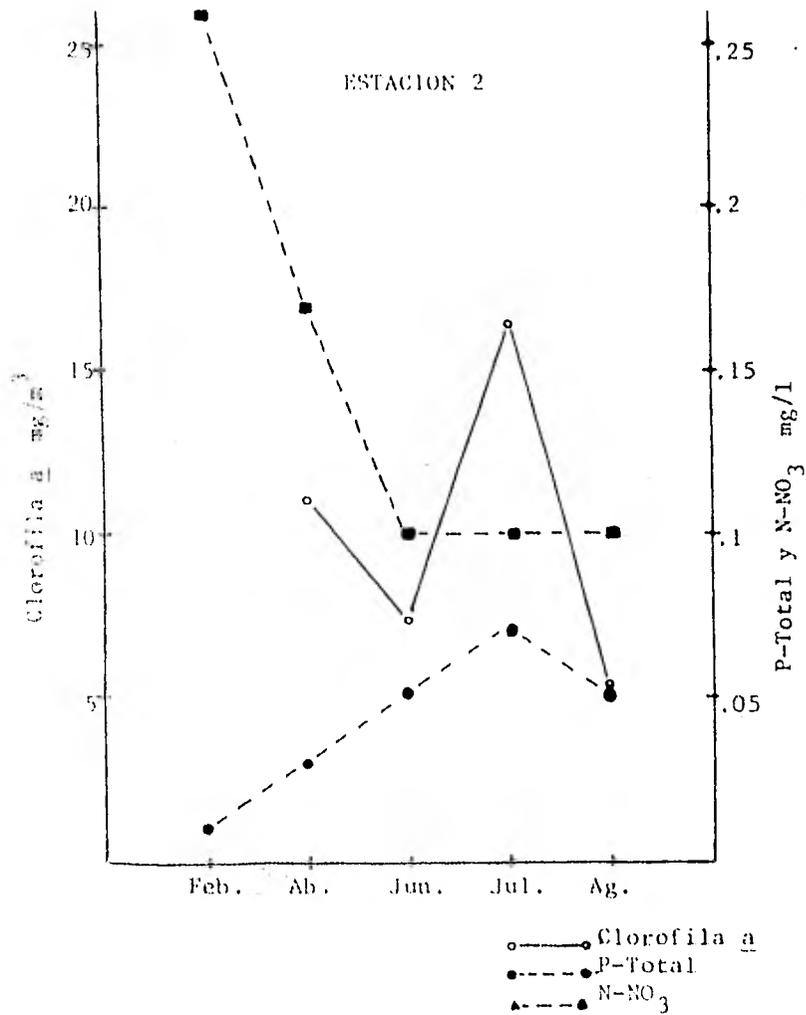
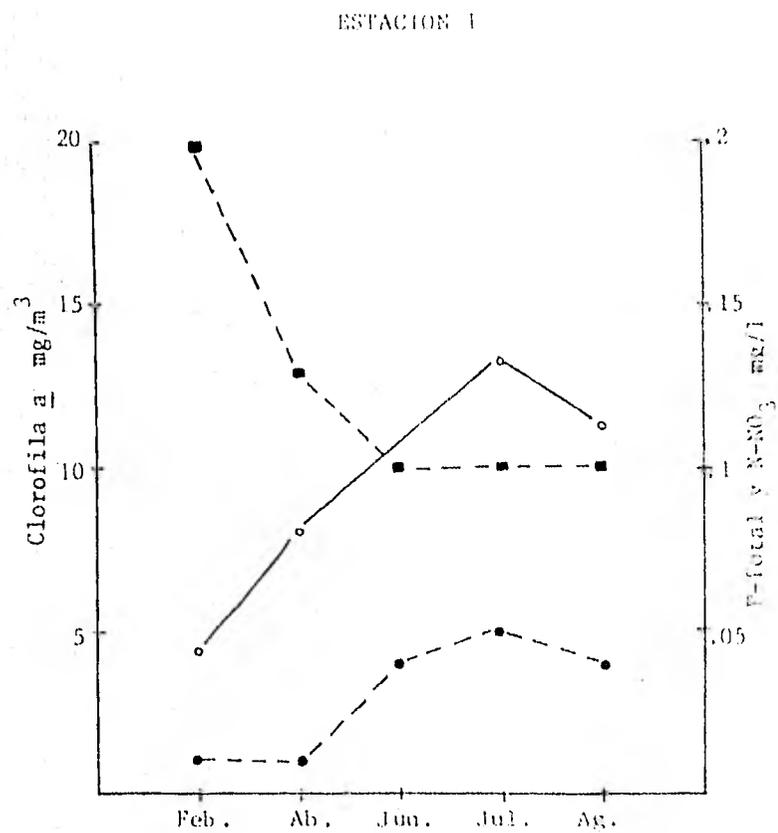


Figura 2. Variación de la concentración de clorofila a y de nutrientes de las estaciones 1 y 2, durante los meses de muestreo en el lago de Pátzcuaro, Mich.

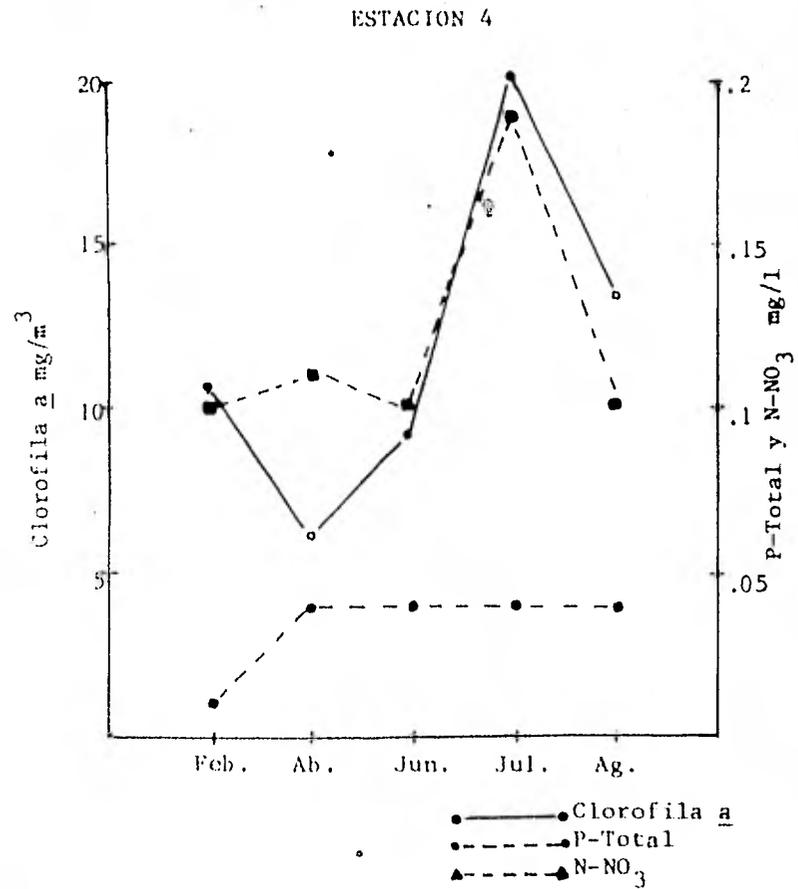
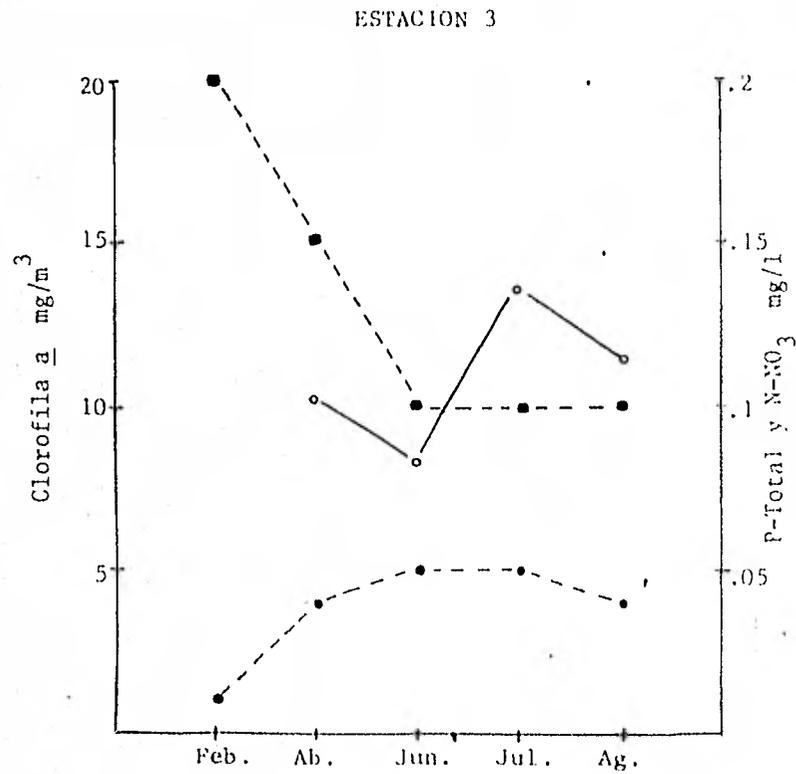


Figura 3. Variación de la concentración de clorofila a y de nutrientes de las estaciones 3 y 4, durante los meses de muestreo en el Lago de Pátzcuaro, Mich.

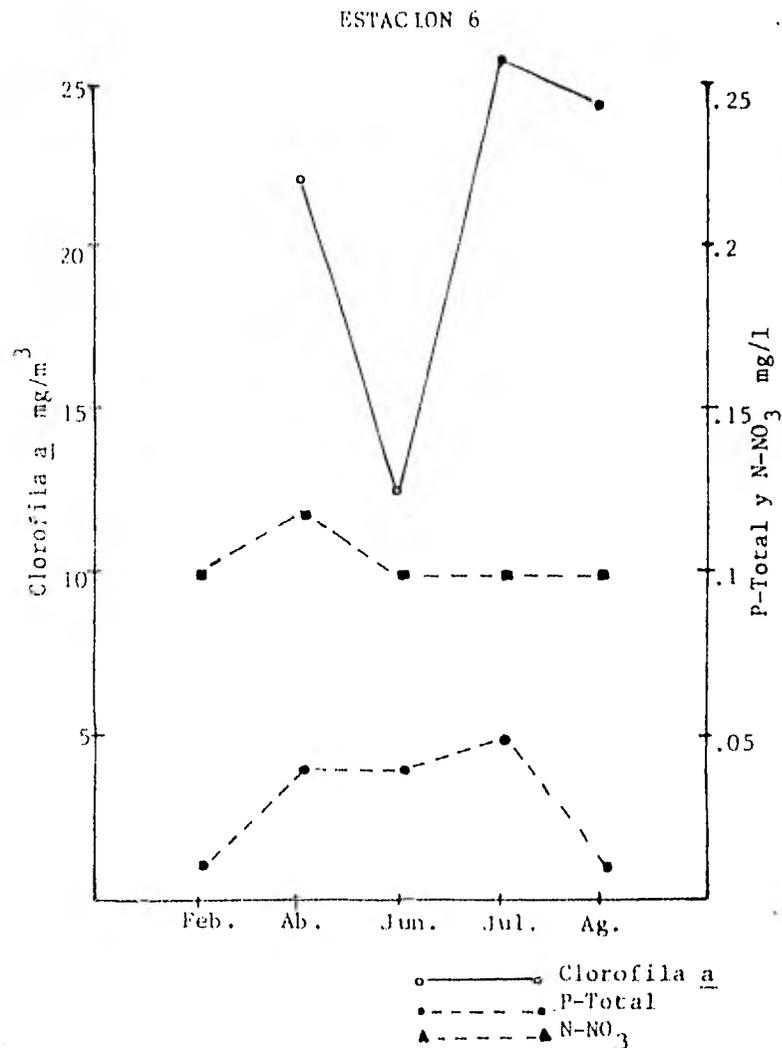
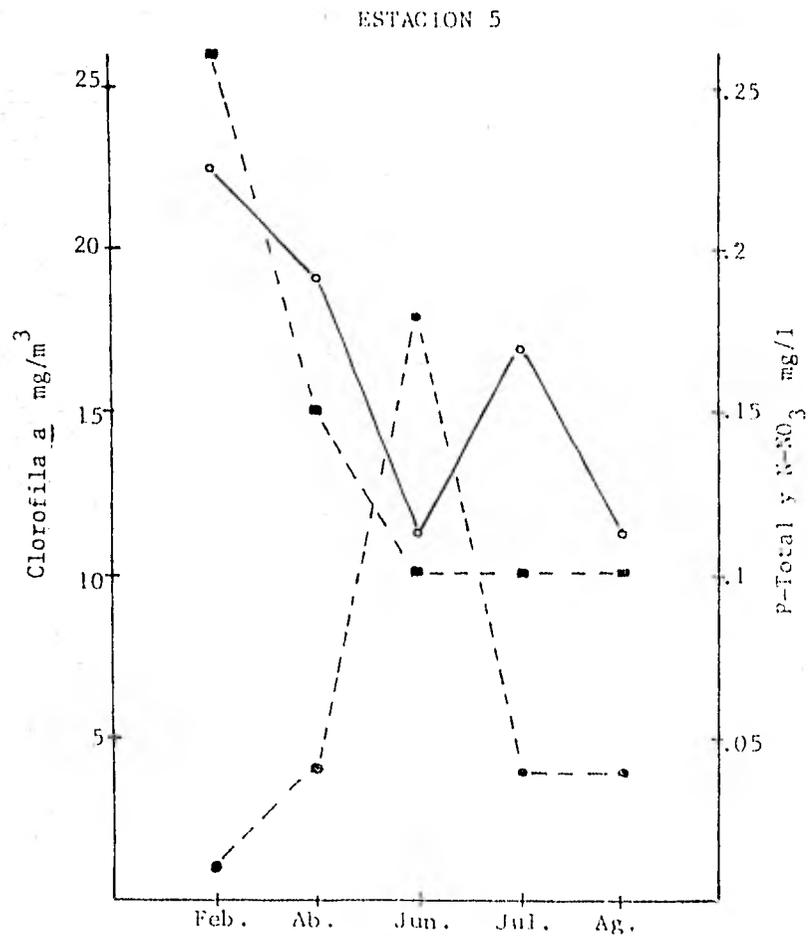


Figura 4. Variación de la concentración de clorofila a y de nutrientes de las estaciones 5 y 6, durante los meses de muestreo en el lago de Pátzcuaro, Mich.

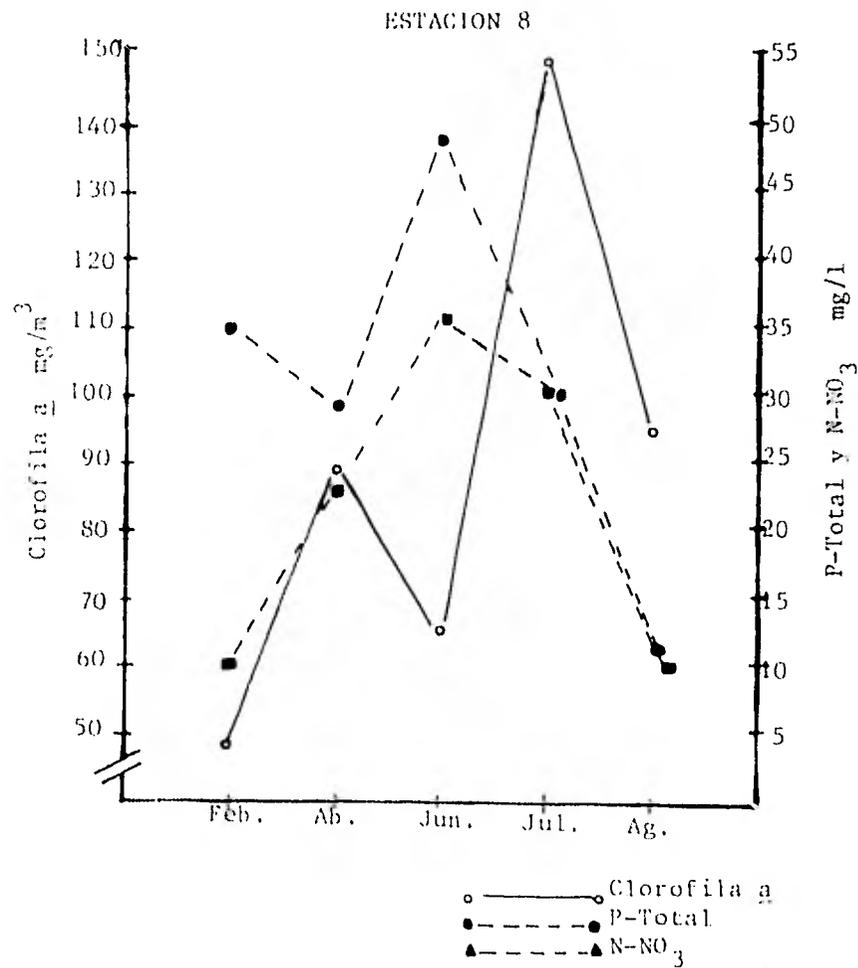
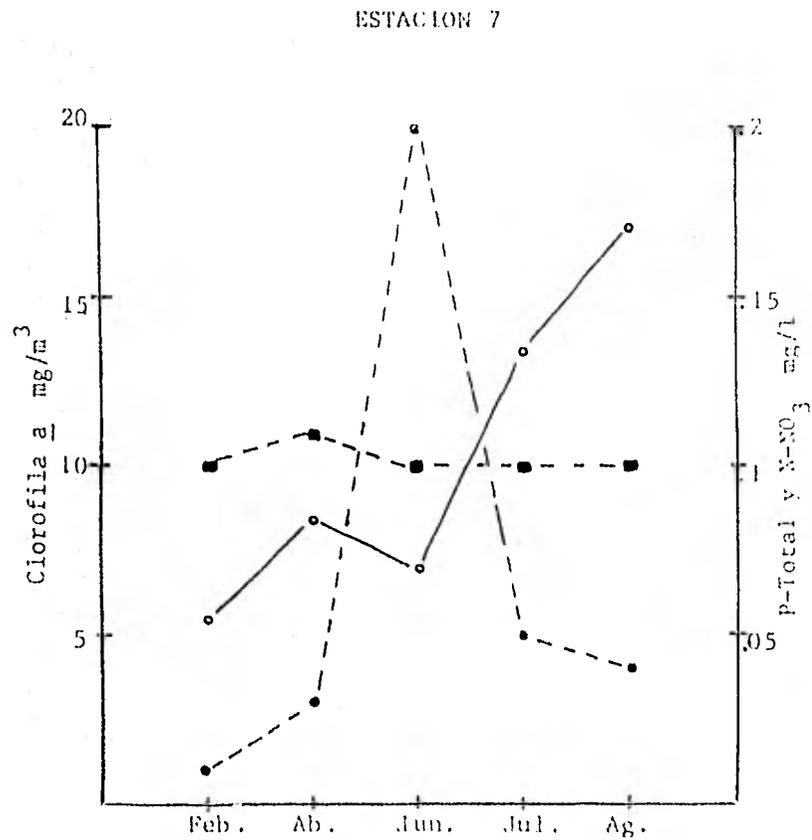
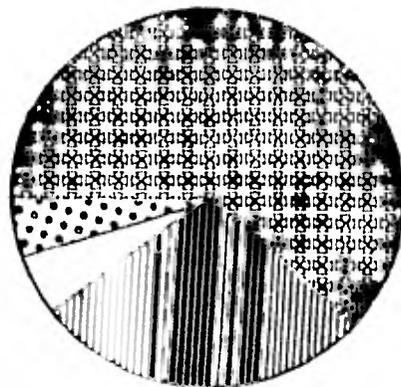
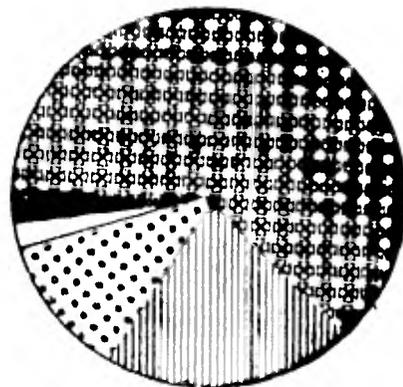


Figura 5. Variación de la concentración de clorofila a y de nutrientes de las estaciones 7 y 8, durante los meses de muestreo en el lago de Pátzcuaro, Mich.

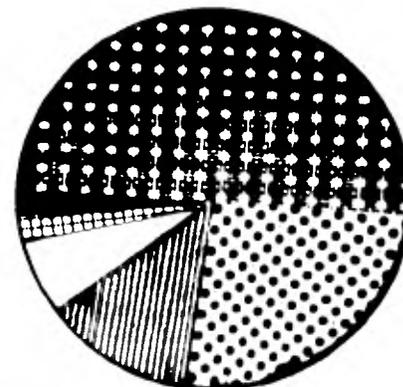
Febrero



Abril



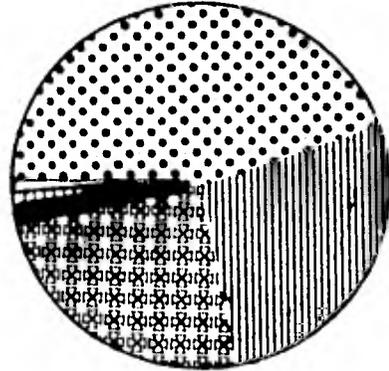
Junio



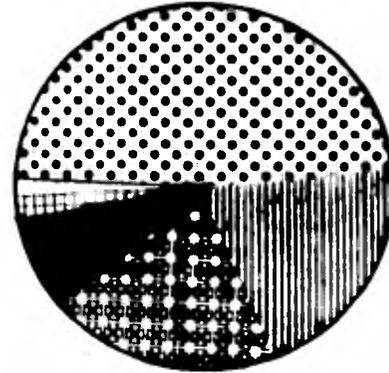
● Diatomeas	62.05%	63.50%	49.46%
⊞ Clorofitas	27.63%	20.71%	13.60%
⊗ Cianofitas	3.95%	11.81%	26.96%
○ Dinoflagel.	5.92%	2.45%	7.02%
● Flageladas		1.53%	0.64%
⊞ Otras			2.32%

Figura 6. Abundancia relativa de los grupos de algas correspondiente a los meses de: febrero, abril y junio de 1981, en el lago de Pátzcuaro, Mich.

Julio



Agosto



●* Cianofitas	44.23%	48.45%
▨ Clorofitas	27.96%	21.50%
⊗ Diatomeas	24.62%	19.87%
● Flageladas	1.55%	8.15%
⊕ Otras	1.25%	1.60%
○ Dinoflageladas	0.39%	0.43%

Figura 7. Abundancia relativa de los grupos de algas correspondiente a los meses de: julio y agosto de 1981, en el lago de Pátzcuaro, Mich.

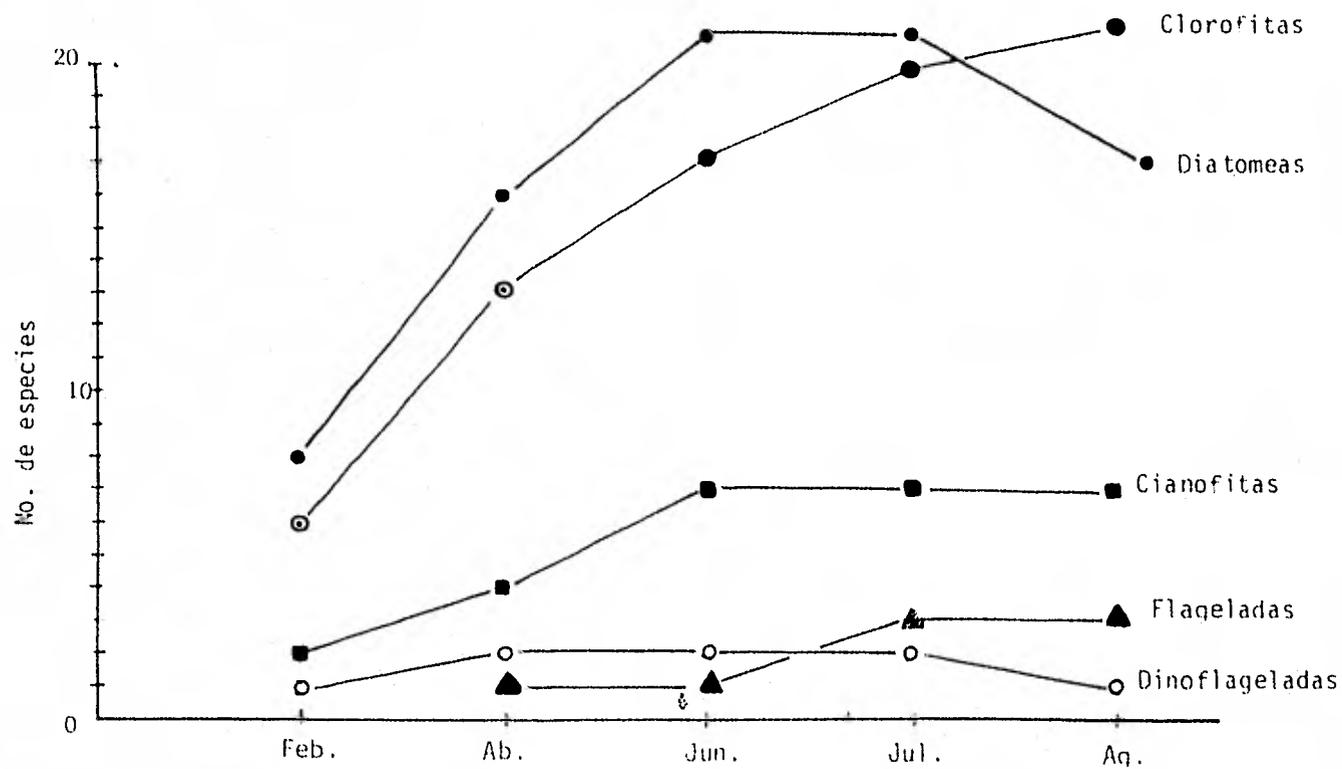
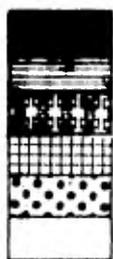
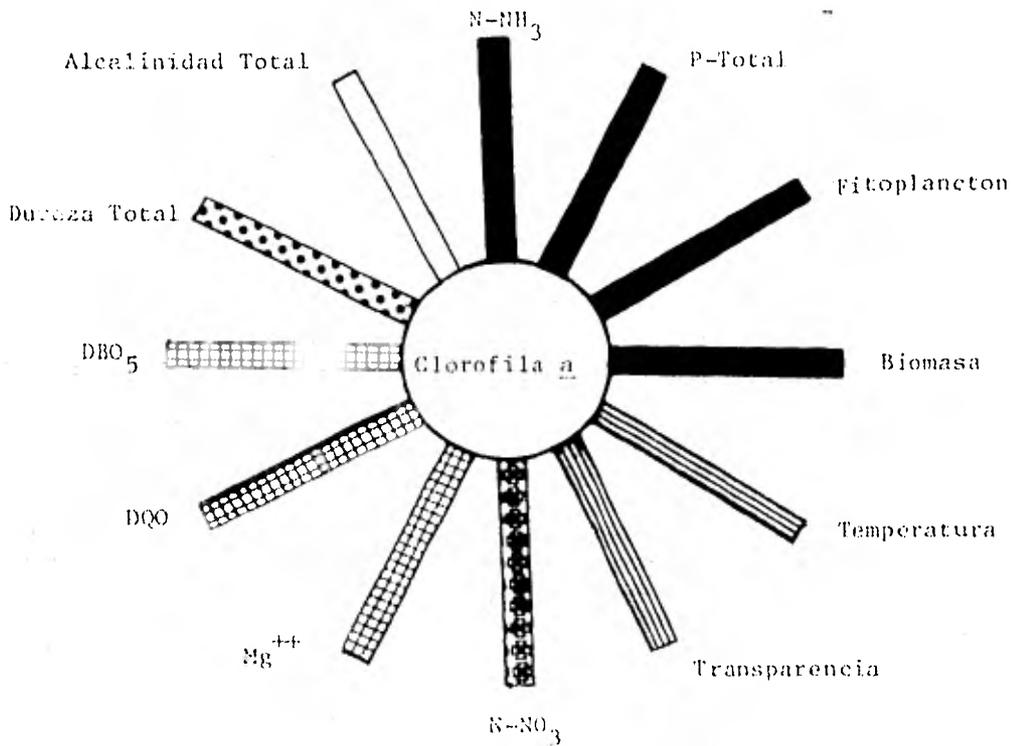


Figura 8. Variación del número de especies de los grupos algales, durante el periodo de muestreo en el lago de Patzcuaro, Mich.



$r \pm \approx 0.92$	$r^2 \approx 0.85$	$p = 0.001$
$r \pm \approx 0.88$	$r^2 \approx 0.78$	$p = 0.005$
$r = 0.85$	$r^2 = 0.73$	$p = 0.01$
$r \pm \approx 0.79$	$r^2 \approx 0.62$	$p = 0.02$
$r = -0.76$	$r^2 = 0.58$	$p = 0.05$
$r = -0.70$	$r^2 = 0.48$	$p = 0.10$

Figura 9. Correlación (r), regresión (r^2) y probabilidad de error en la relación de la clorofila a, con algunos parámetros del lago de Pátzcuaro, Mich.

DISCUSION,

Las características fisicoquímicas del agua del lago de Pátzcuaro, Mich. durante el tiempo de estudio, no presentaron - grandes fluctuaciones. Esto puede deberse a que se trata de una cuenca endorreica.

Se registró una temperatura superficial mayor a 4°C y fué homogénea a través de la columna de agua, por lo cual a este embalse se le clasificó como tipo tropical de 3er. orden (Escala de Forel modificada por Whipple, 1927; citado por Welch, 1952).

pátzcuaro es un cuerpo de agua relativamente somero, dado que su profundidad máxima fué de 12.5 m. El volumen del agua depende principalmente de la evaporación, la cual excede al aporte de agua por las lluvias y manantiales, de manera que el nivel del lago presenta variaciones a lo largo del año (de acuerdo a la época de secas o de lluvias). Aunado a esto, el arrastre excesivo de sedimentos resultante de las actividades humanas y de los fenómenos meteorológicos, así como también la invasión de las plantas acuáticas, tienden a disminuir la profundidad de su cuenca.

La transparencia del agua del lago, se ve afectada en gran medida por la cantidad considerable de material inorgánico, detritus orgánico y microorganismos planctónicos en suspensión, presentándose durante todos los periodos de muestreo una turbidez marcada, de tal forma, que la visibilidad máxima con el disco de Secchi, apenas alcanzó 1.18 m en la estación 7.

De acuerdo a la clasificación de Miller (1974) y considerando la dureza total presente en el embalse, se sugiere que el agua es dura, lo cual se encuentra apoyado por los valores de pH mayores de 8 presentes en todas las estacione. Tomando en cuenta todas estas características y las medidas de la alcalinidad to-

tal, el lago de Pátzcuaro presenta una gran capacidad "buffer" dada por el sistema carbonatos-bicarbonatos.

De los sólidos disueltos, el calcio y el magnesio son particularmente importantes ya que intervienen en la formación de sales y pueden limitar de alguna forma, los procesos biológicos. Generalmente el ion calcio se presenta en mayor concentración que el ion magnesio, no siendo así en este caso, ya que más del 50% de estos iones correspondió al magnesio. Se consideró que los valores bajos del calcio, pueden deberse a que este ion se encuentra combinado con carbonatos, lo cual concuerda con los valores altos de la dureza total.

El oxígeno disuelto presentó una distribución homogénea con un valor promedio de 6.2 mg/l, registrándose el valor mínimo en la estación 8. Esta homogeneidad puede deberse a la escasa profundidad del lago, a la constante circulación y a la similitud de temperatura a través de la columna de agua. Asimismo, la buena oxigenación (85% de saturación), indicó que los procesos de degradación biológica, aun no han alcanzado una magnitud tal, que la demanda de oxígeno sea excedida por la producción de bióxido de carbono.

La demanda bioquímica y química de oxígeno, estuvieron relacionadas en forma directa y los valores relativamente bajos de ambas, indicaron que los procesos de oxidación se están llevando a cabo eficientemente.

La ausencia de bióxido de carbono libre, fué debida a los valores de pH mayores de 8.3, lo cual no permitió la formación de ácidos (como el ácido sulfhídrico) en el medio.

En cuanto al análisis de nutrientes, las concentraciones más altas se registraron en la estación 8, siendo de 0.36 mg/l para los nitratos y 0.009 mg/l para los nitritos. El amonio y el

fósforo presentaron valores altos, encontrándose en mayor proporción en las estaciones 5, 7 y 8. La cantidad considerable de amonio reflejó una descomposición activa de materia orgánica en el fondo del lago, la cual no alcanzó una mineralización total (sobre todo en las zonas críticas como es la estación 8), justificando los valores bajos de los nitritos y nitratos. Las concentraciones tan altas de fósforo, pueden deberse a la continua circulación del agua, lo cual ocasiona que este mineral sea removido del sedimento hacia la superficie y/o a la rapidez de los procesos de reincorporación del mismo, por los factores fisicoquímicos y biológicos. Aunado a esto, el constante vertimiento de aguas residuales al lago, contribuye al enriquecimiento de los nutrientes y ello se vió reflejado directamente en la productividad primaria.

El fitoplancton (cél/ml), la biomasa (p.s.l.c.) y la clorofila a, parámetros mediante los cuales se evaluó la productividad primaria, guardaron una relación directa. La densidad fitoplanctónica tuvo un notable aumento durante el mes de agosto, principalmente en la estación 8 lo que coincidió con la presencia de grandes florecimientos algales. Los valores (cél/ml) relativamente bajos indicaron que las condiciones presentes en el lago, aun no han permitido una invasión algal crítica de mayores consecuencias. La biomasa medida como materia orgánica viva y no viva, presentó valores muy heterogéneos, encontrándose en la estación 8 los valores más altos con respecto a las demás estaciones, valores que pueden ser explicados por la presencia de gran contenido de material orgánico no vivo (producto de la degradación y muerte de los organismos). En cuanto a las concentraciones de la clorofila a en el transcurso del estudio, estuvieron entre 0.009 mg/l y 0.085 mg/l, concentraciones promedio que correspondieron a las estaciones 1 y 8 respectivamente. De acuerdo a los resultados de estos parámetros, se determinó que el lago presenta una producti-

vidad primaria moderadamente alta, en las estaciones 1-4 y 7; y una productividad alta en las estaciones 5, 6 y 8.

El índice autotrófico (biomasa/clorofila a), mostró que las poblaciones de productores y consumidores se encuentran equilibradas a excepción de la estación 5, en la cual predominaron los consumidores. Esto puede deberse a la gran cantidad de organismos heterótrofos, como las bacterias, las cuales se encuentran en gran número en esta zona (Mazari, 1981).

La representación gráfica de la variación de la clorofila a y los nutrientes, refleja en la mayoría de los casos una relación directa entre el fósforo total y la productividad primaria, particularmente en los meses de junio-agosto, en las estaciones 1-4 y 6. El incremento máximo se registró en julio, época en que se encontraron grandes poblaciones algales. En cambio, en las estaciones 5, 7 y 8, la mayor concentración de fósforo total se obtuvo en el mes de junio, lo cual coincidió con los valores más bajos de la clorofila a, lo que sugiere que el fósforo quedó disponible, debido a la poca biomasa algal. Se debe considerar que estas gráficas, sólo reflejaron la variación entre estos parámetros, sin indicar la estrechez de su relación, lo cual podría conducir a falsas interpretaciones.

Con respecto a la comunidad fitoplanctónica del lago de Pátzcuaro, se encontraron especies que no habían sido reportadas en los trabajos anteriores de este lugar, lo cual sugiere que las condiciones han cambiado. De las 71 especies halladas en este estudio, únicamente 25 han sido registradas por otros autores. Cabe mencionar, que además no se habían citado algas flageladas y desmidias, que en este caso se presentaron con poca o regular frecuencia. Se debe considerar que el análisis fitoplanctónico, únicamente fué de la capa superficial, lo que pudo haber sido la causa de una abundancia algal relativamente baja.

Durante los meses de febrero y abril, que corresponden a

la época de secas, las diatomeas dominaron con más del 60% del total de las algas, mientras que en junio se presentaron con un 50%. Esta dominancia fué debida, a que las diatomeas presentan un incremento poblacional en el invierno y en la primavera, cuando la concentración de nutrientes es baja. En cambio, durante los meses de agosto se observó un predominio de las cianofitas de más del 40%, lo cual se explica por el hecho de que estas algas tienen sus máximos florecimientos durante el verano, época en la que se presentó mayor cantidad de materia orgánica disuelta en el agua. El porcentaje de clorofitas se mantuvo más o menos constante durante los cinco meses, presentando una abundancia relativa del 20%. A diferencia de esto, las dinoflageladas se presentaron en un porcentaje bajo, siendo el máximo del 7% durante el mes de junio. En los meses de febrero y abril no se encontraron algas flageladas, ya que éstas, generalmente florecen a partir de la primavera.

Debido a las condiciones fisicoquímicas similares en los distintos sitios de muestreo, la composición fitoplanctónica presentó ligeras variaciones de una estación a otra, salvo en la 8.

En general, las diatomeas predominantes estuvieron representadas por las especies *Melosira granulata*, *M. granulata* var. *angustissima*, *Fragilaria* sp., *Stephanodiscus* sp. y *Synedra acus*. Las dos primeras, siempre se presentaron en grandes cantidades mezcladas con *Stephanodiscus* sp. y su mayor proporción se registró en la estación 8. Estas diatomeas toleran medios muy contaminados y su presencia está muy relacionada con un gran contenido de nutrientes.

En relación a las clorofitas, siempre presentaron un número relativamente constante, sin la aparición de grandes florecimientos. La mayor cantidad de organismos correspondieron a las especies *Selenastrum gracile*, *Docyctis lacustris*, *Chlorella* qua-

drata y *Ankistrodesmus* sp., en las estaciones 4-8. Estas clorofitas se encuentran relacionadas a lugares con moderada cantidad de materia orgánica.

El grupo de las cianofitas se consideró de gran importancia, ya que presentaron los mayores florecimientos algales en este estudio. De las ocho especies encontradas, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Oscillatoria* sp., *Anabaena* sp. y *Merismopedia elegans* formaron "bloom", principalmente en los meses de julio y agosto, - en las primeras siete estaciones. Estas algas generalmente se encuentran en medios enriquecidos con materia orgánica, por lo que resultó extraña la ausencia de estos florecimientos en la estación 8 (a excepción de *Oscillatoria* sp.), por lo que se puede inferir que en esta zona existen condiciones que limitaron el desarrollo de algunas especies tolerantes a grandes disturbios.

Con respecto a los demás grupos algales, las dinoflageladas *Ceratium hirundinella*, *Gonyaulax polustre* y *Peridinium cinctum* fueron tan sólo ocasionales. Las algas flageladas se presentaron en mayor proporción en los meses de julio y agosto, siendo las más abundantes *Chilomonas paramecium* y *Rhodomonas* sp. . La primera especie tuvo una notable presencia en la estación 8 y su aparición es reflejo de zonas muy alteradas, por lo que justifica las condiciones drásticas de este lugar.

Las asociaciones encontradas entre las diatomeas *M. granulata*, *M. granulata* var. *angustissima* con *Stephanodiscus* sp. y las cianofitas *Anabaena* sp. con *Oscillatoria* sp. se presentaron en las ocho estaciones durante todos los meses de muestreo, confirmando las condiciones que prevalecen en el lago, como el tener una alcalinidad y concentración de nutrientes relativamente altas.

Desafortunadamente la falta de claves y asesoría para la identificación a nivel específico, fué el motivo de que algunas algas no fueran identificadas hasta este nivel, lo cual limitó la de-

terminación verdadera del estado trófico actual del lago en estudio. Sin embargo, entre los organismos identificados, siete resultaron ser indicadores de la calidad del agua y de acuerdo a la clasificación de Rawson (1956), Van Nuland y Meis (1980)*, se encontró que la diatomea *M. granulata* y la cianofita *Anabaena* sp. se presentaron en gran abundancia, lo cual indicó condiciones meso-eutróficas. Ambas especies aparecieron durante todo el periodo de estudio, lo cual podría indicar la verdadera condición trófica del embalse. La dinoflagelada *C. hirundinella* y las clorofitas *Pediastrum boryanum* y *P. duplex* (especies indicadoras de mesotrofia), fueron tan sólo ocasionales en algunas estaciones y meses de muestreo, por lo que en este caso, estas algas no pudieron ser consideradas como indicadoras fidedignas. Las cianofitas *Aphanizomenon flos-aquae* y *Microcystis aeruginosa*, se presentaron en forma ocasional por lo que no indicaron condiciones de verdadera eutrofia. Estas especies son de gran importancia, ya que florecimientos masivos de éstas, producen poderosas toxinas que afectan a peces, animales domésticos y al hombre y son pobremente oxigenadoras.

Sabiendo que un cuerpo de agua es un medio dinámico, en donde la diversidad y la abundancia de los organismos es un buen reflejo de su estado y que esto es medible por medio de los índices de diversidad de las especies, se consideró conveniente para este estudio aplicar estos análisis, los cuales reflejaron el número de especies y su equitatividad.

Los valores dados de los índices para cada una de las estaciones, no presentaron grandes variaciones. Como era de esperarse, la estación 8 registró el índice de diversidad más bajo, siendo de 2.72, lo cual se explica por el hecho de que pocas especies fueron tolerantes a las condiciones del lugar, como sería el caso de *Oscillatoria* sp. y *M. granulata* o por el contrario, muchas especies

* En esta clasificación *M. granulata* se reporta como una especie indicadora de mesotrofia, sin embargo la mayoría de los autores la consideran como eutrófica, por lo que en este caso fué ubicada como especie meso-eutrófica.

fueron tan sólo ocasionales. A diferencia de esto, la estación 7 presentó el mayor índice de diversidad (3.56), el cual parece estar de acuerdo con las características del lugar, como el tener gran cantidad de vegetación acuática sumergida, lo cual proporciona una buena oxigenación y hábitat para las diferentes especies acuáticas. Además únicamente en esta zona se presentaron varias formas larvarias de organismos planctónicos. Los valores de los índices de diversidad para las estaciones restantes, fluctuaron entre 2.70 y 3.56 y de acuerdo Wilhm y Dorris (1968; citados por Welch, 1980), estas cifras indicaron agua con una moderada contaminación.

Para los fines de este estudio, el empleo del análisis de regresión y correlación lineal, proporcionó una evaluación de la relación que existe entre las condiciones del lago y los factores fisicoquímicos y biológicos que lo caracterizan. La productividad primaria es de gran importancia, porque refleja directamente el estado trófico de un cuerpo de agua. Por ello, se consideró a la clorofila a como la variable dependiente de los factores bióticos y abióticos del sistema.

Los valores de la clorofila a, guardaron una relación estrecha con: el amonio, el fósforo total, el oxígeno disuelto, el fitoplancton (cél/ml) y la biomasa con el 99.9% de significancia. Esta gran relación, se debe a que la productividad primaria, generalmente se encuentra controlada en cierta medida y bajo ciertas condiciones, por estos parámetros. La correlación con el amonio y el fósforo total ($r=0.97$), se explica por el hecho de que cuando estos nutrientes se encuentran en alta concentración, como en este caso, las algas son capaces de tomarlos con gran eficiencia. El amonio y una gran parte de la forma orgánica e inorgánica del fósforo total, son utilizados en el crecimiento activo de las diatomeas y cianofitas, reincorporándolos rápidamente al medio.

Las correlaciones con el fitoplancton ($r=0.97$) y con la

biomasa ($r=0.92$), fueron obvias, a pesar de que la cantidad algal no fué notable.

Con la temperatura y la transparencia, se obtuvo un nivel de significancia de 99.5%. Ambos parámetros son muy importantes en la productividad, por lo que la temperatura con una correlación de 0.89, influyó directamente en la actividad clorofiliana. La transparencia presentó una correlación negativa ($r=-0.88$), relación inversa que pudo ser ocasionada, por la gran proporción de material orgánico e inorgánico suspendido en la columna de agua, disminuyendo la penetración de la luz solar y por lo tanto la fotosíntesis.

Aun cuando los nitratos se presentaron a bajas concentraciones, existió una buena correlación ($r=0.85$), con la productividad primaria, obteniéndose un nivel de significancia del 99%. Esta relación puede ser explicada por el hecho de que algunas algas toman activamente este ion.

El magnesio con una correlación de -0.82 , presentó un 98% de significancia. La relación inversa puede ser atribuida a que este ion, se combina rápidamente con algunos aniones. En cambio, la demanda química ($r=0.81$) y bioquímica de oxígeno ($r=0.79$) así como la dureza total ($r=-0.76$), tuvieron una relación con un nivel de significancia del 98% en las dos primeros y del 95% en la última. Al incrementarse la fotosíntesis, aumenta la demanda química y bioquímica de oxígeno, causada por la adición de materia orgánica en el agua; y al haber más actividad fotosintética, el bióxido de carbono es removido elevándose el pH y ocasionando la precipitación del carbonato, principalmente de calcio, disminuyendo la dureza total.

En los trabajos biológicos el nivel de significancia aceptable generalmente está entre el 95 y 99%, sin embargo, de acuerdo a Schwartzkopf y Hergenrader (1978), en los sistemas ecológicos

niveles menores hasta del 90% pueden ser importantes, por lo que en este caso se consideró a la alcalinidad como significativa a este nivel con una correlación de -0.70, la cual puede actuar en forma similar a la dureza total.

Los nitritos, el pH y el calcio no presentaron correlación significativa con la productividad primaria. La concentración tan baja de los nitritos (en la mayoría de los casos el mínimo detectable), no proporcionó ninguna relación con los florecimientos algales, ya que este ion no es utilizado por éstas. En cuanto al pH y al calcio, estos parámetros parecen no ser importantes para la productividad primaria, ya que los valores relativamente altos del pH, pueden causar la precipitación del calcio y no ser tomado por las algas microscópicas, aunque plantas acuáticas como: *Chara*, *Cladophora* y *Potamogeton*, son capaces de precipitarlo para obtener bióxido de carbono, para realizar la fotosíntesis. Sin embargo, cualquier incremento de la actividad clorofiliana, por pequeño que sea, provoca un aumento del pH.

En este análisis estadístico no se tomó en cuenta al oxígeno disuelto, ya que es un parámetro cuya dinámica puede estar de terminada por otros factores.

Aunque los datos obtenidos en este estudio no fueron numerosos, este método estadístico demostró que las determinaciones realizadas, fueron suficientes para dar una idea del comportamiento de la productividad primaria con respecto a los demás parámetros.

Haciendo un análisis global de los resultados obtenidos y considerando principalmente las características relacionadas a las condiciones tróficas del embalse, se puede decir, que a pesar de que el lago presenta un gran enriquecimiento, aun posee una capacidad altamente depuradora, lo que permite el buen desarrollo de algunos organismos acuáticos. Las estaciones 5, 6 y 8 están muy alteradas por las actividades humanas, en especial ésta última, presenta

una fuerte contaminación provocada por el constante aporte de material orgánico de aguas residuales sin previo tratamiento o con un tratamiento mínimo, proveniente de la Cd. de Pátzcuaro y de la planta procesadora de pescado PROPEMEX, la cual vierte al lago un total de 144,000 litros de desechos al día.

Desde el punto de vista de la calidad del agua, el lago de Pátzcuaro se encuentra en una etapa de evolución, entre el estado mesotrófico y eutrófico, presentando algunas zonas verdaderamente eutroficadas (Rawson, 1956; Sakamoto, 1966; Hutchinson, 1967; Wilhm y Dorris, 1968; U. S. Environmental Protection Agency, 1972 y 1975; y Likens y Whittaker, 1975).

RECOMENDACIONES.

Siendo el lago de Pátzcuaro, Mich. un recurso natural muy importante tanto a nivel regional como nacional, es necesario que se tomen medidas tendientes a mantenerlo en un estado óptimo, tales como:

Instalación de sistemas de tratamiento de las aguas de desecho que se vierten en él, para impedir su acelerada eutroficación.

Reforestación de su cuenca, para evitar en la medida que sea posible, su azolvamiento.

Control en el uso de fertilizantes en los campos de cultivo aledaños, para disminuir el rápido enriquecimiento de sus aguas.

Eliminar la vegetación acuática, la cual aparte de provocar una excesiva evaporación, tiende a disminuir el área del lago.

Diseño de un programa para mejorar la explotación de sus diferentes recursos.

Realizar estudios intensivos que abarquen diversos aspectos de toda su dinámica, para tener un mejor conocimiento de sus problemas y dar más alternativas.

REFERENCIAS

- American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation (APHA-AWWA-WPCF), 1976. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14th. ed. U.S.A. 1193 pp.
- 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. Autón. México. 11: 415-513.
- BACHMANN, R. W., 1980. The role of agricultural sediments and chemicals in eutrophication. J. Water Poll. Contr. Fed. 52 (10): 2425-2431.
- BELLINGER, E. G., 1979. The response of algal populations to changes in lake water quality. In: Biological Indicators of Water Quality. James, A. and L. Evison eds. J. Wiley & Sons. Great Britain. 9.1-9.27 pp.
- BENNETT, M. A. y D. A. Humphries, 1974. Introducción a la Ecología de Campo. H. Blume Ediciones. Barcelona. 327 pp.
- BENSON, E. K. and P. F. Williams, 1975. Algae and Bryophytes. In: Ecological aspects of used-water treatment. I. The organisms and their ecology. Curds, C. R. and H. A. Hawkes eds. Academic Press. Great Britain. 153-202 pp.
- BLASQUEZ, 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: 1-156.
- BREHM, V., 1942. Plancton del lago de Pátzcuaro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 3 (1-4): 81-84.
- BUEN, F. De, 1940. Métodos de investigación planctónica seguidos en la Estación Limnológica de Pátzcuaro y primeros trabajos. Inform. Est. Limnol. Pátzc. 4: 1-11.
- BUEN, F. De, 1941. El lago de Pátzcuaro. Recientes estudios limnológicos. Rev. Geogr. Inst. Panam. Geogr. Hist. 1 (1): 20-44.
- BUEN, F. De y M. Zozaya, 1942. Variaciones del nivel de la superficie del lago de Pátzcuaro durante los años 1931 a 1941. Est. Limnol. Pátzc. 2 (1): 1-16.
- BUEN, F. De, 1944a. Limnobiología de Pátzcuaro. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. México. 15: 261-312.

- BUEN, F. De, 1944b. Los lagos michoacanos. II. Pátzcuaro. Rev. Soc. Méx. Hist. Nat. 2 (1-2): 99-125
- CABALLERO, J., N. Barrera, A. Lot y C. Mapes, 1981. Guías Botánicas de excursiones en México. Cuenca del lago de Pátzcuaro. Soc. Bot. Mex. A. C. 1-56.
- CABALLERO, J., 1981. Notas sobre el uso de los recursos entre los anti - guos purépecha. Biótica. 5 (4): 1-20.
- CARMICHAEL, W. W., 1981. The water environment. Algal toxins and health. Plenum. Press. New York. 491 pp.
- COLLINGWOOD, R. W., 1979. The effect of algal growth on the quality of - treated water. In: Biological indicators of water quality. James, A. y L. Evison eds. J. Wiley & Sons. Great Britain. 10.1-10.19 pp.
- COLLINS, G. B. y C. I. Weber, 1978. Phycoperiphyton (algae) as indicators of water quality. In: AIBS Symposium on plankton and periphyton as indicators of water quality. Trans. Amer. Microscop. Soc. 97 (1): 36-43.
- DANIEL, W. W., 1980. Bioestadística. Ed. Limusa. Mexico. 291-324 pp.
- DRESSCHER, G. N. y H. Mark, 1980. Experience with a sample method for the biological evaluation of surface water quality. Hydrobiologia. 71: 169-173.
- FJERDINGSTAD, E., 1963. Limnological estimation of water pollution levels. WHO/EBL. 10: 1-29.
- FJERDINGSTAD, E., 1965. II. Taxonomy and saprobic valency of benthic phy- tomicroorganisms. Hydrobiologia. 50: 475-604
- GOLDMAN, Ch. R. y R. G. Wetzel, 1963. A study of the primary productivity of Clear Lake, Lake County, California. Ecology. 44 (2): 283-294.
- GREEN, R. H., 1979. Sampling design and statistical methods for environmen- tal biologists. J. Wiley & Sons. U.S.A. 95-102 pp.
- HALLEGRAEFF, G. M., 1977. A comparision of different methods used for the quantitative evaluation of biomass of freshwater phytoplankton. Hydrobiologia. 55 (2): 145-165
- HASLER, A. D., 1947. Eutrophication of lakes by domestic drainage, Ecology. 28 (4): 383-395.

- HERGENRADER, G. L., 1980. Eutrophication of the Salt Valley Reservoirs, 1968-1973. I. The effects of eutrophication on standing crop and composition of phytoplankton. Hydrobiologia, 64 (2): 105-121.
- HERRERA, B. E., 1979. Características y manejo del lago de Pátzcuaro, Mich. Tesis (Licenciatura). Fac. Ciencias, Univ. Nal. Autón. México. 62 pp.
- HICKMANN, M., 1979. Seasonal sucession, standing crop and determinants of primary productivity of the phytoplankton of Ministik Lake, Alberta, Canada. Hydrobiologia, 64 (2) 105-121.
- HOLLAND, R. E., 1968. Correlation of Melosira species with trophic conditions in Lake Michigan. Limnol. & Oceanogr, 13: 555-557.
- HUTCHINSON, G. E., 1944. Limnological studies in connecticut. VII. A critical examination of the supposed relationship between phytoplankton periodicity and chemical changes in lake waters. Ecology, 25 (1): 3-26.
- HUTCHINSON, G. E., R. Patrick y E. S. Deevey, 1956. Sediments of lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico. Bull. of the Geol. of Amer. 67: 1491-1504.
- HUTCHINSON, G. E., 1967. A treatise on Limnology. II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. J. Wiley & Sons. New York. 1115 pp.
- KETCHUM, B. H., 1939. The development and restoration of deficiencies in the phosphorus and nitrogen composition of unicellular plant. J. Cell. Comp. Physiol. 13: 373-381.
- LARA, V. A., 1974. Aspectos del cultivo extensivo e intensivo del pescado blanco de Pátzcuaro, Chirostoma estor Jordan 1879. In: La agricultura en América Latina. Actas del Simposio de Montevideo. FAO. Roma, 1977. 113-116.
- LOWE, R. L., 1974. Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. U. S. Environm. Protect. Ag. Cincinnati, Ohio. 334 pp.
- MAPES, C., G. Guzmán y J. Caballero, 1981. Etnomicología Purépecha. Serie Etnobotánica. Sría. Educ. Publ., Soc. Mex. Micol., Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México. 79 pp.
- MARGALEF, R., 1977. Ecología. 2a. edición. Ed. Omega. Barcelona. 435-473 pp.
- MATSUI, T. y J. Yamashita, 1939. Informe rendido por el Ing. T. Yamashita, sobre investigaciones realizadas en el lago de Pátzcuaro. Bol. del Depto. Forestal, Caza y Pesca. 1 (14): 91-100.

- MAZARI, H. M., 1981. Evaluación de la calidad del agua desde el punto de vista bacteriológico y fisicoquímico en el lago de Pátzcuaro, Mich. Tesis (Licenciatura). Fac. Ciencias, Univ. Nal. Autón. México. 53 pp.
- MILLER, W. E., T. E. Maloney y J. C. Greene, 1974. Algal productivity in 49 lake waters as determined by algal assays. Water Research. 8: 667-679.
- MOSS, B., 1967. A note on the estimation of chlorophyll a in freshwater algal communities. Limnol. & Oceanogr. 12 (2): 340-342.
- MOYA, R., 1970. La pesca en el lago de Pátzcuaro. Técnica Pesquera. 3 (32): 23-29.
- ODUM, E. P., 1971. Ecología. 3a. edición. Ed. Interamericana. México. 639 pp.
- OSORIO-TAFALL, B. F., 1941a. Materiales para el estudio del microplancton del lago de Pátzcuaro, (México). Esc. Nal. Cienc. Biol. 2 (2-3): 331-384.
- OSORIO-TAFALL, B. F., 1941b. Polimorfismo y epifitismo en diatomeas planctónicas de Pátzcuaro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 2 (2-3): 137-146.
- OSORIO-TAFALL, B. F., 1944. Biodinámica del lago de Pátzcuaro. I. Ensayo de interpretaciones de sus relaciones tróficas. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 5 (3-4): 197-227.
- PALMER, C. M., 1959. Algas en abastecimientos de agua. Depto. Sanidad Interamericana, S. A. México. 91 pp.
- PATRICK, R., 1953. Aquatic organisms as an aid in solving waste disposal problems. Sew. and Indust. Wastes. 25 (2): 210-217.
- PATRICK, R., 1973. Use of algae, especially diatoms, in the assessment of water quality. In: Biological methods for the assessment of water quality. Cairns, J. Jr. y K. L. Dickson eds. Amer. Soc. Test. & Mat. 528: 76-95.
- PEARSALL, W. H., 1932. Phytoplankton in the English Lakes. II. The composition of the phytoplankton in relation to dissolved substances. Ecology. 20: 241-262.
- PESSON, P., 1976. La pollution des eaux continentales. Incidence sur les Biocenoses aquatiques. Gauthier-Villars. Paris. 285 pp.
- PRESCOTT, G. W., 1980. How to know the freshwater algae. 3th. ed. The Picture Key Nature Series. U. S. A. 293 pp.

- RAWSON, D. S., 1956. Algal indicators of trophic lake types. Limnol. & Oceanogr. 1 (1): 18-25.
- REID, G. K. y R. D. Wood, 1976. Ecology of inland waters and estuaries. 2nd. ed. D. Van Nostrand, Co. U. S. A. 485 pp.
- RHODE, W., 1948. Environmental requirements of freshwater plankton algae. Symbol. Bot. Upps. 10 (1): 1-49
- ROHLF, F. J. y R. R. Sokal, 1969. Statistical Tables. W. H. Freeman and Company. U. S. A. 253 pp.
- ROSAS, M. M., 1970. Pescado blanco (*Chirostoma estor*). Inst. Nal. Invest. Biol. Pesq. Sría. Ind. Com. México. 2: 1-79.
- ROSAS, M. M., 1976. Datos biológicos de la ictiofauna del lago de Pátzcuaro, con especial énfasis en la alimentación de sus especies. In: Mem. Simp. sobre Pesq. en Aguas Cont. 2: 299-366.
- SCHWARTZKOPF, S. H. y G. L. Hergenrader, 1978. A comparative analysis of the relationship between phytoplankton, standing crops and environmental parameters in four eutrophic prairie reservoirs. Hydrobiologia. 59 (3): 261-273.
- SCHWOERBEL, J., 1975. Métodos de Hidrobiología. 1a. ed. H. Blume Ediciones. Barcelona. 68-87 pp.
- SNEDECOR, G. W. y W. G. Cochran, 1978. Métodos Estadísticos. Cía. Edit. Cont. S. A. México. 175-249 pp.
- SOLORZANO, P. A., 1955. La pesca en el lago de Pátzcuaro, Mich. y su importancia económica regional. Dir. Gral. de Pesca. Sría. de Marina. México. 1-70.
- SOLORZANO, P. A., 1961. Contribución al conocimiento de la biología del charal prieto del lago de Pátzcuaro, Mich. Dir. Gral. de Pesca. Sría. de Ind. y Com. México. 1-70.
- SOLORZANO, P. A., 1963. Algunos aspectos biológicos del pescado blanco del lago de Pátzcuaro, Michoacán (*Chirostoma estor* Jordan, 1879). Inst. Nal. Inv. Biol. Pesq. (4): 7-12.
- SOLTERO, R. A., A. F. Gasperino y W. G. Graham, 1974. Chemical and physical characteristics of a eutrophic reservoir and its tributaries: Long Lake, Washington. Water Research. 8: 419-431.
- SØNDERGAARD, M. y K. Sand-Jensen, 1979. Physico-chemical environment, phytoplankton biomass and production in oligotrophic, softwater Lake Kalgaard, Denmark. Hydrobiologia. 63 (3): 241-253.

- STOERMER, E. F., 1978. Phytoplankton assemblages as indicators of water quality in the Laurentian Great Lakes. In: Symposium on plankton and periphyton as indicators of water quality. Weber, C. I. y J. O. Corliss eds. Trans. Amer. Microscop. Soc. 97 (1): 2-16.
- TEILING, E., 1955. Algae some mesotrophic phytoplankton indicators. Proc. Int. Assoc. Limnol. 12: 212-215.
- TOLEDO, V. M., J. Caballero, C. Mapes, N. Barrera, A. Argueta y M. A. Núñez, 1980. Los purépechas de Pátzcuaro: una aproximación ecológica. América Indígena. 40 (1): 1-191.
- U. S. Environmental Protection Agency, 1972. Water quality criteria, 1972. Ecological Research Series. Washington, D. C. 594 pp.
- U. S. Environmental Protection Agency, 1975. Model state water monitoring program. Water Monitorin Task Force. U.S.A. IV-3 - IV-8.
- VALLENTYNE, J. R., 1978. Introducción a la Limnología. Edit. Omega. Barcelona. 169 pp.
- VAN NULAND, G. J. y J. F. G. M. Meis, 1980. Comparision of a few systems for the determination of saprobic and trophic degree on the basis of plankton data. Hydrobiologia. 70: 251-256.
- VOLLENWEIDER, R. A., 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. 2nd. ed. Blackwell Scientific Publications. Great Britain. 225 pp.
- WARD, H. B. y G. C. Whipple, 1959. Freshwater biology. 2nd. ed. J.Wiley & Sons. U.S.A. 1-189 pp.
- WEBER, C. I., 1958. Some measurements of primary production in East and West Okoboji Lakes, Dickinson County, Iowa. Proc. Iowa Acad. Sci. 65: 166-173.
- WEBER, C. I., 1971. A guide to the common diatoms at water pollution surveillance system stations. E. P. A. Cincinnati, Ohio. 101 pp.
- WEBER, C. I., 1973a. Biological field and laboratory methods for measuring the quality of surface waters and effluents. E. P. A. Cincinnati, Ohio. 1-20 pp.
- WEBER, C. I., 1973b. Recent developments in the measurement of the response of plankton and periphyton to changes in their environment. In: Bioassay techniques and environmental chemistry. Glass, G. ed. Ann. Arbor. Science Publ. 119-138 pp.
- WEBER, C. I., 1979. The status of methods for the analysis of chlorophyll in periphyton and plankton. E. P. A. Cincinnati, Ohio. 87 pp.

- WELCH, P. S., 1952. Limnology. 2nd. ed. Mc. Graw-Hill-Book-Co. New York. 538 pp.
- WELCH, E. B., 1980. Ecological effects of waste water. Cambridge University Press. U.S.A. 257-261 pp.
- WETZEL, R. G., 1975. Limnology. WB Saunders Co. U.S.A. 743 pp.
- WHITTAKER, R. H., 1975. Communities and ecosystems. 2nd. ed. Mac Millan Publishing Co., Inc. New York. 325-334 pp.
- WILBER, Ch. G., 1969. The biological aspects of water pollution. Charles C. Thomas Pub. Illinois, U.S.A. 224-240 pp.
- WILLIAMS, L. G., 1964. Possible relationships between plankton-diatom species number and water-quality estimates. Ecology. 45 (4): 809-823.
- WILLIAMS, L. G., 1972. Plankton diatom species biomass and the quality of American rivers and the Great Lakes. Ecology. 53 (6): 1038-1050.