

15  
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"

ASPECTOS HIDROBIOLOGICOS DE LA PRESA  
"EMILIANO ZAPATA", MORELOS, MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
B I O L O G O  
P R E S E N T A N :  
GONZALEZ RAMIREZ JOSE MANUEL  
LOPEZ GARCIA ALVARO

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. JOSE LUIS GOMEZ MARQUEZ

U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A



LA UNAM  
EN MORELOS

MEXICO, D. F.

DICIEMBRE DE 1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

ALVARO

ESTE TRABAJO ESTA DEDICADO A:

MIS PADRES:

Salvador López Sierra  
Y  
Virginia García Hernández

Por su cariño, comprensión y por el  
apoyo incondicional que en toda mi vida  
me han brindado.

A MI SOBRINO:

El "pequeño" Beto

Quién con su llegada le dio nueva alegría  
a la familia.

**ESTE TRABAJO ESTA DEDICADO A:**

**A MIS PADRES:**

Juan González Razo  
Y  
Rubicelia Ramirez Ledezma

Por su:

Amor, cariño y dedicacion en las etapas iniciales de mi vida.

Guía, consejo y comprensión en las etapas difíciles de mi vida.

Ayuda incondicional para conseguir las metas trazadas en mi vida

Y por la mas preciada herencia mi carrera profesional

**A MIS ABUELOS**

J. Carmen Gonzalez Cardenas

Maria Razo Ruiz

Fidel Ramirez Lara

Sara Ledezma Ledezma

Erasmo Gonzalez Arredondo

Maria Ledezma Ledezma

Por ser la base de la educación y ejemplo que recibí de mis padres además de haber cumplido mi promesa hecha a los que ya se adelantaron en el camino esperando que sean participe de este éxito.

♠

♠

♠

♠

**A MIS HERMANAS:**

Sara, Ma. del Carmen y Adriana Patricia.

Por sus alicientes palabras para seguir adelante en todo lo que he realizado así como el amor y cariño brindados.

Así como a mi sobrina Blanca Rubi por ser como una bendicion para mi familia.

**A MIS AHIJADOS:**

Diego, Fernando, Irvin, Tania, y Gaby por su cariño y estímulo para seguir adelante esperando que este proyecto les marque una linea a seguir en lo futuro. Así como a mis compadres por la confianza depositada.

**A TODOS MIS  
SOBRINOS:**

Por su cariño y amor sin barreras esperando que sigan así con esa inocencia, fuerza y entereza sabiendola encaminar para lograr sus metas a futuro

## AGRADECIMIENTOS

- A la FES ZARAGOZA por el apoyo económico y las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.
- A la SEMARNAP por el apoyo económico brindado, así como a la S.S.S. Emiliano Rivalpalacio Morales de Tilzapotla Morelos por todas las facilidades proporcionadas para llevar a cabo este proyecto.
- Al M. en C. José Luis Gómez Márquez por su asesoría en la realización de este trabajo así como la amistad y apoyo que siempre nos brinda.
- A la Biol. Bertha Peña Mendoza por la ayuda y colaboración brindada.
- A los Sinodales: Dr. Isaias H. Salgado Hugarte, Biol. Antonio Valencia Hernández, y Guillermo Blancas Arroyo por sus acertados comentarios para el mejoramiento de este trabajo.
- A los profesores que de alguna manera contribuyeron en nuestra formación como profesionistas.
- A las profesoras Aida Zapata Cruz y María de la Luz López Martínez por el apoyo recibido durante la carrera.
- A Silvia Ramos por su colaboración en el trabajo de campo y en la determinación de algunos parámetros.
- Al laboratorio de limnología, amigos y compañeros en especial a Alejandro, Juan, Meche, Mirsa y Pedro.
- A nuestros compañeros de toda la carrera Miriam, Rubén, Clemencia, Daniel, Paty, Jorge, Rocío, Francisco, Raúl con quien hemos compartido grandes momentos esperando que así siga siempre.

## INDICE

a).- Resumen.....	1
b).- Introducción.....	2
c).- Antecedentes.....	5
d).- Localización Geográfica.....	10
e).- Objetivos.....	12
f).- Material y Método.....	13
f <sub>1</sub> ).- Fase de campo.....	14
f <sub>2</sub> ).- Fase de laboratorio.....	15
f <sub>3</sub> ).- Fase de gabinete.....	16
g).- Resultados.....	20
g <sub>1</sub> ).- Morfometría y batimetría.....	21
g <sub>2</sub> ).- Parámetros físicos y químicos.....	23
g <sub>3</sub> ).- Nutrientos.....	31
g <sub>4</sub> ).- Plancton.....	36
g <sub>4.1</sub> ).- Fitoplancton.....	36
g <sub>4.2</sub> ).- Zooplancton.....	47
h).- Análisis de resultados.....	51
h <sub>1</sub> ).- Morfometría y batimetría.....	52
h <sub>2</sub> ).- Parámetros físicos y químicos.....	54
h <sub>3</sub> ).- Nutrientos.....	61
h <sub>4</sub> ).- Plancton.....	68
h <sub>4.1</sub> ).- Fitoplancton.....	68
h <sub>4.2</sub> ).- Zooplancton.....	73
i).- Conclusiones.....	76
j).- Bibliografía.....	77

## RESUMEN

Se realizaron muestreos mensuales en la presa "Emiliano Zapata", Mor. de Noviembre de 1994 a Octubre de 1995 para conocer la dinámica del sistema durante un ciclo anual. El embalse presenta una área superficial de 13.2371 Ha, volumen de 507,409 metros cúbicos con una profundidad máxima de 17 m, perímetro de 2526.4 m y desarrollo de la línea de costa de 1.95. Se clasificó como cuerpo de agua monomictico cálido y holomictico, con un periodo de circulación (Octubre a Marzo) y otro de estratificación (Abril a Septiembre). La mayoría de los factores físicos y químicos se vieron influenciados por la época de lluvias y el estiaje, algunos aumentaron su concentración y otros la disminuyeron (salvo en alcalinidad, amononio, sulfatos y cloruros en los que no se vio ningun efecto). Dichas concentraciones en general se encuentran dentro de los limites tolerables para la vida acuática y permisibles para su uso en el riego. Por la calidad del agua el sistema se caracterizó de tipo mesotrófico. Se registraron 26 especies de fitoplancton incluidas en 4 divisiones: Cyanophyta, Chromophyta (Bacillariophyceae), Euglenophyta y Chlorophyta, de las cuales *Chroococcus minutus* fue la más abundante. La mayor diversidad de especies se registró en Septiembre. Para el zooplancton se identificaron 11 géneros pertenecientes a tres grupos: cladóceros, rotíferos y copépodos, siendo éste último el más abundante y representado por *Limnocalanus sp.*

## INTRODUCCION

De los recursos de nuestro planeta uno de los más importantes y que ocupa casi el 71 % de la superficie del mismo es el agua, de ésta sólo se encuentran pequeñas cantidades de agua dulce, cuya importancia básica reside en la manutención de la vida terrestre, recurso que se agota debido a su utilización de manera exponencial (Wetzel, 1981); es por esto que dentro de la ciencia, la limnología juega un papel importante, ya que se encarga del estudio de las aguas epicontinentales que son indispensables para preservar este recurso.

A nivel mundial existe una gran preocupación por la calidad de las aguas epicontinentales ya que además de la contaminación creciente, se lleva a cabo la fertilización paulatina de las aguas naturales por el aporte externo de substancias, lo cual la perjudica. Esta calidad se determinará de acuerdo al uso que se le dé a este recurso.

En las últimas décadas el gran crecimiento demográfico y el desarrollo industrial son las principales fuentes de contaminación tanto en los lagos naturales como en las presas. Las alteraciones más notorias en las características ecológicas consisten en la acumulación de nutrimentos solubles y de sedimentos insolubles como consecuencia de una deficiente conservación de los suelos en la cuenca del embalse, el agotamiento del oxígeno en las capas profundas, la fertilización y enverdecimiento del agua, se puede decir que estas han nacido como resultado de la civilización y desde un principio estos cuerpos de agua están condenados a la fertilización o eutrofización (su sinónimo técnico) que a veces aparece y aumenta con mucha rapidez, por lo que estos cuerpos de agua tienen tiempo de vida corto, esto aunado a la utilización de estas aguas para actividades agrícolas, determinan la tasa de renovación de estos sistemas (Margalef, 1976), a su vez que plantean otros problemas, la posibilidad de extraer un beneficio a través de la pesca y de otras formas de explotación, lo que exige medidas de conservación y corrección para la manutención de estos embalses.

En todo el mundo existen gran cantidad de cuerpos de agua epicontinentales, algunos que se presentan de manera natural y otros son construidos específicamente para satisfacer necesidades primordialmente alimentarias y actividades agrícolas de algunas poblaciones en constante crecimiento (Paaby, 1995), algunos de estos ecosistemas en países de Asia, Africa y el Este de Europa son importantes centros de producción intensiva de proteína animal.

En México a la par de su desarrollo socioeconómico, los recursos hidrológicos juegan un papel primordial dentro de estas actividades ya que se obtienen algunos beneficios, como la producción de energía eléctrica y de proteína animal a muy bajo costo, pero la gran diversidad fisiográfica y climática del territorio nacional hacen que el agua no este distribuida de manera regular, es por esto que en regiones donde el agua es escasa, el hombre ha tenido que construir embalses o reservorios para satisfacer diversas necesidades, primordialmente las de producción de alimento (Flores, 1994).

Desde el punto de vista biológico un embalse equivale, hasta cierto punto a un lago artificial y puede estudiarse por comparación con un lago natural, con pocas reservas se podría definir a un embalse como el híbrido de río y lago (Margalef, 1976).

En los cuerpos de agua, los estudios cualitativos y cuantitativos en la actividad acuícola son de mucha importancia para optimizar los rendimientos biológicos y económicos. Una evaluación completa debe basarse en la observación apropiada de los tres mayores componentes que los caracterizan el hidrológico, físico-químico y biológico. La calidad de un cuerpo de agua se puede definir como una batería de indicadores relacionados a la concentración de algunas sustancias orgánicas e inorgánicas, a la composición y el estado de la biota encontrada en el mismo (Flores, 1994). El plancton dulceacuícola juega un papel importante dentro del ecosistema, ya que fija la energía proveniente del sol y transforma a energía útil para los siguientes eslabones de la cadena alimenticia, además de poder ser utilizados como indicadores de distintas combinaciones de algunas características físico-químicas del agua (González, 1988).

Por otro lado la calidad del agua se utiliza con el fin de agrupar simplificadaamente algunos parámetros capaces de indicar su deterioro, sin embargo, es un término difícil de precisar debido a que depende de los usos que se le den al agua, como por ejemplo, el agua de "buena" calidad para el crecimiento de algas, puede no ser igualmente "buena" para beber (Wheaton, 1982).

México recibe una precipitación media anual de 777 mm, equivalente a un volumen aproximado de 1 billón 570 mil millones de  $m^3$  pero varía en forma considerable tanto espacial como temporalmente. De ese volumen, 1 billón 120 mil millones de  $m^3$  retornan a la atmósfera por evaporación, 410 mil millones de  $m^3$  se escurren superficialmente y 40 mil millones se infiltran en el suelo para recargar los mantos acuíferos. La infraestructura hidráulica construida durante los últimos 65 años proporciona una capacidad de almacenamiento de 150 mil millones de  $m^3$  equivalente al 37% del escurrimiento medio anual.

En México existen una gran cantidad de cuerpos de agua los cuales pueden ser aprovechados para la piscicultura, agricultura, etc. y con ello solucionar de cierta manera el problema alimentario de la población; uno de estos cuerpos de agua es la presa "Emiliano Zapata" ubicada en el estado de Morelos, en la cual se realiza el cultivo de tilapia *Tilapia nilotica* (Linnaeus, 1757 citado en Gómez, 1995) de manera extensiva y se mantiene a través de programas de repoblamiento por parte de la Secretaría de Pesca del Estado, ya que se aprovecha para comercializarla desde el punto de vista del consumo local y a nivel regional. En 1993 por medio de esta actividad el estado de Morelos obtuvo 1897 toneladas, representando el 1.14 % de la producción total (Gómez, 1995).

Esta presa fue construida por el gobierno del estado de Morelos en 1969 y 1970, para el aprovechamiento de las aguas de varios arroyos que confluyen al vaso, siendo los más importantes "La Joya", "La Piraña" y "El Grillo" y, de esta manera incorporar al riego 83 hectáreas de cultivo de propiedad ejidal (SARH, 1992). Este sistema presenta problemas de contaminación provocado por aguas negras vertidas a la presa de manera indirecta, estas afectan la calidad del agua así como a la comunidad ictica y tomando en consideración que son consumidas por la población, esta a su vez es afectada (Gómez,1995).

Es por esto que en el presente estudio en la presa "Emiliano Zapata" se trata de conocer algunos aspectos hidrobiológicos, primeramente con el fin de evaluar la calidad del agua, para posteriormente proponer alternativas de uso de este cuerpo de agua.

## **JUSTIFICACION**

La importancia de los trabajos de este tipo radica en el conocimiento de los factores que intervienen en la eutrofización de los cuerpos de agua, afectando con esto a todo el sistema y modificando drásticamente el posible uso potencial del agua, aunado a la crisis actual de este recurso, los mantos acuíferos están sufriendo una sobrexplotación, tanto para el uso agrícola como para el consumo humano y para el manejo de los recursos pesqueros, porque proporciona información sobre los cambios tróficos que ocurren en un sistema y su relación con la producción, el crecimiento y la reproducción, ya que los organismos acuáticos juegan un papel importante en los sistemas ecológicos.

Asimismo, es importante el conocimiento de los factores que afectan a todo el sistema y modifican drásticamente la calidad del agua que, acentuado con los desechos contaminantes que se vierten en algunos sistemas de manera directa e indirecta, provocan un foco de infección no solo en el agua que muchas veces se usa para riego agrícola, sino también en el producto pesquero que sirve de alimento para la población y que por la mala calidad del mismo, puede producir muchas enfermedades gastrointestinales. Toda la información recabada permitirá dar un panorama general para evaluar y proponer alternativas de solución apoyado con otro tipo de estudios como impacto ambiental, contaminación, etc para una conservación, explotación de los recursos acuáticos, y aprovechamiento de los mismos en beneficio de la población, contando con el apoyo de las autoridades competentes.

## ANTECEDENTES

En México existe un gran número de cuerpos de aguas epicontinentales (presas, embalses, ríos y lagos). En 1988 la Dirección General de Acuacultura informó de la existencia de 1,280,000 Ha de las cuales el 50 % es representado por presas (Arredondo, 1992), la mayoría de estas en la actualidad presentan cambios en las condiciones limnológicas los cuales son originados y acelerados por la acción humana. Estos cambios anteriormente se presentaban durante milenios y ahora en la actualidad son experimentados en pocos años, todo esto por diversos factores como el crecimiento demográfico, el uso indiscriminado de herbicidas, abonos y plaguicidas en la agricultura, los desechos tóxicos de industrias asentadas cerca de los lagos, presas, etc. Debido a la erosión de los suelos y escurrimientos por las lluvias, mucha tierra y partículas vegetales son acarreadas y las descargas de aguas residuales de los poblados cercanos que se vierten sin ningún tratamiento, asolvan las cuencas y reducen su área de cobertura. Las consecuencias de las actividades anteriores se deben a un ataque sistemático, al grado que su deterioro es constante y acelerado, por lo que se dan modificaciones en los parámetros físicos, químicos y biológicos, provocando en las cuencas un acelerado envejecimiento conocido como eutrofización, afectando con esto la flora y fauna de los alrededores (De la Lanza y García, 1995). Algunos trabajos que se han realizado sobre estudios de embalses son los siguientes:

Lewis (1978) realizó un estudio de la composición fitogeográfica y un análisis estructural del fitoplancton en el lago Lanao, Filipinas y, encontró que la comunidad está compuesta por 12 especies de Cianofitas, 4 Euglenofitas, 44 Clorofitas, 1 Crisofita, 4 bacillariofitas, 3 dinofitas, y 2 Criptofitas. Menciona que en los lagos del sur-este de Asia se encuentran de 50 a 100 de las especies autótrofas euplancónicas, encontrando que de acuerdo a la literatura el lago Lanao presenta una alta biomasa en comparación con los promedios de los lagos tropicales.

Schelske (1979) menciona que el fósforo es indudablemente el principal nutriente que controla el crecimiento del fitoplancton en los lagos y, es el responsable de acelerar la eutrofización de las partes más profundas de los grandes lagos. Estudios publicados antes de 1970 proveen evidencias conclusivas de los papeles específicos del fósforo y otros nutrientes como los factores limitantes del crecimiento del fitoplancton; sin embargo, este papel que juega el fósforo se ha convertido actualmente en un tema controversial.

Charlton (1980) realizó una comparación entre el consumo de oxígeno en el hipolimnion y la productividad de los lagos en una relación basada en efectos multiplicativos de clorofila (productividad primaria) y temperatura sugiriendo que alrededor de un 50% de decremento en productividad, puede ser causado por bajas concentraciones de oxígeno.

Olafsson (1980) realizó el estudio de la química del agua y estructura de la temperatura en el lago caldera Oskjuvatn de 217 m de profundidad, este presentó evaporación del 6.3 %, es frío pero presenta una fuerte actividad termal a 80 m. de profundidad. La concentración de sólidos disueltos es alta y la distribución de componentes mayores es uniforme. Altas concentraciones de silicatos ( $110 \text{ mg l}^{-1}$ ) y cationes mayores ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ) son indicativos de reacciones con las lavas calientes dentro de la estructura del lago. La relación cloro-sulfato a razón de 0.05 por peso refleja la relativa abundancia de sulfuro y cloro en las emanaciones del volcán y el oxígeno disuelto, pH, manganeso y zinc presentan variaciones con la profundidad.

Edmonson y Lehman (1981) realizaron un estudio de los efectos del aumento de volumen sobre los cambios en los nutrimentos en las condiciones del lago Washington. El lago tuvo un aumento en los afluentes secundarios desde 1941 a 1963 y esto provocó cambios en la concentración de nutrimentos en el agua y de cierta manera la cantidad de fitoplancton. De 1963 a 1968 hubo un decremento progresivo en el número de afluentes y el lago respondió con una disminución en los nutrimentos, y como consecuencia en la cantidad de fitoplancton, lo cual indica que al tener control de los afluentes se puede controlar el proceso de eutroficación.

McCauley y Kalff (1981) construyeron modelos empíricos de la biomasa fitoplanctónica y zooplanctónica fundados sobre un análisis de regresión; de acuerdo a esto, obtuvieron que la proporción de la biomasa zooplanctónica a biomasa fitoplanctónica disminuye a medida que disminuye el fitopláncton y avalaron la hipótesis de que la variación de la biomasa del nanopláncton (que es la principal fuente de alimento de los crustáceos), puede explicar la variación de la biomasa de la comunidad de crustáceos zooplanctónicos.

Vera Herrera, *et al.*, (1981) determinan la dinámica hidrológica del embalse "Vicente Guerrero" mediante un estudio limnológico. La morfometría registró un promedio de 1066.5 hectáreas y un volumen promedio de 196.9 millones de  $\text{m}^3$ , la variación del volumen, área y profundidad alcanzó el 52.3, 34.8 y 23.4 por ciento respectivamente y el desarrollo de la línea de costa fue  $>3.8$ . De acuerdo a las temperaturas registradas se concluye que es un lago tropical, monomictico y holomictico donde la temperatura superficial fue de  $28.9 \text{ }^\circ\text{C}$  y en el fondo de  $24.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Las concentraciones de oxígeno corroboraron el periodo de estancamiento y el de circulación llevado a cabo por la temperatura. Por último la profundidad promedio de la capa oxigenada fue de 11.0 m y representa el 47% del volumen del embalse.

Lewis (1983) encontró deficiencias en la clasificación de lagos de Hutchinson-Löffler (1957) y las organiza bajo los siguientes títulos: a) Exclusión de lagos poco profundos, b) Relaciones insatisfactorias entre lagos tipo meromixis y los seis tipos básicos de lagos, c) Tratamiento excesivamente complejo de lagos tropicales y d) Dificultades en la clasificación de lagos fríos debido a los  $4^\circ\text{C}$  de limite en monomixis.

Esas deficiencias con cambios mínimos en terminología y fundamentación conceptual de la clasificación original, las remedia incorporando los siguientes factores: a) La dicotomía meromixis/holomixis es combinada con los seis tipos de lagos, b) Oligomixis es eliminado, c) Lagos poco profundos son puestos bajo la clasificación por definición de 4 tipos polimícticos, basados en la cubierta de hielo y frecuencia de mezclas.

Marquez J.A. (1985) realizó un estudio del comportamiento e interrelaciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos en la laguna de Coatetelco, Mor., la temperatura mostró gran regularidad ya que la diferencia entre la máxima y la mínima fue de 4°C, la dureza total mostró poca variación lo mismo que la transparencia; en cuanto al pH, la variación fue grande ya que osciló de 6.5 a 9, identificó 34 géneros de fitoplancton, y los valores altos de oxígeno disuelto concordaron con la mayor diversidad. Todos los valores indicaron claramente que a finales del periodo de lluvias se presentó la mejor calidad del agua.

En 1986 Arrredondo y Palafox estudiaron el comportamiento limnológico de un embalse temporal tropical, registrando 46 variables de tipo climático, morfométrico, físico-químico y biológico, las cuales fueron tratadas por medio de análisis de sistemas. Concluyeron que con dicho análisis empleando técnicas estadísticas multivariadas así como análisis de regresión múltiple se pudo determinar la conducta del embalse.

González (1988) describe la composición, distribución y peculiaridades de la vida plantónica de las aguas continentales, así como funcionamiento, interacciones, relaciones con el deterioro ambiental y métodos de estudio.

Cardenas *et al.* (1990) realizaron el estudio de algunos parámetros físicos - químicos, nutrientes y metales pesados en la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz para determinar el estado sanitario del sistema lagunar. Los rangos de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, DBO, alcalinidad, amonio y sulfatos fueron adecuados para el desarrollo normal de los organismos acuáticos, ya que no rebasaron los límites permisibles, pero los de DQO evidenciaron la presencia de materia orgánica e inorgánica químicamente degradable que indican un estado considerable de deterioro al que contribuyeron también los niveles de detergentes, y metales pesados ya que superaron en un gran porcentaje el límite de tolerancia en forma constante.

Granados (1990), analizó en tres diferentes ambientes acuáticos (Lago Coatetelco, Presa Emiliano Zapata y Bordo Zacualpan) el comportamiento del zooplancton (estado productivo, ritmo sucesional y estructura de la comunidad), así como la densidad del fitoplancton, concentración de clorofila y calidad del agua. Registró 13 especies del zooplancton los cuales por su comportamiento se distribuyeron en ambientes con marcadas diferencias en cuanto a productividad, alcalinidad, dureza, concentración de minerales, temperatura, y concluyó de acuerdo a los resultados del análisis de productividad fitoplanctónica y zooplanctónica así como de los parámetros físico-químicos, que el lago "Coatetelco" y el Bordo "Zacualpan" quedaron definidos como ambientes eutróficos y la presa "Emiliano Zapata" como ambiente mesotrófico.

Pérez y Torres-Orozco (1992) realizaron la geomorfología y batimetría del lago de Catemaco, Veracruz y encontraron que éste tiene una traza aproximadamente cuadrangular (DL =1.647) con un eje mayor de 12,320 m de longitud en dirección OSO-ENE y una anchura máxima de 10,250 m. La profundidad máxima es de 22 m, la superficie de 72.543 Km<sup>2</sup> , y el volumen de 551.52 millones de m<sup>3</sup>.

La profundidad media es de 7.6 m, el perímetro es de 49,754 m la forma de la cubeta se ajustó a una parábola elíptica. Se encontró que la rivera era irregular con remanentes de varias estructuras volcánicas, el lago aloja varias islas de material tobáceo productos de expulsión piroclástica.

Arredondo-Figueroa y Flores (1992) analizan las características limnológicas y la importancia de pequeños cuerpos de agua epicontinentales principalmente del sureste y de la meseta central de México como generadores de proteína animal, su manejo y su explotación en actividades acuícolas. Determinan que los embalses temporales y permanentes son los más numerosos y son aptos para el cultivo de peces en la fase de dilución, en las pozas areneras también se obtienen buenos rendimientos de especies nativas o exóticas, no así en las aguadas permanentes y en los cenotes que presentan condiciones poco favorables. Las pozas calizas a pesar de la dureza elevada que presentan son adecuadas para el cultivo en jaulas y sistemas de "granja". Por último concluyen que los estanques para la piscicultura se han incrementado en número y constituyen un potencial elevado debido a la facilidad en el control de los parámetros de la calidad del agua.

Magallón *et al.*, (1992) realizaron el análisis de variables físico-químicas y morfométricas de la Presa "Los Carros", Morelos para determinar sus características limnológicas. Obtuvieron un volumen aproximado de 10 millones de m<sup>3</sup> y una profundidad máxima de 30 m, se presentó una termoclina en el periodo de Marzo-Mayo con una estratificación muy frágil, la distribución del oxígeno siempre fue clino-grada y presentó una alta tasa de descomposición de materia orgánica, esta distribución influyó en los fosfatos, nitratos y sulfatos, la dureza estuvo relacionada con el régimen de lluvias. Llegaron a la conclusión de que debido a su reciente inundación el embalse se encontraba en proceso de estabilización

Molot *et al.*, (1992) describieron los perfiles del contenido medio de oxígeno disuelto al final de una estación en el hipolimnion de los lagos oligotróficos y oligomesotróficos y la estratificación térmica, con precisión por un modelo de regresión. El modelo integra los efectos de la morfometría, concentración del fósforo total y de concentraciones iniciales de oxígeno al final de la calda de la primavera y concluyeron que la morfometría ejerce una influencia importante en los perfiles del contenido de oxígeno. Las descripciones son sensibles a los cambios de concentración de fósforo total.

Robarts *et al.*, (1992) corroboraron en dos lagos (Humboldt, y Redberry) los modelos empíricos que indican que la productividad de las algas es reducida por producto de los contenidos de fósforo total con una concentración elevada de sulfatos.

Los contenidos medios de la clorofila representaron el 91.1% de la varianza de la productividad primaria de la zona eufótica dentro del lago Humboldt mientras que para el lago Redberry fue de 82.7%, ambos con una profundidad máxima de 6 m y 17 m respectivamente y determinaron que la importancia relativa de las variables para la zona eufótica se explica por las diferencias biológicas, físicas y químicas entre los lagos.

Umaña y Jiménez en 1995 realizaron un estudio de limnología básica en el lago Chato en Costa Rica localizado dentro de un cráter, registraron que este sistema alcanza una profundidad de 18.8 m, contiene una alta concentración de solutos atribuyéndolo a la lluvia y filtración subterránea, la columna de agua siempre estuvo estratificada con una curva ortógrada de oxígeno y condiciones de anoxia en el fondo. La biota estuvo constituida de 43 especies de fitoplancton compuesto principalmente por Clorofitas y otras algas de tamaño pequeño que dominaron, asimismo reportaron para zooplancton encontraron especies de cladóceros.

Mogollón *et al.*, (1993) determinaron la influencia que ejercen sobre los parámetros físico-químicos las épocas de lluvia, sequía y áreas intervenidas, se encontró que los primeros no afectan y los segundos si, aumentaron los promedios en conductividad y oxígeno disuelto en la época de sequía y consideran que el sistema presenta una óptima autodepuración debido a los procesos de dilución, intercambios catiónicos y reacciones ácido-base que requiere de tiempos que van de horas a meses.

Flores (1994) realizó la caracterización fisicoquímica del embalse "El Niagara", Aguascalientes y encontró que la calidad del agua de dicho lugar se deteriora debido a que en ella se descargan aguas residuales, lo que ha provocado cambios importantes en el comportamiento biótico del ecosistema con la indiferencia de los locatarios ante este problema.

Pia Paaby (1995) realizó una caracterización fisico-química de las aguas de 2 afluentes del embalse el Arenal en Costa Rica y su relación con el plancton. Encontró que el primer sistema se caracteriza por altos valores de sólidos suspendidos, conductividad, pH, oxígeno disuelto, fósforo, nitratos y también temperaturas más bajas que en el segundo sistema de afluentes. Concluyó que de acuerdo a las diferencias morfométricas y de profundidad hasta el final de la longitud de reservorio receptor los efectos de los afluentes en la dinámica de la población del plancton esta hipotetizado por consiguiente a variar.

## LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

La presa "Emiliano Zapata" se encuentra localizada en el ejido de Tilzapotla, perteneciente al municipio de Puente de Ixtla, en el extremo suroeste del estado de Morelos, situada entre los 18° 30'00" latitud norte y 99° 16' 34" longitud oeste a una altitud de 899 m.s.n.m.(Fig. 1). Tiene una cortina de tipo gravedad de sección semitrapecial con una capacidad de almacenamiento de 1,560,000 m<sup>3</sup>, capacidad de azolve de 10,000 m<sup>3</sup> y capacidad útil para riego de 1 550 000 m<sup>3</sup> El vaso tiene una pendiente media aproximada de 0.018 m (S.P.P. 1981).

### Climatología:

El tipo de clima de la región de acuerdo a Köppen modificado por García (1973) es AW<sup>w</sup> (W) y' marcha de temperatura tipo Ganges cálido subhúmedo, prevalentemente más húmedo, con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor a 5. La precipitación media anual fluctúa entre 800 y 1000 mm y la temperatura media anual registra un valor mayor de 22 °C; la precipitación máxima se presenta en septiembre con lluvias que oscilan entre 190 y 200 mm, la mínima se registra en Febrero, Marzo y Diciembre, la temperatura más alta se presenta en Mayo (26 a 27°C), y la más baja en Enero y Diciembre, con un intervalo de 20 a 21°C. (S.P.P. 1981).

### Geología:

El vaso está circundado desde el lado poniente hasta el sureste por formación de rocas sedimentarias que han originado suelos consistentes de arenisca y conglomerado. Desde el extremo noroeste hacia el sureste se extienden formaciones de rocas ígneas extrusivas ácidas, pertenecientes a la edad Cenozoica del periodo Cuaternario.

### Suelo:

El tipo de suelo que constituye el vaso es de tipo aluvial, la unidad de suelo que se encuentra alrededor la de la presa es Feozem háplico de textura media y regosol eútrico, siendo sus principales usos: la agricultura temporal, permanentemente anual, pastizal inducido y potrero.

### Vegetación:

El tipo de vegetación es el de selva baja subcadocifolia, y las especies que se presentan en la zona son *Bursera sp.*, *Cassia sp.*, *Ipomea sp.*, *Aristida sp.*, *Stevia sp.*, *Sporobolus sp.*, *Leucaena sp.* y también matorrales de *Opuntia sp.* entre otras.

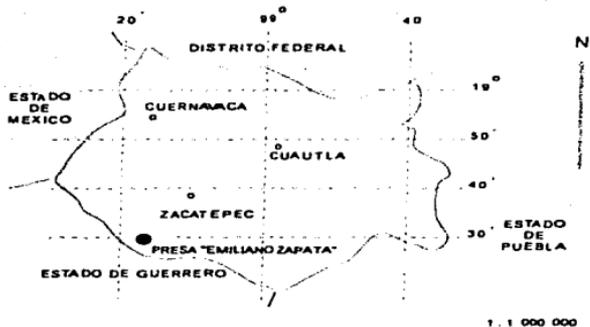


FIGURA 1. UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.

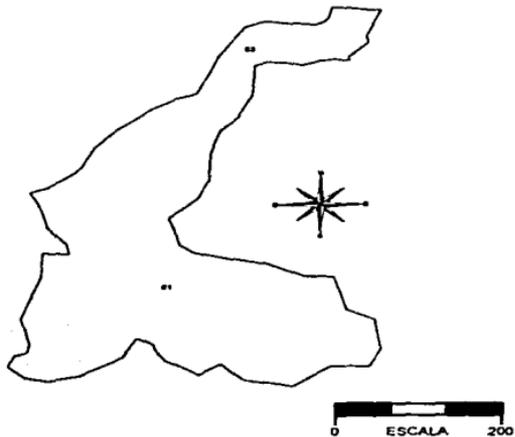


FIGURA 2. PRESA "EMILIANO ZAPATA"

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la variación física, química y biológica (fitoplancton y zooplancton) del embalse para evaluar la calidad del agua y el grado de eutroficación que éste presenta de manera espacial y temporal.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

Realizar la morfometría y la batimetría del embalse para determinar su forma y su capacidad total.

Determinar la composición física y química del ambiente acuático para establecer un criterio de calidad de acuerdo a los usos del cuerpo de agua.

Evaluar la variación estacional en biomasa del plancton (fitoplancton y zooplancton) y llevar a cabo su identificación hasta el nivel específico posible.

Por medio de un análisis estadístico aplicado a los factores morfométricos, físicos, químicos y biológicos describir la dinámica del embalse y su caracterización a través del tiempo.

## **MATERIAL Y METODO**

## MATERIAL Y METODO

El trabajo se dividió en tres fases:

- a) Fase de campo
- b) Fase de laboratorio
- c) Fase de gabinete

### FASE DE CAMPO:

Se trabajó en la presa Emiliano Zapata de Noviembre de 1994 a Octubre de 1995, tiempo durante el cual se muestreó periódicamente de manera estacional y mensual. Para el establecimiento de los sitios de muestreo se tuvieron en consideración varios factores como el área, volumen, profundidad, transparencia, corrientes, presencia de afluentes y efluentes así como la homogeneidad del cuerpo de agua, quedaron situadas como se muestra en la figura 2. En ambas estaciones el monitoreo se realizó a nivel superficial 0.3 m y a las profundidades de: 1 m, 2 m, 3 m, 5 m y fondo en la estación 1 mientras que en la estación 2 las mismas profundidades más 7 m, 9 m y fondo ya que ésta fue más profunda. Las profundidades dependieron del volumen del cuerpo de agua y se procuró realizarlas todas a la misma hora. Previamente se tomaron las características atmosféricas: Temperatura ambiente y nubosidad.

A continuación se procedió a la toma de muestra de agua mediante el uso de la botella Van Dorn de 2 l de capacidad para llevar a cabo la determinación de los siguientes parámetros físicos químicos y biológicos:

a.) Se midieron *in situ* temperatura ambiental y del agua con un termómetro de mercurio de  $\pm 0.1$  °C de precisión, pH con un potenciómetro de campo tipo Corning de  $\pm 0.01$  de precisión, conductividad con un conductímetro de campo marca conductronic de  $\pm 0.01$  de precisión y transparencia con el disco de Secchi.

a<sub>2</sub>) Químicos: Se tomó una muestra de agua en una botella de polivinilo de 1 l de capacidad para la determinación de gases y nutrientes. En específico, para la determinación de oxígeno disuelto se tomó una muestra en una botella de DBO de 300 ml de capacidad y se fijó *in situ* para su posterior valoración. Una vez obtenidas las muestras se conservaron en refrigeración y fueron trasladadas al laboratorio donde se realizaron la determinaciones.

a<sub>3</sub>) Biológicos: Zooplancton, se obtuvo con una red para zooplancton tipo Wilconsin con una abertura de malla de 150 micras y diámetro superior de 30 cm, se deslizó en forma horizontal y superficial dentro del agua a una velocidad de 1 m/seg en un intervalo de 10 m.

Una vez obtenida la muestra se fijó con solución de formalina al 4% neutralizada con borato de sodio para su posterior análisis en el laboratorio (Laevastu, 1971; Schrowerbel, 1975).

Para el Fitoplancton se obtuvo una muestra de 100 ml a través de una botella Van Dorn. Se colocó en una botella de polietileno a la cual se le agregaron 10 gotas de solución acuosa concentrada de ioduro potásico (sol. de lugol) y se guardó en la obscuridad para su posterior análisis (Schrowerbel, 1975).

**Morfometría:**

Para obtener el contorno del cuerpo de agua se usó una brújula tipo Branton y una cinta métrica con la cual se midió el contorno del cuerpo de agua, tomando como referencia los puntos inicial y final, anotando el rumbo y la distancia entre los puntos sobre la línea de costa. (Wetzel and Likens, 1991).

**Batimetría:**

Se determinó por un sondeo manual de profundidad a lo largo de transectos paralelos tomados a lo ancho del sistema. En cada uno de ellos se tomó la profundidad a intervalos de 10 m misma que fue medida con una cuerda y una plomada de 30 a 40 cm de diámetro.

**FASE DE LABORATORIO.**

Se llevo a cabo el análisis cualitativo y cuantitativo de los siguientes parámetros químicos, biológicos y nutrimentos que a continuación se mencionan (APHA 1980, SARH, 1992):

QUIMICOS	METODO
Oxígeno:	Winkler (modificación/azida de sodio)
CO2	Titrimétrico
Alcalinidad:	Indicadores.
Dureza total :	Complejométrico.
DBO:	Incubación a 20 °C.
DQO:	Volumétrico.

NUTRIENTES	METODO
Amonio	Fenato
Nitritos	Ac. Sulfanilico
Nitratos	Ac.Fenoldisulfónico
Cloruros	Argentométrico
Ortofosfatos	Fosfomolibdato
Fosforo total	Cloruro estanoso
Silicatos	Molibdo-silicato
Sulfatos	Turbidimétrico
Sulfuros	Yodométrico
Sólidos suspend.	Gavimétrico
Sólidos sediment.	Volumétrico
Sólidos totales	Gavimétrico
Sólidos disueltos	Diferencia St.-Ss.

### Parámetros biológicos

Para el análisis del fitoplancton se tomó una alícuota de 1.5 ml y se colocó en una cámara de sedimentación durante 24 hr para su posterior observación en el microscopio invertido (con un lente de 40X de aumento) aplicando la técnica de Utermohl, (Schwoerbel, 1975). A continuación se llevó a cabo la cuantificación e identificación de los organismos fitoplanctónicos mediante las claves propuestas por Needham y Needham (1972) y Ortega, (1984).

De la muestra recolectada para el zooplancton se tomó otra alícuota de un mililitro y se colocó en una cámara de observación tipo Sedgwick-Rafter. Para su cuantificación e identificación se utilizó un microscopio óptico (con un lente de 10X) y las claves propuestas por Needham y Needham (1972), Edmonson (1959) y Pennak (1978).

### FASE DE GABINETE:

#### Análisis Estadístico:

A los datos de todos los factores físicos, químicos, nutrimentos y biológicos se les aplicó la prueba de Bartlett, (Sokal and Roff, 1969) para determinar si cumplían los supuestos de la homocedasticidad y normalidad con una  $p < 0.05$ . Se utilizó el análisis de kruscall-Wallis para determinar si existía diferencia significativa en los datos obtenidos entre niveles y estaciones (Marques, 1988), a cada uno de los parámetros físicos, químicos y biológicos, su representación se realizó por el método gráfico de pastel, espacio-tiempo, área, XY y diagrama de escalera.

Para determinar la biomasa y distribución de los parámetros biológicos se realizó lo siguiente:

**Zooplankton:**

Primeramente se calculó el volumen de agua filtrada a través de la red de captura mediante la fórmula:Wetzel and Likens (1991). Esta se basa en el cálculo del volumen de un cilindro, figura geométrica que se asemeja a la forma de la red utilizada.

$$v=11r^2d$$

Donde:

V= Volumen filtrado de agua.

r= Radio de la boca de la red.

d= Longitud del trayecto de desplazamiento de la red.

El número total de organismos por mes se determinó extrapolando el número total de organismos leídos en la cámara por mililitro y el volumen total filtrado.

**Fitoplancton:**

Se calculó mediante las siguientes fórmulas: Wetzel and Likens (1991).

Densidad=# de individuos de una sp dada por cuadrante(o total de individuos

Area del campo

Densidad relativa= # de individuos de una sp X 100  
No total de todos los individuos en el campo

De las mediciones obtenidas de la morfometría y batimetría se determinaron los siguientes factores: (Hutchinson 1957, Wetzel, y Likens 1991).

a) Profundidad máxima ( $Z_m$ ).

La profundidad más grande del lago.

b) Profundidad relativa ( $Z_r$ ).

La máxima profundidad como porcentaje del diámetro medio.

$$Z_r = \frac{50Z_m \sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}}$$

c) Volumen (V).

Mediante la fórmula:

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$$

Donde:

h= Profundidad vertical (espesor) del estrato en m.

$A_1$ = Área de la superficie alta en  $m^2$ .

$A_2$ = Área de la superficie más baja del estrato en  $m^2$ .

d) Longitud máxima (L).

Es la máxima distancia en la superficie del lago entre dos puntos sobre la línea de costa.

e) Long. línea de costa (SL).

Es la longitud medida del contorno y es obtenida de manera directa por la medida del mapa.

f) Anchura máxima (b).

Es la máxima distancia en la costa, perpendicular a la línea de longitud máxima.

g) Profundidad media ( $\bar{z}$ ).

El volumen dividido entre el área superficial a profundidad cero.

$$\bar{z} = \frac{V}{A_0}$$

h) Área ha (A).

Se realizó por el método de corte y peso.

i) Desarrollo de la línea de costa ( $D_L$ ).

El radio de la longitud de la línea de costa a la longitud de la circunferencia de un círculo cuya área es igual:

$$r = \frac{SL}{2\sqrt{\pi A_0}}$$

Se aplicó diagrama de escalera para establecer la relación que guardan los parámetros físicos y químicos así como los nutrimentos con el fitoplancton.

Se determinó a los organismos fitoplanctónicos de manera mensual durante todo el estudio la frecuencia de ocurrencia (Yañez-Arancibia, 1975 citado en Morales, 1991).

$$= \frac{N}{NE} \times 100$$

Donde:

F= Frecuencia o periodicidad relativa de aparición de algún alga

N=Número de meses en los que se presenta una especie

NE=Número total meses del estudio

Se aplicó el índice de diversidad de especies de Shannon-Winer (Brower and Zar, 1977), para determinar la variación de la diversidad, máxima abundancia y la igualdad de especies de manera mensual.

Índice de diversidad:

$$H' = \frac{(N \log N - \sum n_i \log n_i)}{N}$$

Donde:

$n_i$  = Número de especies.

N= Tamaño de la población.

Máxima abundancia:

$$H'_{\max} = \frac{[\log N! - (s-r) \log c! - r \log (c+1)!]}{N}$$

Donde:

N= Tamaño de la población.

s= Especies existentes

c= Porción integrada de N/s

r= Residuo

Igualdad:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Donde:

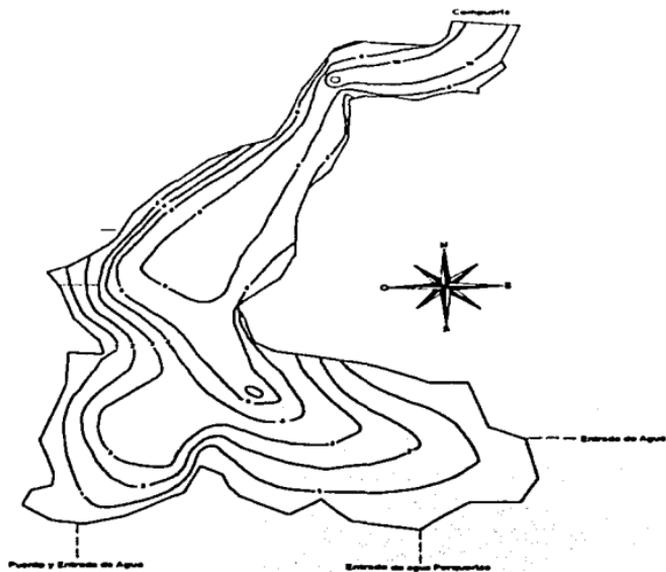
H'=Índice de Shannon-Winer

H'<sub>max</sub>= Máxima abundancia

## **RESULTADOS**

## MORFOMETRIA Y BATIMETRIA

FIGURA 3. MAPA MORFOMETRICO Y BATIMETRICO DE LA ZONA DE ESTUDIO



Escala: 1:5000

TABLA 2. VALORES DE LOS PARAMETROS MORFOMETRICOS

PARAMETRO	SIMBOLO	VALOR
Longitud Máxima	L	702 m
Anchura Máxima	b	456 m
Area	A	13,2375 Ha
Perimetro	P	2526.4
Profundidad Máxima	Z <sub>m</sub>	17 m
Volumen	V	507,409 2 m <sup>3</sup>
Desarrollo de la línea de costa	D <sub>L</sub>	1.9588 %
Profundidad Media	z̄	3.83 m
Relación Prof. media : Prof. Relativa	Z̄:Z <sub>m</sub>	0.2252
Profundidad Relativa	Z <sub>r</sub>	0.2435 %

La presente tabla muestra los valores morfométricos y batimétricos registrados en la presa en Mayo.

### ANALISIS ESTADISTICO

Para poder dar una interpretación estadística a los datos se les aplicó la prueba de Barlett para determinar si cumplían los supuestos de la homocedasticidad y normalidad con una  $p < 0.05$  y para determinar si los datos eran o no paramétricos, lo cual indicó que no eran por lo que se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para ver si existía diferencia significativa con una  $p < 0.05$  en los datos obtenidos tanto por estación como por nivel, dichos análisis se les aplicó a todos los parámetros, de los cuales no se encontraron diferencias en los siguientes: potencial hidrógeno y conductividad por los físicos alcalinidad, CO<sub>2</sub> y dureza total por los químicos, amonio, nitritos, nitratos, cloruros, ortofosfatos, silicatos, sulfatos, sulfuros, sólidos suspendidos, sólidos totales por los nutrimentos así como el zooplancton como integrante del plancton por lo que a todos estos parámetros se les sacó un promedio de las dos estaciones para poder darles una interpretación. A los restantes temperatura, oxígeno, DQO, fósforo total y DBO al encontrarse diferencia significativa en su comportamiento entre estaciones no así en niveles se les trató a aquellas de manera independiente mientras que a los organismos del fitoplancton se le encontraron diferencias significativas tanto en estaciones como en niveles por lo que el análisis se realizó de manera independiente en ambos casos.

## PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS

FIG. 4. ESPACIO-TIEMPO TEMPERATURA

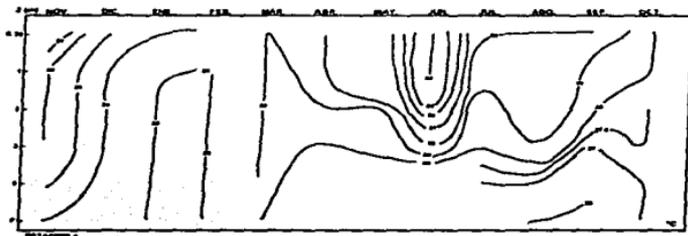
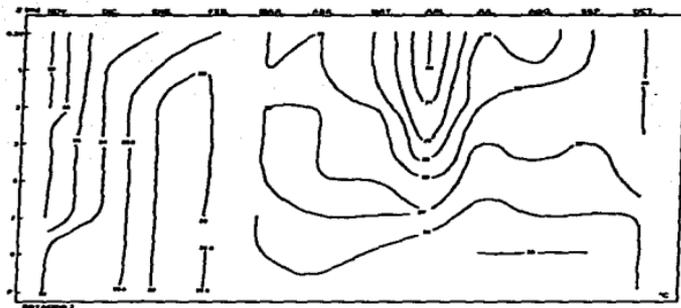
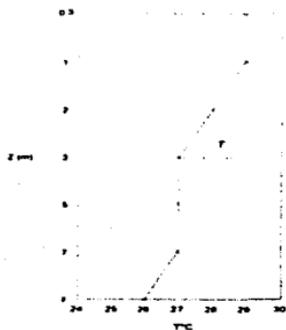


FIG. 5. ESPACIO-TIEMPO TEMPERATURA



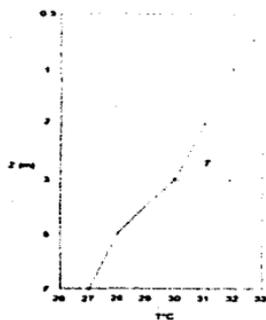
En el sistema se presentaron dos periodos, uno de mezcla que abarcó de Noviembre a Marzo y otro de estratificación de Abril a Octubre; dicho comportamiento se observa en ambas estaciones. Las temperaturas más altas se presentaron en las capas superficiales con 34 °C en la estación 1 y 32 °C en la estación 2, en tanto que las mínimas se registraron en Febrero en la zona profunda de ambas estaciones con 23 y 22.5 °C en la estación 1 y 2 respectivamente. Estos valores son puntuales.

FIG 6 GRADIENTE TERMICO  
MAYO



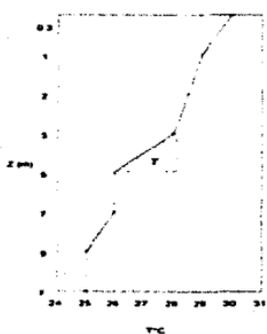
EST 8

FIG 7 GRADIENTE TERMICO  
JUNIO



EST 8

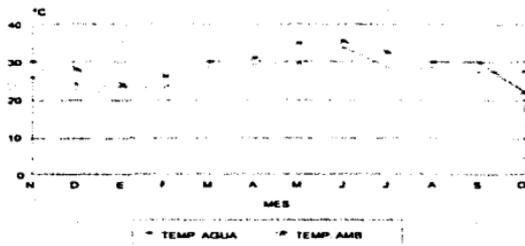
FIG 8 GRADIENTE TERMICO  
AGOSTO



EST 8

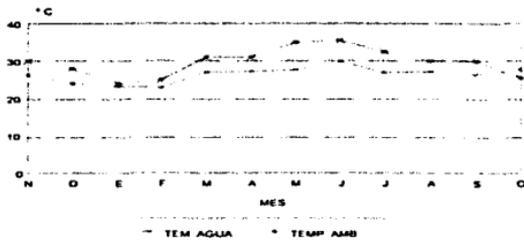
En el presente estudio la termoclina se presentó en los meses de Mayo, Junio en las profundidades de 1 a 3 metros y en Agosto de 3 a 5 metros

FIG 9 VARIACION DE TEMPERATURAS



Estación 1

FIG. 10 VARIACION DE TEMPERATURAS



Estación 2

La temperatura ambiente osciló de 22 °C en Octubre a 35.5 °C en Junio en la estación 1. En la estación 2 se registró de 24 °C en Enero y de 35.5 °C en Junio. Con respecto a la temperatura del agua, se obtuvo una media anual de 29.5 °C y 29.8 °C en la estación 1 y 2 respectivamente.

FIG. 11. ESPACIO-TIEMPO OXIGENO

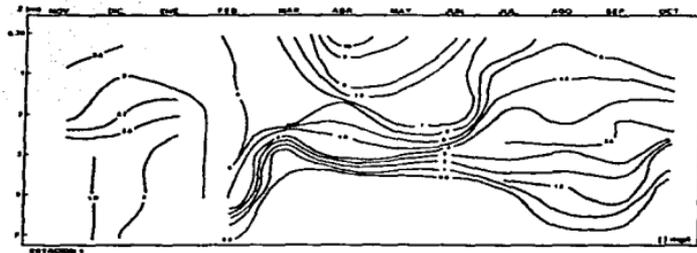
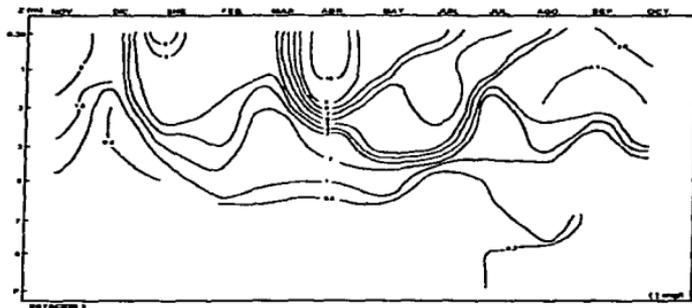


FIG. 12. ESPACIO-TIEMPO OXIGENO



Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto (OD) se obtuvieron en las capas superficiales de ambas estaciones; en la estación 1 en Abril con 10.6 mg/l y con 10.4 mg/l en la estación 2. Asimismo, en las dos estaciones se presentaron condiciones de anoxia en las capas profundas en varios meses, para la estación 1 en Noviembre, Marzo, Agosto, Septiembre y Octubre y para la estación 2 en Noviembre, Marzo, Abril, Junio, Agosto, Septiembre y Octubre. La media anual fue de 3.04 mg/l. Estos valores son puntuales.

FIG. 13. ESPACIO-TIEMPO DBO.

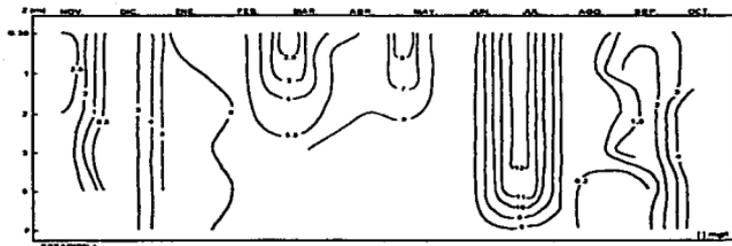
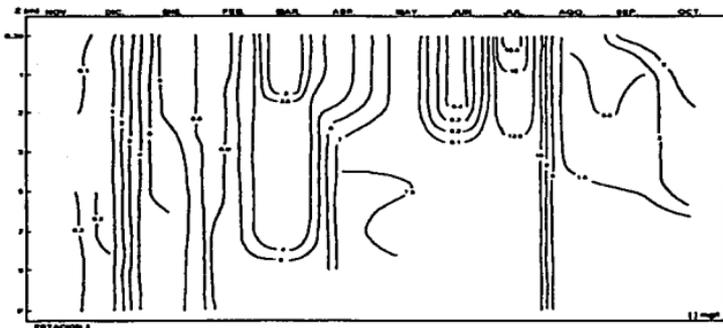


FIG. 14. ESPACIO-TIEMPO DBO.



La máxima concentración en la estación 1 de DBO se presentó en Julio con 12.48 mg/l, en tanto que en la estación 2 se obtuvo de 13.08 mg/l en el mismo mes. La mínima concentración en ambas estaciones fue de 0 mg/l en varios meses. La media anual fue de 4.09 mg/l. Estos valores son puntuales.

FIG. 15. ESPACIO-TIEMPO DQO

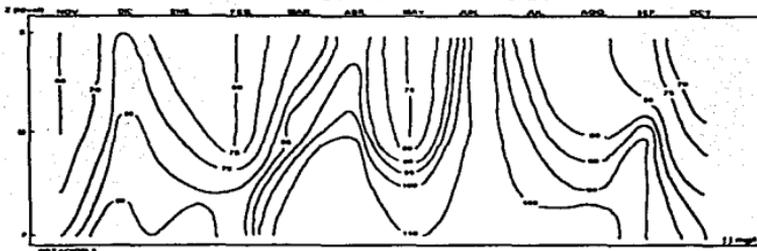
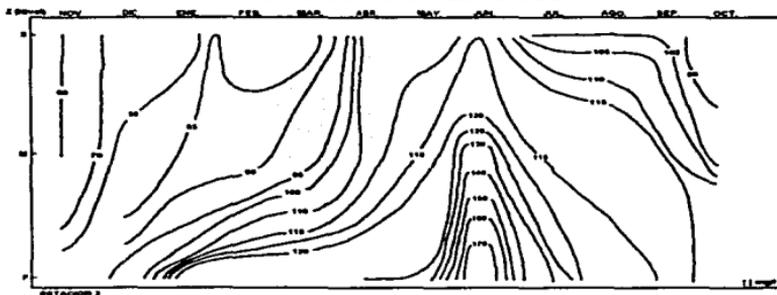
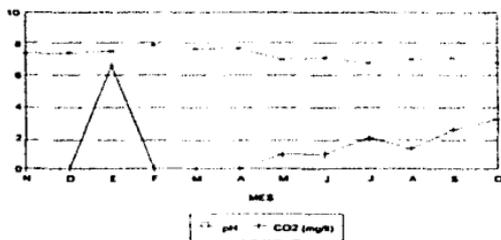


FIG. 16. ESPACIO-TIEMPO DQO



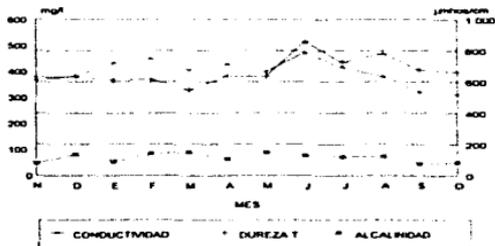
Las concentraciones de DQO más altas se registraron en las capas más profundas, y disminuyen en las partes superficiales, la más alta se obtuvo en Junio en ambas estaciones con concentraciones de 133 mg/l en la estación 1 y 173 mg/l en la estación 2 y la mínima de 60 mg/l en Noviembre en ambas estaciones. La media anual fue de 96.82 mg/l. Estos valores son puntuales.

FIG. 17. pH y DIOXIDO DE CARBONO



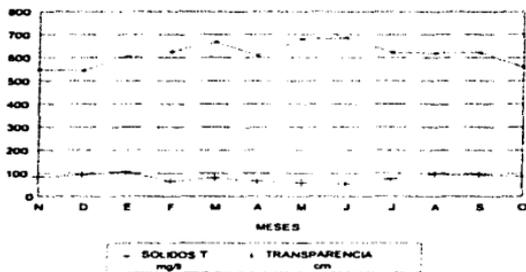
El valor de pH más alto se registro en Febrero con 7.90 mientras que el más bajo en Julio con 6.75 y tuvo una media anual de 7.27. El CO<sub>2</sub> no se detectó en Noviembre, Diciembre, Febrero, Marzo y Abril y obtuvo su mayor concentración en Enero con 6.60 mg/l. La media anual fue de 1.44 mg/l.

FIG. 18 CONDUCTIVIDAD, DUREZA TOTAL Y ALCALINIDAD



La conductividad siempre se mantuvo alta y el mayor registro fue en Junio con 791.55 µmhos/cm y el menor en Octubre con 519.35 µmhos/cm con una media anual de 661.87 µmhos/cm. La dureza total presentó un máximo en Junio con 517.85 mg/l y un mínimo de 329.77 mg/l en Marzo, con una media anual de 400.75 mg/l, mientras que la alcalinidad total se mantuvo siempre baja con valores cuyo rango fluctuó entre 44.42 y 89.46 mg/l de CaCO<sub>3</sub> en los meses de Septiembre y Marzo respectivamente con media anual de 69.12 mg/l.

FIG. 19. SÓLIDOS TOTALES Y TRANSPARENCIA



La mayor visibilidad al disco de Secchi se presentó en Enero con 106 cm mientras que la menor se presentó en Junio con 54 cm de profundidad, con media anual de 79.66 cm. En general tuvo un comportamiento inversamente proporcional a los sólidos totales ya que mientras estos disminuyen la transparencia aumenta y viceversa.

Los sólidos totales presentaron las siguientes concentraciones: mínimo 544.35 mg/l y máximo 686.22 mg/l en Diciembre y Junio respectivamente y una media anual de 615.54 mg/l. Así mismo los sólidos suspendidos tuvieron un mínimo de 3.42 mg/l que se presentó en Enero y un máximo 22.8 mg/l en Septiembre, teniendo una media anual de 12.31 mg/l, por lo que se consideraron despreciables, no se detectaron sólidos sedimentables.

## NUTRIMENTOS

FIG. 20. ESPACIO-TIEMPO FOSFORO

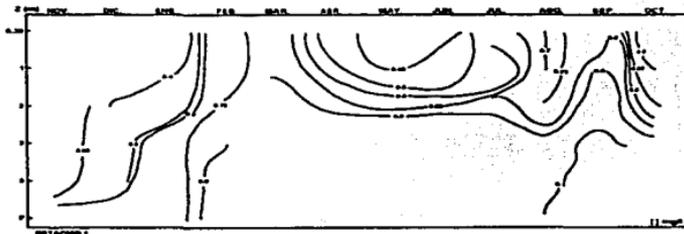
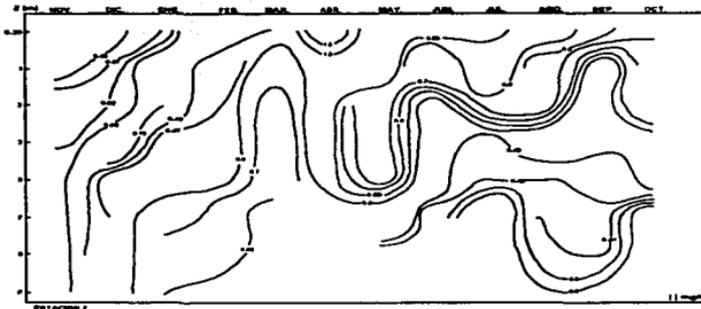
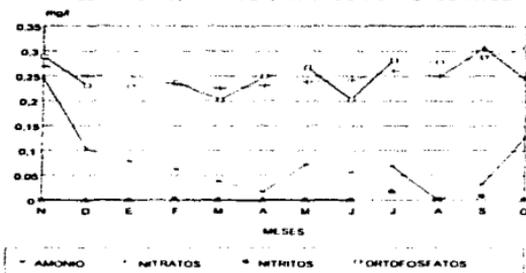


FIG. 21. ESPACIO-TIEMPO FOSFORO



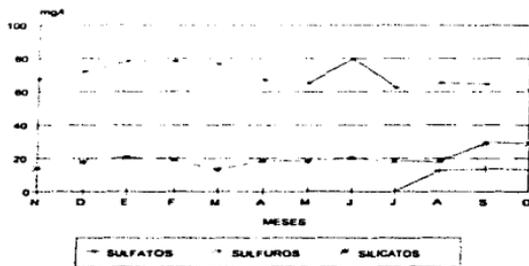
Para el fósforo total, el sistema presentó periodo de estratificación en los meses de Marzo a Septiembre en la estación 1 y de Marzo a Octubre en la estación 2, se observó un periodo de circulación de Octubre a Febrero y de Noviembre a Febrero para la estación 1 y 2 respectivamente. Presentó la estación 1 un máximo de 1.20 mg/l en Agosto y un mínimo de 0.0627 mg/l en Enero, y un máximo en la estación 2 de 1.9450 mg/l en Abril y un mínimo en Septiembre de 0.0627 mg/l. Estos valores son puntuales.

FIG. 22. AMONIO, NITRATOS, NITRITOS Y ORTOFOSFATOS



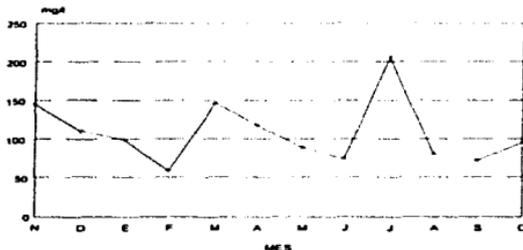
Los nitratos presentaron una concentración mas elevada que el amonio y los nitritos, el valor mínimo de 0.22 mg/l y máximo de 0.30 mg/l en Marzo y Septiembre respectivamente, mientras que el amonio tuvo en Agosto 0.001 mg/l como mínimo y 0.24 mg/l como máximo en Noviembre. Para los nitritos se registraron la mínima concentración de 0.001 mg/l en Junio y una máxima de 0.01 mg/l en Julio. Las medias anuales de estos parámetros fueron: nitratos 0.25 mg/l, amonio 0.07 mg/l y nitritos 0.004 mg/l. El fósforo soluble inorgánico se presentó en bajas concentraciones con 0.20 mg/l en Marzo como valor mínimo y 0.30 mg/l como máximo en Octubre, la media anual fue de 0.25 mg/l.

FIG. 23. SULFATOS, SULFUROS Y SILICATOS



Los sulfatos tuvieron una fluctuación mayor con respecto a los sulfuros y silicatos observando su mayor concentración en Junio con 79.60 mg/l y el mínimo en Octubre con 61.27 mg/l y una media anual promedio de 69.80 mg/l. Los silicatos tuvieron un mínimo de 13.08 mg/l en Marzo y máximo de 29.24 mg/l en Septiembre, media anual promedio de 19.72 mg/l. Los sulfuros no se detectaron de Noviembre a Julio, se presentaron en los meses restantes alcanzado su máximo valor en Septiembre con 13.6 mg/l, la media anual fue de 3.28 mg/l.

FIG 24 CLORUROS



La concentración de cloruros mas alta se registró en Julio con 206.13 mg/l. mientras que la mínima se obtuvo en Febrero con 60.06 mg/l, y una media anual de 108.83 mg/l.

**TABLA 3. VALORES REGISTRADOS EN LA PRESA EMILIANO ZAPATA EN EL CICLO ANUAL**

PARAMETRO	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura Ambiente (°C)	34	27 63	27 63
Temperatura del agua (°C)	22 5	34	26 55
Oxígeno (mg/l)	0 102	10 58	3 04
DBO (mg/l)	0 12	13 08	4 09
DQO (mg/l)	60 71	173 18	96 82
CO <sub>2</sub> (mg/l)	0 92	6 60	1 44
pH	6 75	7 90	7 27
Acalinidad (mg/l)	44 42	89 46	69 12
Dureza Total (mg/l)	329 77	517 85	400 75
Conductividad (µmhos/cm)	519 35	791 55	661 87
Transparencia (cm)	54	106	79 66
Sólidos Totales (mg/l)	544 35	686 22	615 54
Sólidos Suspendidos (mg/l)	3 42	22 8	12 31
Fósforo Total (mg/l)	0 06	1 93	0 63
Ortofosfatos (mg/l)	0 20	0 30	0 25
Amonio (mg/l)	0 001	0 24	0 075
Nitratos (mg/l)	0 22	0 30	0 25
Nitritos (mg/l)	0 0014	0 18	0 004
Sulfatos (mg/l)	61 27	79 60	69 80
Sulfuros (mg/l)	12 54	13 60	3 38
Silicatos (mg/l)	13 08	29 24	19 72
Cloruros (mg/l)	60 06	206 13	108 63

Los valores de la tabla anterior pertenecen a los máximos y mínimos promedios mensuales de cada parámetro salvo en los factores en los cuales el análisis estadístico determinó que había diferencia significativa donde los valores son puntuales (oxígeno, DBO, DQO, fósforo y temperatura) y en los cuales se registra el valor máximo y mínimo de ambas estaciones.

Determinaciones físico-químicas realizadas en el mismo sistema fueron llevadas a cabo por Granados (1990) los cuales se comparan con los obtenidos en el presente estudio en la siguiente tabla. Como se puede observar los datos no difieren significativamente entre uno y otro estudio.

**TABLA 4**

Parámetro	Granados (1990)	González y López Presente Estudio
Temperatura del Agua (°C)	23 a 30	22 5 a 34
Temperatura Ambiente (°C)	25 a 34	22 a 35 5
Oxígeno Disuelto (mg/l)	4 1 a 11 6	0 1027 a 10 5820
Acalinidad (mg/l)	5 a 120	44 4285 a 89 4615
pH	6 5 a 8 9	6 44 a 8 21
Conductividad (µmhos/cm)	205 a 910	180 a 818
Dureza Total (mg/l)	140 a 544	324 0597 a 534 8303
Transparencia (cm)	65 a 120	54 a 106

**TABLA 5. CALIDAD DEL AGUA**

Parámetro	LIMITES PERMISIBLES				Máximo Obtenido
	Abrevadero	Riego	Vida Acuática	Uso Humano	
pH	5-9	6-9	7-8	6.5-8.5	7.90
Conductividad ( $\mu$ Ohms/cm)		3500			661.87
Temperatura (°C)	35	40	20-40	40	34
Oxígeno (mg/l)			> 3		10.58
Alcalinidad (mg/l)	35-200	500	75	400	89.46
CO2 (mg/l)					6.60
Dureza total (mg/l)				500	517.85
DBO (mg/l)		75	30	30	13.08
DQO (mg/l)		80		3	173.18
Amonio (mg/l)	5000	40	1.5	0.5	0.24
Nitritos (mg/l)			0.1	0.05	0.01
Nitratos (mg/l)		90		10	0.30
Cloruros (mg/l)				250	206.13
Ortofósatos (mg/l)		60	0.1	0.10	0.30
Fósforo total (mg/l)		20	5	5	1.93
Silicatos (mg/l)					29.24
Sulfatos (mg/l)				400	79.60
Sulfuros (mg/l)					13.6
Sólidos totales (mg/l)					686.22
Sólidos suspendidos (mg/l)		75	40	40	22.8
Sólidos sedimentables (mg/l)					0
Sólidos Disueltos (mg/l)	7.000	500	10.000	1000	686

Fuentes: NOM-127, 1997, Rev. Acuavision.

La tabla anterior muestra los valores permisibles para establecer los criterios de calidad del agua para los diferentes usos mostrados en ella y se comparan con los obtenidos en los análisis realizados.

**PLANCTON**  
**FITOPLANCTON**

**TABLA 6. COMPOSICION DEL FITOPLANCTON**

DIVISION	CLASE	GENERO	SP.
CHLOROPHYTA	Chlorophyceae	<i>A. constrictum</i> <i>Ankistrodesmus</i>  <i>Chlorella</i> <i>Coccolstrum</i> <i>Crococgena</i> <i>Desmococcus</i> <i>Kirchneriella</i> <i>Pediastrum</i> <i>Scenedesmus</i>	<i>A. gracillimum</i> <i>A. lakiformis</i> <i>Ankistrodesmus</i> sp <sup>2</sup> <i>C. minuta</i> <i>Coccolstrum</i> sp <i>C. tetrapedia</i> <i>D. viridis</i> <i>K. lunaris</i> <i>Pediastrum</i> sp <i>Scenedesmus</i> sp <sup>1</sup> <i>Scenedesmus</i> sp <sup>2</sup>
	Zygophyceae	<i>Cosmarium</i> <i>Clasterium</i>	<i>Cosmarium</i> sp <i>Clasterium</i> sp
CYANOPHYTA	Cyanophyceae	<i>Aphanocapsa</i> <i>Anabaena</i> <i>Chroococcus</i> <i>Merisopapedis</i> <i>Microcystis</i> <i>Phormidium</i> <i>Plectonema</i> <i>Spirulina</i>	<i>Aphanocapsa</i> sp <i>A. constricta</i> <i>C. minutus</i> <i>Merisopapedis</i> sp <i>Microcystis</i> sp <i>Phormidium</i> sp <i>Plectonema</i> sp <i>S. major</i>
CHROMOPHYTA	Bacillariophyceae	<i>Cyclotella</i> <i>Melosira</i> <i>Navicula</i> <i>Synedra</i>	<i>C. meneghiniana</i> <i>Melosira</i> sp <i>Navicula</i> sp <i>Synedra</i> sp
EUGLENOPHYTA	Euglenophyceae	<i>Euglena</i>	<i>Euglena</i> sp

Se registraron en total 26 especies de algas pertenecientes a 4 divisiones, 5 clases y 24 géneros, dominando en diversidad tanto de especies como de géneros las Chlorophytas, seguida de las Cyanophytas, Chromophytas y Euglenophytas. De las 26 especies solamente 10 fueron identificadas a nivel de especie, las otras a nivel genérico.

**TABLA 7. ABUNDANCIA RELATIVA Y FRECUENCIA DE OCURRENCIA**

DIVISION	ESPECIE	ABUNDANCIA RELATIVA	FRECUENCIA DE OCURRENCIA (%)
CLOROFICEAS	<i>Actinastrum gracillimum</i>	0.22	41.66
	<i>Akashiwothrix latitans</i>	17.30	100
	<i>Akashiwothrix sp.</i>	2.13	58.33
	<i>Chlorella minuta</i>	1.46	41.66
	<i>Coccolithum sp</i>	1.09	100
	<i>Crucigenia tetrapetala</i>	3.07	58.33
	<i>Coscinurus sp</i>	2.56	66.66
	<i>Closterium sp</i>	10.28	100
	<i>Desmocerium viridis</i>	36.03	100
	<i>Kirchneriella lunaris</i>	7.40	41.66
	<i>Pediastrum sp</i>	0.98	100
	<i>Scenedesmus sp1</i>	9.72	100
	<i>Scenedesmus sp2</i>	11.63	50
	<i>No identificada</i>	7.32	100
CIANOFICEAS	<i>Aphanocapsa sp</i>	0.18	8.33
	<i>Anabaena constricta</i>	27.57	100
	<i>Merismopedia sp</i>	22.63	100
	<i>Microcystis sp</i>	41.30	100
	<i>Phormidium sp</i>	5.54	100
	<i>Plectonema sp</i>	1.32	50
	<i>Spirulina major</i>	1.43	8.33
CROMOFICEAS	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	14.45	83.33
	<i>Melosira sp</i>	0.65	8.33
	<i>Nitzschia sp</i>	28.80	100
EUGLENOFICEAS	<i>Synedra sp</i>	56.07	100
	<i>Euglena sp</i>	100	100

La presente tabla muestra la abundancia relativa y frecuencia de ocurrencia de las especies. Las especies más abundantes fueron las *Synedra Sp* con 56.07 %, en tanto las que más prevalecieron durante el año fueron las que presentan 100% de frecuencia de ocurrencia, es decir se presentaron en todo el año, mientras que las otras sólo en algunos meses.

**TABLA 8. INDICES DE DIVERSIDAD DE ESPECIES**

		INDICES DE DIVERSIDAD			MAXIMA ABUNDANCIA			EQUITATIVIDAD		
MES	s	Ds	ds	H'	Dmax	dmax	H'max	Es	es	J'
Nov	19	0 9085	11 179	1 1110	0 9482	19 320	1 2787	0 9581	0 5786	0 8688
Dic	17	0 8570	7 033	1 0242	0 9419	17 230	1 2304	0 9098	0 4081	0 8324
Ene	17	0 8830	8 533	1 0711	0 9419	17 215	1 2304	0 9374	0 4956	0 8705
Feb.	20	0 8987	9 89	1 0865	0 9510	20 433	1 3010	0 9449	0 4840	0 8351
Mar	18	0 8784	8 228	1 0751	0 9452	18 268	1 2552	0 9293	0 4504	0 8565
Abr	18	0 9032	8 358	1 0809	0 9456	18 384	1 2552	0 9552	0 4546	0 8611
May.	17	0 8504	6 684	1 0154	0 9422	17 302	1 2304	0 9025	0 3863	0 8252
Jun	17	0 8687	7 626	1 0234	0 9425	17 401	1 2304	0 9216	0 4382	0 8317
Jul	24	0 9286	14 094	1 2077	0 9590	24 442	1 3802	0 9682	0 5766	0 8750
Ago	18	0 8914	9 388	1 0728	0 9454	18 329	1 2552	0 9429	0 5121	0 8546
Sep	20	0 9206	13 177	1 1590	0 9508	20 354	1 3010	0 9681	0 6473	0 8909
Oct	17	0 8560	7 465	1 0417	0 9419	17 224	1 2304	0 9194	0 4333	0 8466
Anual	25	0 9056	10 558	1 1569	0 9600	25 047	1 3979	0 9433	0 4215	0 8276

Ds= Índice de Simpson

ds= Índice de Levins

H'= Índice de Shannon W.

Dmax= Max. Abundancia de Simpson

dmax= Max. Abundancia de Levins

H'max= Max. Abundancia de Shannon W.

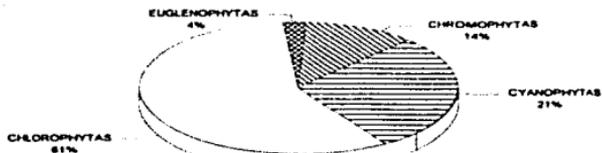
Es= Equitatividad de Simpson

es= Equitatividad de Levins

J'= Equitatividad de Shannon W.

En la presente tabla se indica la variación mensual en cuanto a la diversidad de especies, donde se aprecia que la máxima se presentó en Julio y la mínima en Diciembre en ambos índices de diversidad. Mientras que en Diciembre fue el mes en el cual se presentó la mayor equitatividad de éstas, también para ambos índices.

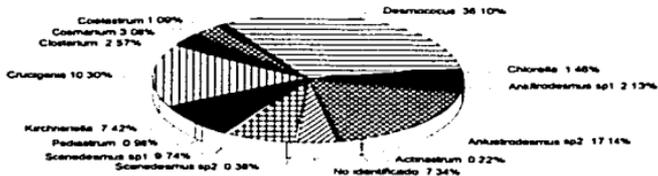
FIG 25. DISTRIBUCION ANUAL DEL FITOPLANCTON



DISTRIBUCION TOTAL

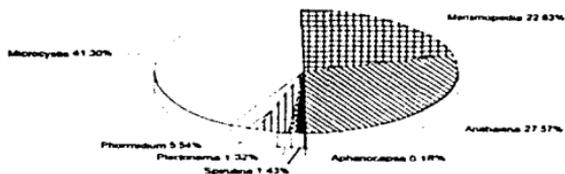
Durante el ciclo anual, la distribución del fitoplancton tuvo el siguiente orden de abundancia, chlorophyta > cyanophyta > chromophyta > euglenophyta, como se muestra en la figura anterior.

FIG 26. CHLOROPHYTAS DISTRIBUCION ANUAL



DISTRIBUCION TOTAL

FIG. 27. CYANOPHYTAS DISTRIBUCION ANUAL



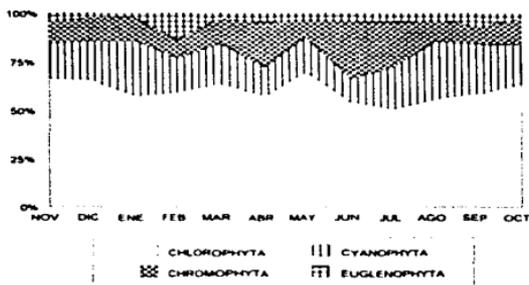
Las divisiones más diversas en cuanto al número de especies presentes fueron las chlorophytas y las cyanophytas. Dentro de las chlorophytas el género más abundante a lo largo del año fue *Desmococcus vindis* con un 36.10% y el menor *Actinastrum gracillimum* con 0.22 %. Mientras que en las cyanophytas el género más abundante fue *Mycrocistis sp.* con 41.30 % y el menor fue *Aphanocapsa sp.* con 0.18 %.

FIG. 28. CHROMOPHYTAS DISTRIBUCION ANUAL



Las chromophytas fue una de las divisiones menos diversas en cuanto al número de especies presentes. El género más abundante a lo largo del año fue *Synedra sp.* con 56.07% y el menor *Melosira sp.* con 0.65%.

FIG 29 DISTRIBUCION RELATIVA DEL FITOPLANCTON



En la distribución del fitoplancton, el porcentaje de organismos se encuentra determinado por la abundancia relativa de cada una de las divisiones en cada mes. Los picos máximos de cada una de éstas divisiones se registraron de la manera siguiente: las chlorophytas en Mayo, las cyanophytas en Agosto, las chromophytas en Junio y las euglenophytas en Febrero.

FIG 30 VARIACION ESTACIONAL DEL FITOPLANCTON ESTACION 1

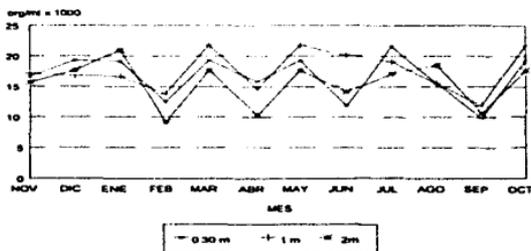
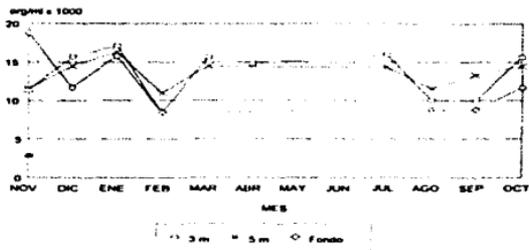


FIG. 31. VARIACION ESTACIONAL DEL FITOPLANCTON  
ESTACION 1



En la estación 1 la mayor concentración de organismos fitoplanctónicos se registró a un metro de profundidad con 21,798 org/ml en Marzo, Mayo y Octubre y la menor en fondo en Febrero con 8,486 org/ml.

FIG. 32. VARIACION ESTACIONAL DEL FITOPLANCTON  
ESTACION 2

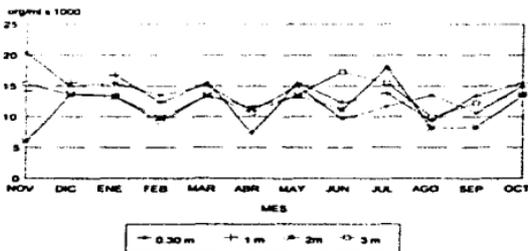
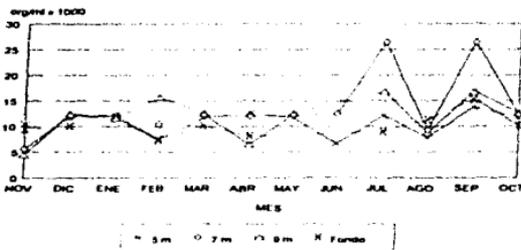


FIG. 33 VARIACION ESTACIONAL DEL FITOPLANCTON  
ESTACION 2



En la estación 2 se presenta un comportamiento diferente con respecto a la estación 1, ya que la mayor concentración por nivel, se observó en 7m con una cantidad de 26,458 org/ml en Julio y Septiembre, la mínima en el fondo en Noviembre con 4,492 org/ml.

TABLA 9. PROMEDIO DEL FITOPLANCTON POR NIVEL

NIVEL (M)	ESTACION 1	NIVEL (M)	ESTACION 2
0.3	16667.73	0.3	13797.33
1	17582.93	1	13450.67
2	15586.13	2	11675.73
3	13461.76	3	13173.33
5	13478.4	5	10816
FONDO	11980.8	7	13627.47
		9	11874.84
		FONDO	10266.88

FIG. 34. DIAGRAMA DE ESCALERA FITOPLANCTON vs PARAMETROS FISICOS

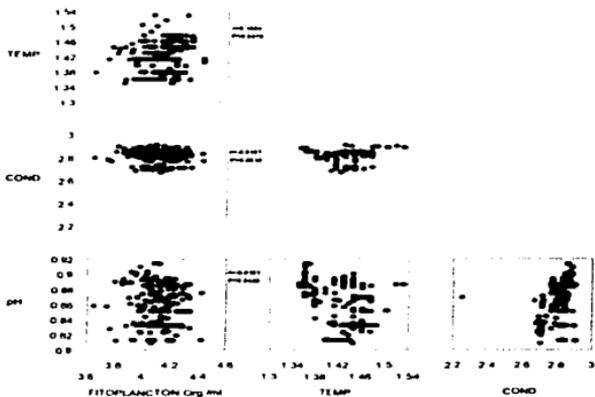


FIG. 35. DIAGRAMA DE ESCALERA FITOPLANCTON vs PARAMETROS QUIMICOS

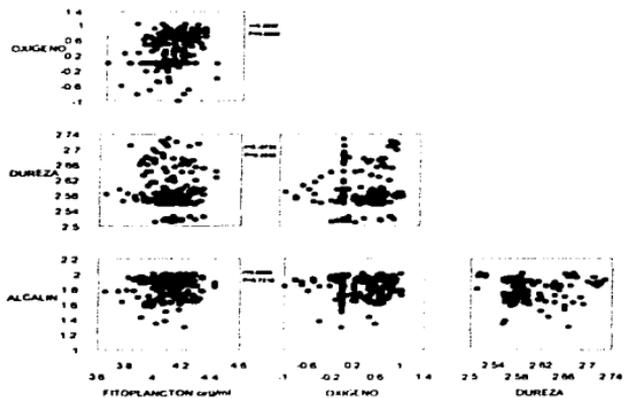


FIG. 36 DIAGRAMA DE ESCALERA FITOPLANCTON vs PARAMETROS QUIMICOS

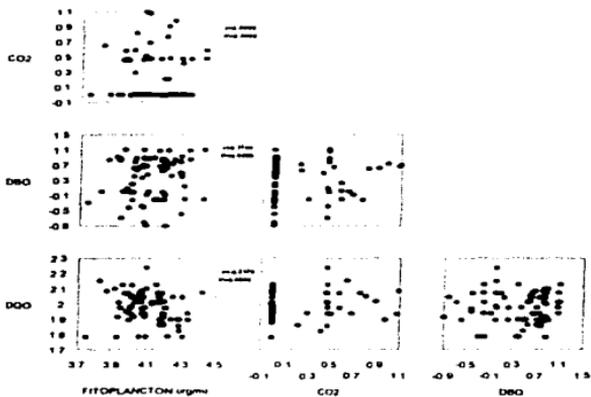


FIG. 37. DIAGRAMA DE ESCALERA FITOPLANCTON vs NUTRIMENTOS

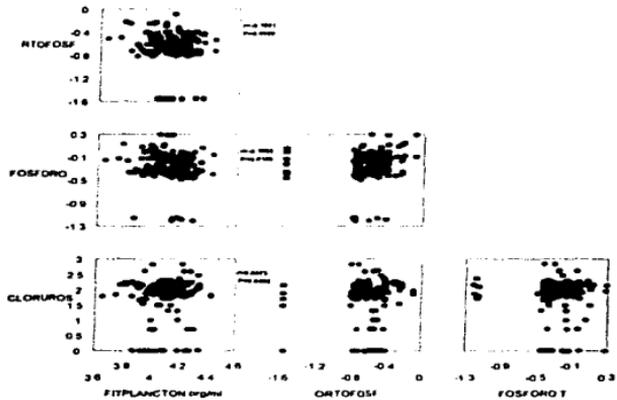


FIG. 38. DIAGRAMA DE ESCALERA FITOPLANCTON vs NUTRIMENTOS

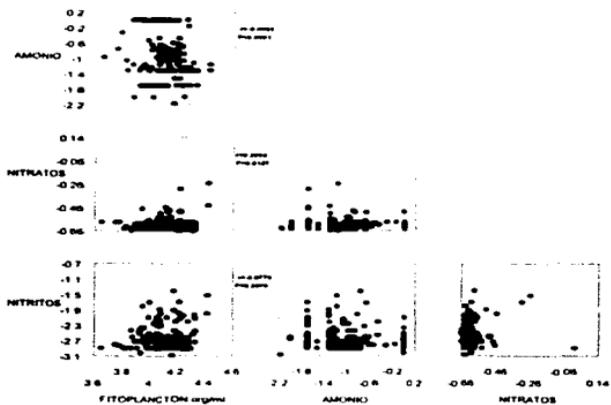


FIG. 39 DIAGRAMA DE ESCALERA FITOPLANCTON vs NUTRIMENTOS

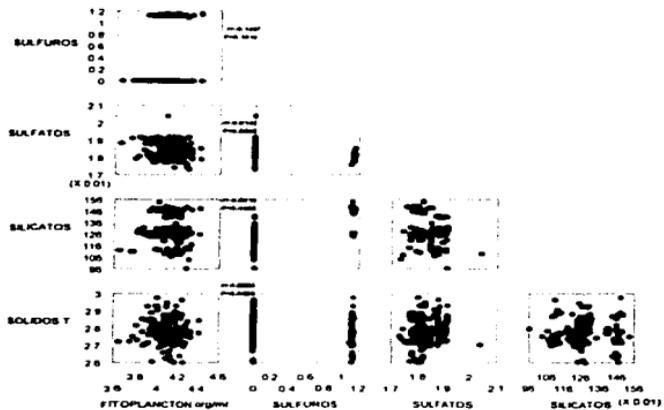
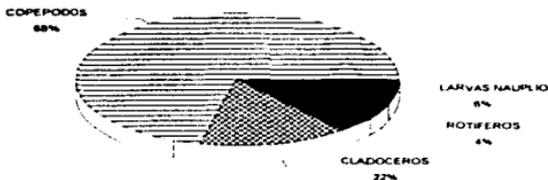


TABLA 10. COMPOSICION DEL ZOOPLANCTON

CLASE	SUBCLASE	DIVISION	ORDEN	SUBORDEN	GÉNERO
CRUSTACEA	BRACHIOPODA	EUBRANQUIOPODA	ANOSTRACA		<i>Eubranchipus sp.</i>
		OLIGOBRANQUIOPODA	CLADOCERA		<i>Daphnia sp.</i> <i>Leptodora sp.</i>
	COPEPODA		EUCOPEPODA	CYCLOPOIDA	<i>Cyclops sp.</i>
				CALANOIDA	<i>Limnocalanus sp.</i> <i>Diatomus sp.</i> <i>Senecella sp.</i> <i>L. Nauplio sp.</i>
				HARPACTICOIDA	<i>Bryocamptus sp.</i>
ROTATORIA	MONOGONONTA		PLOIANA	BRACHIONINAE	<i>Keratella sp.</i> <i>Brachionus sp.</i>

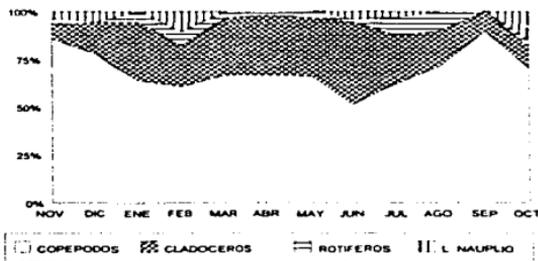
De 11 especies registradas el máximo nivel específico identificado fue hasta género, pertenecientes a 2 clases: Rotífera y Crustácea distribuidos como se presenta en la tabla. El grupo dominante fue el de los Copépodos en cuanto a número de especies, seguido de los Cladóceros y por último Rotíferos.

FIG. 40 DISTRIBUCION ANUAL DEL ZOOPLANCTON



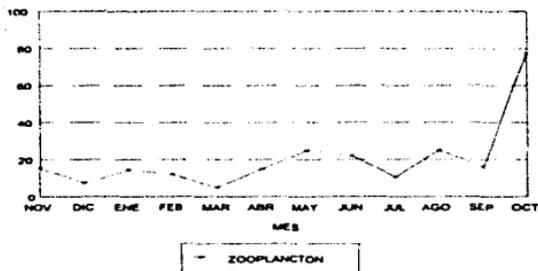
La composición del zooplancton a lo largo del estudio tuvo el siguiente orden de abundancia, Copépodos > Cladóceros > Larvas nauplio > Rotíferos, como se muestra en el gráfico anterior.

FIG. 41 DISTRIBUCION MENSUAL DEL ZOOPLANCTON



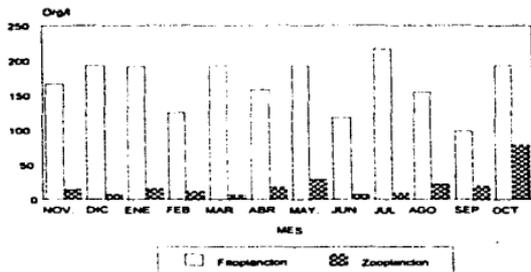
La distribución del zooplancton al igual que en el fitoplancton el porcentaje de organismos se encuentra determinado por la abundancia relativa de cada uno de los grupos de individuos de manera mensual. Los picos máximos de cada uno de éstos grupos tuvieron lugar en los siguientes meses: los Copépodos en Septiembre los Cladóceros en Junio, los Rotíferos en Julio y Agosto y las larvas Nauplio en Febrero y Octubre.

FIG. 42 VARIACION ESTACIONAL DEL ZOOPLANCTON



La mayor concentración de organismos zooplancónicos tuvo registro en el mes de Octubre con un 77 org/l mientras que el mínimo se dio en el mes de Marzo con 5 org/l.

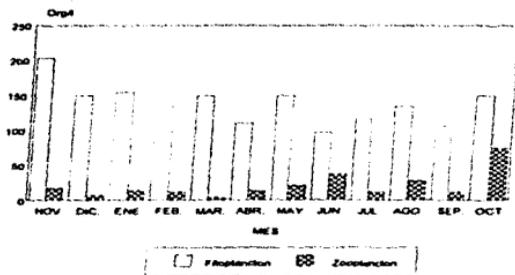
FIG. 43 COMPARACION DEL FITOPLANCTON vs ZOOPLANCTON



ESTACION 1

Nota: Fitoplancton org/lt x 0<sup>3</sup>

FIG. 44 COMPARACION DEL FITOPLANCTON vs ZOOPLANCTON



ESTACION 2

Nota: Fitoplancton org/lt x 10<sup>3</sup>

## **ANALISIS DE RESULTADOS**

### Morfometría y Batimetría.

Las características morfométricas y batimétricas de un cuerpo de agua son de gran importancia, ya que están relacionados con ciertos factores limnológicos que afectan directamente a los parámetros físicos, químicos y la distribución de la biota (Lind, 1979). De acuerdo a los resultados del presente estudio realizado en Mayo de 1994, el cuerpo de agua presenta forma irregular con una longitud máxima de 495.7142 m, anchura máxima de 743.2857 m, cuyo perímetro abarca 2526.4 m y tiene una área superficial de 13.2375 ha. La presa "Los carros", (Magallón, *et al.*, 1992) en comparación a la de "Emiliano Zapata" es mayor, ya que presenta un área superficial de 1066.5 ha con un perímetro de 55982 m.

La estación II ubicada cerca de la compuerta es la zona donde se registró una profundidad máxima de 17 m, durante la época de estiaje se reduce hasta 12 metros por lo que este embalse se considera permanente. La profundidad y el volumen de la presa presentan cambios como consecuencia de la época de lluvias y estiaje; dicho volumen se reduce (y en consecuencia la profundidad) durante el periodo Febrero-Junio y aumenta de Julio a Octubre (periodo de lluvias) y se mantiene casi constante hasta Enero. La disminución del volumen se debe a la tasa de evaporación y filtración además de la extracción del agua a través de la compuerta para llevar a cabo las actividades agrícolas de la zona.

De acuerdo al volumen obtenido (Tabla 2) la presa se encontraba al 15.37% de su capacidad total según lo reportado por la Comisión Nacional del Agua del estado de Morelos en 1995, cuya capacidad máxima es de 3 300 000 m<sup>3</sup>, debido a que la época de lluvias durante 1994 se redujo considerablemente, en Enero de 1995 se reportan 1 600 000 m<sup>3</sup>, lo cual representó el 54.24% de su capacidad total. Asimismo, durante Mayo de 1994, dicha Comisión reporta 600 000 m<sup>3</sup> lo que equivale al 18.18 % de la capacidad total de la presa, que es aproximado al valor obtenido en el presente estudio.

El desarrollo de la línea de costa (DL) cuyo valor fue de 1 958 indica que la presa tiene a una forma elíptica (Velch, 1952, Wetzel, 1981 y Wetzel and Likens, 1991) ya que a valores menores del 1% son cuerpos de agua que tienden a una forma circular (Cole 1979). Presenta probablemente buena productividad biológica, lo cual es explicado por la profundidad media cuyo valor fue 3.83 m y de acuerdo a lo que establece Cole (1975), que menciona que cuando el cuerpo de agua presenta profundidades medias menores de un metro, se considera que son muy productivos por lo que podría pensarse que el sistema en estudio tiene buena productividad biológica.

La profundidad relativa (0.2435) indica que la presa es inestable ya que Wetzel (1981) establece que a valores menores de 2 % existe una baja estabilidad y es propenso a la mezcla (se presentó un periodo de Noviembre a Febrero), además menciona que si el área superficial es mayor en proporción a la profundidad máxima las paredes presentan una baja pendiente lo que también es indicativo de inestabilidad.

En cuanto a la relación de la profundidad media y la profundidad máxima ( $Z:Z_m$ ) es un valor comparativo de la forma de la cubeta en términos de desarrollo de volumen. El valor obtenido en el presente estudio fue de 0.2252 lo que indicaría según Wetzel (1981) que se presentan agujeros muy profundos pero en la presa esto no es aplicable por la profundidad máxima presentada por lo que se acerca más a un de tipo cónico debido a la deposición de material.

## Parámetros Físicos y químicos.

La dinámica y metabolismo de un sistema acuático siempre estará determinado por la radiación solar, la cuál es transformada en energía potencial y es indispensable para poder llevar a cabo dichos procesos (Vallentyne, 1978).

Dos de los parámetros importantes y determinantes relacionados con esta energía es el oxígeno disuelto (como producto fotosintético) y la temperatura (como incidencia de la luz solar sobre el sistema), ya que estos limitan la solubilidad de los varios nutrimentos así como de su disponibilidad en el medio acuático.

### Temperatura.

De acuerdo a los datos registrados de temperatura del agua (Fig. 4 y 5) la presa se puede clasificar de acuerdo a Hutchinson (1957), Welch (1952) y Lewis (1983) como un cuerpo monomítico cálido porque en él se presenta solamente un periodo de mezcla al año, ya que en el presente estudio se denota un periodo de circulación (Octubre a Marzo) y otro de estratificación (Abril a Septiembre), holomítico por que en el periodo de circulación o de mezcla se alcanzan los capas más profundas de la presa. La estratificación empieza a formarse incipientemente a mediados de Marzo y se consolida en los meses de Mayo a Septiembre, posteriormente con el inicio de la temporada de lluvias y la presencia de los vientos a partir de Octubre, comienza la mezcla.

Semejante clasificación obtuvo Vera Herrera *et al.*, (1981) en la presa "Vicente Guerrero", en la cuál definió un periodo de estratificación de Agosto a Octubre y uno de circulación de Noviembre a Enero.

Durante el periodo de circulación hubo una homogeneidad térmica que trajo como consecuencia que no haya habido una variación muy grande entre los niveles superiores e inferiores donde la diferencia fue entre 1 y 2 °C en los meses de Diciembre a Marzo; no así, en Noviembre donde la diferencia fluctuó entre los 4 °C para ambas estaciones de monitoreo. En el periodo de estratificación se puede observar en los meses de Mayo, Junio y Agosto la existencia de un gradiente térmico el cuál se define como la diferencia de temperatura igual o mayor de 1°C entre dos capas de agua cuya profundidad varía un metro (Birge, 1904, citado en Vera- Herrera *et al.*, 1981) (Fig. 6-8). Este proceso implica una diferencia de densidades, ya que las capas superficiales se van enfriando por la acción del viento lo que va a ocasionar una diferenciación de las capas del epilimnion, metalimnion e hipolimnion. Este análisis se consideró solamente en la estación 2 por tener mayor profundidad y menor efecto antropogénico que la estación 1, por las actividades acuícolas que se realizan en ésta.

Magallón *et al.*, (1992) en la presa "Los Carros" determinó una termoclina, muy incipiente en el periodo Marzo-Mayo, la cuál fue muy inconsistente en el sistema debido a las variaciones de la temperatura y a la incidencia de los vientos sobre el embalse.

Los intervalos de temperatura a lo largo de la columna oscilan de 23 a 34°C para la estación 1 y de 22.5 a 32°C en la estación 2 y tuvo como característica el ir disminuyendo a medida que aumentaba la profundidad, factor que influyó para que las temperaturas fueran inferiores en la estación 2. Asimismo, también tuvo efecto la hora del monitoreo (13:30 hr.), ya que en la estación 2 el muestreo se realizó con aproximadamente una hora y media de diferencia y esto pudo haber originado un cambio de temperatura en el sistema.

Lo anterior está correlacionado con la temperatura ambiente y la nubosidad ya que los aportes y pérdidas de calor se llevan a cabo en la superficie del sistema (Fig. 9 y 10). En cuanto a la nubosidad, ésta es un factor que influye en la temperatura ambiental porque al presentarse en gran porcentaje hace que descienda y puede afectar al sistema debido a que, se provocan corrientes de convección que originan un descenso en superficie del agua y ascensión de las capas inferiores provocando una mezcla que origina un descenso de la temperatura del sistema (Wetzel 1981). Mogollón *et al.*, (1993) establece que el responsable principal de las variaciones de temperatura se podrían deber a factores naturales como lo es la altura sobre el nivel del mar.

## Oxígeno.

Las concentraciones de oxígeno disuelto en todos los meses y en las dos estaciones presentaron un comportamiento semejante en cuanto a su distribución en la columna de agua; en los niveles superiores siempre hubo una mayor concentración la cual tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad y se presenta en pequeñas cantidades en toda la columna en los meses de mezcla.

Flores (1994) registra 8.2 mg/l y 31.7 mg/l en la capa superficial de la presa el "Niagara" y lo atribuye a una gran actividad fotosintética de los organismos fitoplanctónicos, su principal fuente abastecedora.

La concentración máxima (10.6 mg/l) se dio en los meses de estratificación donde hubo un menor volumen de agua en el sistema debido a la época de estiaje y a una alta tasa de evaporación como consecuencia de las altas temperaturas ambientales. En los meses de circulación las cantidades fueron mínimas, llegando a condiciones de anoxia a partir de los 5 y 6 metros de la estación 2 y en el fondo de la estación 1 (Fig. 11 y 12), lo cual indica que el tipo de curva que presenta el oxígeno es de tipo clinógrada similar a lo reportado por Umaña y Jimenez (1995). Esto se debe a que los mayores aportes de oxígeno al medio acuático provienen principalmente de la atmósfera y muchas veces no alcanza a llegar a las zonas profundas, así mismo como consecuencia de dicha profundidad la luz no llega hasta el fondo y se inhibe el proceso fotosintético, aunque el fitoplancton puede responder fisiológicamente a variaciones de baja frecuencia en la intensidad de la luz o calidad de la luz (Roberts *et al.*, 1992), por lo que esto podría explicar la presencia de pequeñas cantidades de oxígeno en toda la columna de agua en los meses de Noviembre a Febrero que se acentúan por el proceso de circulación.

Umaña y Jimenez (1995) reportan bajas cantidades de oxígeno en las capas profundas del Chaco, las cuales se atribuyen a la presencia de organismos fitoplanctónicos.

Las condiciones de anoxia en las capas profundas se registraron durante los meses donde el sistema alcanzó su máximo nivel (Julio a Septiembre), debido a que se presenta aumento en el volumen del cuerpo del agua, como consecuencia del inicio del periodo de lluvias que provoca una mayor dilución, además de que trae consigo aportes de materia orgánica y provoca remoción de los sedimentos que agotan el oxígeno, por lo que se encuentra menos disponible en el sistema aunque gráficamente no se aprecie por el enmascaramiento que se hace a los datos con las isoplethas. Wheaton (1982) manifiesta que a mayor temperatura existe menor solubilidad del OD, en la presa se registró un incremento en la concentración del OD a medida que aumentó la temperatura del sistema durante la época de estiaje principalmente en las capas superficiales ya que como consecuencia de ésta se registró un aumento en la cantidad de fitoplancton lo que elevó las concentraciones de OD debido al proceso fotosintético.

Las concentraciones de OD presentes en la zona profunda de ambas estaciones en los meses subsiguientes (Octubre-Diciembre) se debe probablemente a que como inicia el proceso de circulación, hay una distribución de las concentraciones de OD a lo largo de la columna provocado por la acción de los vientos, y como consecuencia del rompimiento de la estratificación (Margalef, 1976). Asimismo, la apertura de la compuerta, puede provocar algunas corrientes que ocasionen su presencia en las capas profundas.

Las mayores concentraciones de este gas se registraron en la estación 1; sin embargo, la diferencia no es muy grande con respecto a la estación 2 (0.2 mg/l), lo cual puede ser consecuencia del efecto del viento, la cantidad de organismos fitoplanctónicos presentes, las actividades piscícolas y la cantidad de materia orgánica que se acumula en la compuerta que está cerca de la estación 2.

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

Con relación a las bajas concentraciones de oxígeno en la zona profunda, aparte de las causas ya mencionadas, también se debe a que en dicha zona existe una mayor cantidad de materia orgánica (Ramos S., comunicación personal), la cual para degradarse necesita del oxígeno disuelto y de las bacterias, cuya concentración aumenta en la fase agua-sedimento. Es por esta razón que las más altas concentraciones de DBO se registraron en las zonas más profundas de cada estación: 12.48 mg/l en la estación 1 y 13 mg/l en la 2. Valores bajos se registraron en ambas estaciones, por lo que la demanda no es lo suficientemente intensa como podría esperarse ya que hubo meses en los cuales la DBO fue menor al oxígeno disuelto, comportamiento que se observó en la mayoría de los meses a excepción de Enero, Febrero y Julio en ambas estaciones (Fig. 13 y 14).

El comportamiento que presenta la DBO con respecto al oxígeno disuelto, quizá sea debido a una descompensación provocada por un aumento en la tasa fotosintética, a la circulación y al intercambio gaseoso provocado por los vientos lo que evita que no se alcance a agotar todo el  $O_2$ .

Los resultados para la DBO se encuentran dentro de los límites permisibles para la vida acuática, riego y abrevadero de acuerdo a la NOM-127, sin embargo se puede considerar como contaminantes de acuerdo a la S A R H (1992) que reporta de 5 a 20 mg/l para ríos contaminados con un 25-100% de dilución. En la estación 2 se obtuvieron las más altas concentraciones, esto se debe a que se encuentra cerca de la compuerta que es a donde se dirige la corriente de agua y por lo tanto lleva consigo aportes de materia orgánica, lo que se coteja con los valores de DQO cuyos máximos se obtuvieron también en la estación 2 con 173.18 mg/l por 133.82 mg/l de la estación 1, mientras que la mínima en ambas estaciones fue de 60 mg/l (Fig. 15 y 16). Aparte de que la estación 1 en época de estiaje se ve menos influenciada ya que el vaciado del cárcamo en esta época es menor al tener menos contacto con el agua. En cuanto a relaciones que se dan entre la DBO y la DQO se aprecia que el aumento y disminución entre ambos fue directamente proporcional a excepción del mes de Junio donde la DQO presentó el valor más alto y una DBO muy inferior, situación que se da porque estas relaciones son muy empíricas y pueden estar sujetas a diversos factores (APHA 1980), aparte de que la DQO sólo se determinó en superficie, medio y fondo. El valor más alto que se dio en la estación 2 en Junio y que se encuentra por encima de los demás se debe probablemente a que el vaciado en la compuerta no es constante y se pudo haber presentado una mayor cantidad de materia orgánica con el consecuente aumento de la DQO.

Flores (1994), reporta que al trabajar en tres estaciones en el embalse "El Niagara", en la estación más cercana a la descarga es donde aumenta el gradiente de contaminación y por lo tanto existe demanda de oxígeno, mientras que Mogollón *et al.*, (1993) en la cuenca del río Tuy, encontró que las concentraciones de oxígeno disminuyen en zonas de alta actividad humana debido a las descargas de materia orgánica de origen casero que ocasionan alta DBO y DQO.

### **Dióxido de Carbono y pH.**

La presencia del  $CO_2$  cuyo valor máximo fue de 6.6 mg/l y en algunos meses no se detectó, estuvo determinada por varios factores. El abatimiento que se presentó en los meses de Noviembre, Diciembre y de Febrero a Abril (Fig. 14) es debido a que el  $CO_2$  que se produce durante el proceso respiratorio que se acentúa durante la noche cuando no hay fotosíntesis y durante el día es utilizado por los productores primarios para llevar a cabo el proceso fotosintético, asimismo, su presencia en los meses subsiguientes puede ser debida al proceso de dilución ocasionada por la llegada de las lluvias, las cuales provocan un intercambio gaseoso con la superficie que ocasiona un aumento del  $CO_2$ , así como por el aporte de materia orgánica que es acarreada al sistema, que es degradada por las bacterias en presencia de oxígeno disuelto, de ahí

que se detectó hasta Octubre, esto es apoyado por la disminución del pH de Mayo a Octubre. Unado a esto se produce un descenso de temperatura del agua que hace que se disuelva con mayor facilidad (Valentyne, 1978).

El  $\text{CO}_2$  y sus diferentes formas dependen del pH por lo que ambos guardan estrecha relación como a continuación se explicará: se observa en la Figura 17 que cuando no se logra el abatimiento total del  $\text{CO}_2$ , el pH tiene una tendencia hacia la acidez porque el  $\text{CO}_2$  al entrar en contacto con el agua se forma ácido carbónico, proceso que se lleva a cabo a un pH menor de 8 (en el estudio se observó un pH de 6.75 a 7.90 en los meses de Julio y Febrero respectivamente). Sin embargo como el ácido carbónico es un ácido débil se disocia en el agua aumentando la concentración de iones hidronio produciéndose además iones carbonato y bicarbonato, éste sistema  $\text{CO}_2$ -bicarbonato actúa como tampón lo cuál ocasionará un amortiguamiento que mantendrá la neutralidad del sistema (Valentyne 1978). Debido a lo anterior en el sistema predominan los bicarbonatos ya que a valores bajos de pH existe una mayor presencia de  $\text{CO}_2$  y a altos valores predominan los carbonatos.

Otro factor que evitaría que el pH se desplace hacia la acidez según Pedrozo *et al.*, (1991) sería una disminución en la degradación de la materia orgánica debido a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto que se presentan en la parte profunda.

#### **Alcalinidad y Dureza Total.**

Una medida de la alcalinidad del agua es la cantidad de ácido requerido para valorar y graduar las bases presentes. El equilibrio se establece, al agotarse el  $\text{CO}_2$  con la precipitación del  $\text{CaCO}_3$ ,

Estos valores de alcalinidad presentaron un máximo de 89.4615 mg/l en el mes de Marzo y un mínimo de 44.4285 mg/l en el mes de Septiembre (Fig. 15) los cuales fueron moderados de acuerdo al criterio de Wheaton (1982), que se acentúa en los meses de Marzo a Julio por el aumento de la temperatura del agua. La alcalinidad tiene una tendencia a disminuir en Enero y de Mayo a Octubre debido a que existe una disminución del pH como consecuencia de la presencia de  $\text{CO}_2$ , el cuál, como ya se mencionó es de naturaleza ácida.

Las sales de calcio y magnesio son los principales causantes de la dureza, ya que son los más abundantes (Cole, 1979), éstos se combinan principalmente con los carbonatos y bicarbonatos (dureza temporal) por lo que están correlacionadas con la alcalinidad en la mayor parte del estudio. Este parámetro cuyo intervalo fluctúa entre 329.771 mg/l obtenidos en el mes de Marzo y un máximo de 517.8516 mg/l presentados en el mes de Junio (Fig. 18) indica aguas extremadamente duras conforme a la escala de Boyd (1979).

Este aumento puede deberse también a que en el mes de junio inicia el periodo de lluvias con lo cual hay un aporte por la dilución de rocas y minerales alcalinoterreos del suelo (Wetzel, 1981). También la dureza puede ser causada por la combinación de esas mismas sales con sulfatos, cloruros y otros aniones de ácidos minerales (dureza permanente) (Boyd, 1979).

### **Conductividad.**

Otra de las características físicas que determinan condiciones importantes de un sistema es la conductividad, la cual se define como una medida de la resistencia de una solución a la corriente eléctrica y va a estar determinada por el contenido de sales iónicas (APHA, 1980). En el presente estudio se presentaron altos valores de conductividad (519.3 a 791.5  $\mu\text{mhos/cm}$ ) como consecuencia de las altas concentraciones de iones calcio como lo demuestra el alto grado de dureza, que aunque no sigue un comportamiento directamente proporcional a ésta, en todos los meses es alta. El registro más alto (791.5  $\mu\text{mhos/cm}$ ) se dio en Junio, el más seco del estudio originado por una mayor tasa de evaporación que provocó un incremento en la conductividad por un aumento en la concentración de sólidos (Daborn and Clifford, 1979), asimismo Mogollón *et al.*, (1993) establece que la conductividad se ve influenciada por la interacción agua-material geológico, como sucede en el mes de Octubre donde se observa la más baja (519.3  $\mu\text{mhos/cm}$ ) como consecuencia de la dilución provocada por el incremento del volumen del vaso de agua. De acuerdo a los valores de conductividad que se obtuvieron, ésta se clasifica como de clase II porque se encuentra comprendida entre valores de 600 a 6000  $\mu\text{mhos/cm}$ , de acuerdo a la propuesta de Tallin y Tallin (citado en Harper, 1992). Arredondo (1992) reporta que para ríos, embalses y estanques mexicanos los valores de conductividad fluctúan entre 20 y 10,000  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Wetzel (1981) menciona que la solubilidad del  $\text{O}_2$  muchas veces se ve afectada por la concentración de sales; sin embargo, aquí no se observó ese comportamiento, más bien se mantiene indistinto porque mientras que en unos meses (Junio) la conductividad es alta, la concentración de  $\text{O}_2$  también lo es en otros (Octubre), aunque la conductividad disminuye (con respecto al mes anterior se sigue manteniendo alta), la concentración de  $\text{O}_2$  disminuye.

## Transparencia, Sólidos Suspendidos y Totales.

Con respecto a los resultados obtenidos de transparencia se observó un mínimo de 54 cm en el mes de Junio y un máximo de 106 cm en el mes de Enero. Estos resultados (Fig. 19), tuvieron una relación con los sólidos totales ya que la transparencia, depende de la naturaleza, tamaño y número de partículas presentes, por lo que al aumentar los sólidos la transparencia disminuye y viceversa, salvo en los meses de Enero donde aumentan los sólidos y también la transparencia y Abril donde disminuyen los sólidos y la transparencia se mantiene en descenso. Esto puede suceder porque la transparencia también se ve afectada por otros factores como son la longitud de onda, intensidad y ángulo de incidencia de la luz que reciben estas aguas (Wetzel, 1981).

Con respecto a la transparencia Margalef (1976) manifiesta que si el disco de Secchi desaparece a una profundidad menor de 3 metros el grado de eutrofia es muy elevado, mientras que de acuerdo a la clasificación propuesta por OECD (citada en Harper, 1992) pertenecería a un lago hipertrófico ya que para este grado establece un intervalo de 1.5 como máximo y 0.7 como mínimo; sin embargo, es necesario considerar otros parámetros obtenidos, ya que un sólo parámetro no da la clasificación, sino todos en su conjunto permiten ubicarlo dentro de cierto orden.

Otro factor que podría influir en la transparencia es la coloración del agua ya que también depende de la concentración y características químicas de sustancias disueltas (Wheaton, 1982) como el caso de la presa que presenta grandes cantidades de  $\text{CaCO}_3$  que reflejan más luz que las de los sedimentos de alto contenido orgánico y produce una coloración verdosa, así como la hora del muestreo y la posición del sol.

El intervalo obtenido en los sólidos totales fue de 544.35 a 686.22 mg/l en los meses de Diciembre y Junio respectivamente y se encontraron los mayores niveles en la época de estiaje como consecuencia de la concentración, con ligeras variaciones mensuales. Como se observa, el valor mínimo de transparencia se dio también en esta época, ya que el volumen baja y hay concentración de partículas suspendidas, lo que provoca un descenso en ésta; el máximo de transparencia se presentó cuando la presa se encontraba con gran cantidad de agua, por lo consiguiente, la mayoría de sólidos se habían reducido por la dilución. Otro factor determinante que afecta a la transparencia y que pueden actuar como sólidos es la biomasa planctónica ya que cuando se incrementa (época de secas), la transparencia disminuye debido a la absorción de la luz por parte de algunas algas (Gonzalez, 1988).

Otro origen de los sólidos son las arcillas que son transportadas por la acción de los vientos y por el arrastre provocado por las lluvias, que incluye los desechos sólidos, que en conjunto pueden provocar un aumento en la concentración de sólidos que a su vez afectan la transparencia. No se detectaron sólidos sedimentables mientras que los sólidos suspendidos al ser demasiados bajos en comparación con los sólidos totales (>20 mg/l) se consideraron despreciables por lo que los sólidos disueltos son iguales a los sólidos totales.

## NUTRIMENTOS

La determinación de los factores que limitan el suministro a los nutrimentos es importante para poder entender la producción de los sistemas acuáticos. Según Shelske (1979), el fósforo es el principal controlador de la productividad biológica que limita el crecimiento del fitoplancton en los sistemas acuáticos y es responsable de la eutrofización de los mismos, se encuentra presente en muchas formas químicas como iones fosfato inorgánico y como moléculas orgánicas (azúcares y DNA). Para el análisis cabe distinguir al fósforo inorgánico soluble y al fósforo total que comprenden todas las variedades del fósforo. También surge como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica llevada a cabo en los sedimentos bajo condiciones anoxicas, lo que estimula su liberación hacia los estratos superiores.

### Fósforo.

En este nutrimento se alcanza a apreciar bien las fases de circulación de Octubre a Febrero y la de estratificación de Marzo a Septiembre que de alguna manera se asemejan a las de temperatura. En ambas estaciones se observa que no existen variaciones estacionales muy marcadas a lo largo del estudio y estas concentraciones se pueden considerar moderadas ya que según diversas fuentes reportan que en el epilimnion las concentraciones para un lago no contaminado oscilan de 10 a 50  $\mu\text{g/l}$  y los niveles extremos de 200  $\text{mg/l}$  (Wetzel, 1981). De acuerdo a lo reportado por Pedrozo *et al.*, (1991) y Valdéz *et al.*, (1994) este ion es reintegrado a la columna de agua por procesos físicos y biológicos, asimismo menciona que la escasez de  $\text{O}_2$  en los sedimentos favorece la liberación del fósforo hacia la columna de agua; mientras que Ostrofsky and McGee (1990) mencionan que la concentración de fósforo total en los sedimentos incrementa con la profundidad de la columna de agua como resultado de un mayor transporte. Sin embargo, en este trabajo hay meses en los que la mayor concentración se obtuvo en las capas superiores (Febrero, Marzo, Agosto y Septiembre en la estación 1 y Febrero, Abril, Agosto y Septiembre en la estación 2), posiblemente este relacionado principalmente a factores antrópicos como podrían ser un aporte de detergentes (por parte de la población) ya que aunque existe la presencia de materia orgánica (organismos muertos, desechos fecales, etc.) sedimentable, es degradada por el oxígeno y que como se mencionó anteriormente, la ausencia de éste no es total en las capas profundas y por lo tanto no hay una gran liberación de fósforo hacia la columna de agua, además, de su posible precipitación con el  $\text{CaCO}_3$  como apatito (Valdéz y Real, 1994).

También una baja concentración de  $\text{CO}_2$  origina una mayor absorción de este nutrimento por parte del fitoplancton el cual tiene un efecto estimulador en su crecimiento cuando el fósforo interacciona con agentes quelantes o metales traza o ambos (Schelske, 1979).

Las concentraciones más altas se obtuvieron en Agosto y Septiembre y podría deberse a que durante las lluvias disminuyen las concentraciones de oxígeno, se presentan aportes de materia orgánica producidos por el escurrimiento de la cuenca, existe presencia de dióxido de carbono y disminuye el pH.

Otros aspectos que podrían estar implicados en la disponibilidad del fósforo en el sistema, son que se encuentra asociado con el  $\text{CaCO}_3$  y de acuerdo a las altas concentraciones que de éste se presentaron (valores de Dureza) existe la posibilidad de una alta precipitación en forma de fosfato cálcico a pH de 7, además, de que el calcio limita su solubilidad (Wetzel 1981).

De acuerdo a la clasificación propuesta por Vollenweider (1968, citado en Harper, 1992) sobre las concentraciones de fósforo total obtenido, la presa se clasifica como politrófico cuyo intervalo es mayor de 100  $\mu\text{g/l}$  si se considera que el valor máximo obtenido fue puntual.

### **Ortofosfatos.**

Algunos compuestos que contienen fósforo desempeñan un papel importante en la gran mayoría de las fases del metabolismo; como lo es en la fisiología y el crecimiento de las algas. La forma más importante del fósforo para que se dé este crecimiento es el fósforo soluble que comprende principalmente los ortofosfatos, los cuales son poco abundantes ya que constituyen un pequeño porcentaje del fósforo total aproximadamente del 5% o menor (Wetzel, 1981) y de ahí los bajos resultados que se obtuvieron (0.1669 mg/l en el mes de Diciembre como mínimo y 0.3825 mg/l en Septiembre como máximo). Los ortofosfatos entran en contacto con el agua durante el crecimiento activo de los organismos planctónicos, y este es reciclado rápidamente por los mismos, por lo que su disponibilidad depende de la tasa de consumo y de la regeneración que se presenta por medio de la excreción de los mismos; en el presente estudio las concentraciones que se presentaron en la presa tuvieron un incremento durante la época de lluvias (Julio-Septiembre) y bajas concentraciones en el mes donde se obtuvo la menor capacidad de la presa (Junio) por el aporte de materia orgánica (M.O.) y la concentración de oxígeno respectivamente. Además, los ortofosfatos son más intensamente absorbidos en presencia de la luz y bajo limitantes de  $\text{CO}_2$  así como por la cantidad de bacterias que degradan al fósforo.

### **Amonio.**

Otro nutrimento importante que se encuentra en los sistemas lacustres tanto en forma orgánica como mineral es el nitrógeno. Su abastecimiento principal proviene de la atmósfera, por la fijación de bacterias y algas (específicamente cianofíceas) y de la descomposición de la materia orgánica en condiciones de anoxia (Valdez y Real, 1994).

Las formas de nitrógeno aquí estudiadas están relacionadas entre sí ya que el propósito del ciclo del nitrógeno es reciclarse de una forma de uso a otra (Wheaton, 1982) como en breve se explicará.

Las concentraciones registradas de  $\text{NH}_4$  (Fig. 22) se encuentran en niveles óptimo; Wetzel (1981), establece que para un lago no contaminado los valores oscilan entre 0 y 5 mg/l en superficie y 10 mg/l en fondo en lagos eutróficos. En el presente estudio el amonio presenta una distribución muy variable estacionalmente y a lo largo de la columna, se registró la mayor concentración en el fondo, debido a las bajas concentraciones de oxígeno. Pia Paaby (1995), menciona que el amonio es absorbido rápidamente por los productores primarios o por bacterias y transformado a nitratos (proceso de nitrificación) cuando se trata de sistemas no perturbados, hecho que se confirma con los registros de los nitratos que son más altos que el amonio. Es probable que las concentraciones de amonio se puedan ver influenciadas por la alta concentración de M.O. presente en los sedimentos ( Ramos S., comunicación personal) y por la presencia de una porqueriza que se encuentra a un costado de la presa, como lo menciona Pia Pabby (1995) en su estudio en el arenal principalmente durante la época de lluvias.

La relación que guarda el  $\text{NH}_4$  con el  $\text{O}_2$  y la materia orgánica sigue un patrón definido, ya que cuando se presentan cantidades mínimas de  $\text{NH}_4$  (Abril), existen concentraciones elevadas de  $\text{O}_2$ ; en los meses donde las cantidades de oxígeno disuelto son bajas, se alcanzan máximos de amonio (Noviembre). Cole (1975), menciona que la mayor concentración del amonio se da en el fondo debido a la descomposición bacteriana. También influye la cantidad de algas y bacterias presentes que son fijadoras del nitrógeno (por ejemplo las Nostocales como *Anabaena sp.*) debido a que éste es asimilado por las algas y al morir éstas se desprende el  $\text{NH}_4$  (Sevrin *et al.*, 1990).

## Nitratos y Nitritos

Otros compuestos del nitrógeno en forma orgánica ( $\text{NO}_3$  y  $\text{NO}_2$ ) se encuentran forma mineralizada y oxidada por el proceso de nitrificación antes mencionado, aunque existe una parte de este nitrógeno que tiende a desaparecer por el efecto inverso llamado desnitrificación (Wetzel, 1981; Pia Pabby, 1995).

Los  $\text{NO}_3$  no presentaron variación muy marcada a lo largo del estudio y no variaron de acuerdo a la concentración del  $\text{NH}_4$ , siempre se encontraron en mayor cantidad (en un intervalo entre 0.2137 a 0.325 mg/l) que el amonio (a excepción de enero) como se observa en la Figura 22, debido a que este proceso se favorece en los ambientes aeróbicos y se lleva a cabo hasta concentraciones de 0.3 mg/l, mismas que se obtuvieron a lo largo del estudio.

Los nitritos como producto intermedio entre el amonio y los nitratos se encuentran en muy baja cantidad con valores de 0.0014 a 0.0124 mg/l que se encuentran dentro del intervalo óptimo (de 0 a 0.01mg/l) alcanzando el máximo en Octubre y el mínimo en Junio. Los resultados obtenidos de los nitratos con respecto de los otros compuestos nitrogenados indica que posiblemente la nitrificación es más intensa que la desnitrificación (Pedrozo and Bonetto , 1991).

Asimismo obtuvieron valores de fósforo total de 0.21 a 0.6 mg/l, nitratos de 0.26 a 0.365 mg/l, de 0 a 0.014 mg/l de nitritos y 0.005 a 0.530 mg/l de amonio en las aguas de la planicie del Chaco y establece que la relación N/P manifiesta un enriquecimiento de fósforo que proviene de los sedimentos y un empobrecimiento del nitrógeno debido a los periodos secos y húmedos

Magallón *et al.*, (1992) reporta valores menores de 3 mg/l en superficie y 0 mg/l de nitratos en el fondo de la presa "Los carros" y observan que la concentración se incrementaba conforme aumentaban las condiciones aerobias y disminuía al decrecer éstas en la columna de agua y se observó un comportamiento homogéneo en el periodo Octubre-Febrero excepto en Enero ocasionado por la mezcla, mientras que Flores (1994) en el embalse "El Niágara" obtuvo altos valores de nitrógeno y fósforo atribuyendo su incremento a un alta degradación de la materia orgánica, lavado de los suelos fertilizados y a los detergentes vertidos en el embalse respectivamente.

#### Sulfatos y Sulfuros.

El azufre al igual que los otros nutrimentos tiene un ciclo dentro de los sistemas acuáticos que se presenta en dos formas inorgánicas que son el sulfuro de hidrógeno y el ion sulfato. Las concentraciones de  $SO_4$  de la presa "Emiliano Zapata" indican que se trata de un cuerpo de agua altamente sulfatado que origina un alta salinidad, ya que los límites normales para los cuerpos de agua se encuentran entre 5 y 30 mg/l (Wetzel, 1981), mientras que las obtenidas en el presente estudio oscilaron entre 60.53 mg/l en Octubre y 80.84 mg/l en de Junio.

La variación en cada uno de los periodos (circulación-estratificación) tuvo altas y bajas concentraciones pero manteniendo siempre altos niveles (Fig. 23), valores que no son nocivos porque no presentan una alta toxicidad

Los sulfatos de manera estacional tuvieron ligeras variaciones, mientras que su presencia en la columna de agua se caracterizó por una alternancia entre los estratos superiores e inferiores, debido probablemente a que las concentraciones de oxígeno son discontinuas en algunos meses y ambas, se encuentran relacionadas ya que los sulfatos surgen como consecuencia de la oxidación de los sulfuros que provienen de los sedimentos cuando en el sistema existen condiciones aerobias adecuadas (Magallón *et al.*, 1992). En el presente estudio, éstas condiciones se dan en los estratos superiores por lo que esa sería la fuente principal de los sulfatos además de los fertilizantes, así como el transporte atmosférico y deposición de material seco.

Esto se reforzaría con el hecho de que cuando se realizó el muestreo, el agua tomada del fondo presentaba olor pútrido lo cual podría ser un indicativo de la presencia de sulfuros, los cuales no se detectaron sino hasta los meses de Agosto, Septiembre y Octubre al final del periodo de estratificación probablemente a que podrían ser metálicos y se pierden en los sedimentos (Wetzel, 1981) Los valores oscilaron de 13.22 mg/l a 13 7 mg/l en Septiembre (Fig. 23).

La presencia de sulfuros en los últimos tres meses es debido a que al bajar la concentración de oxígeno disuelto, las bacterias anaerobias reducen a los  $\text{SO}_4$  en sulfuro, proceso que se pudo haber acentuado por la presencia de cantidades de  $\text{CO}_2$ , el cual al contener carbono sirve de suministro de energía para llevar a cabo dicho proceso (Wheaton, 1982) y otra fuente de energía puede ser la aportación de materia orgánica. También la precipitación pluvial que se presentó en estos meses aporta ciertas cantidades de azufre por el lavado de los sustratos ya que las rocas sedimentarias tienen componentes como el sulfato de calcio que provienen del drenaje de regiones calcáreas, tal como las que se presentan en la presa (S.P.P.1981) y se presentan valores superiores al valor medio.

Como se puede observar cuando aumentan los sulfatos no existen sulfuros como en los meses de Noviembre a Julio y cuando estos aparecen, la concentración de aquellos disminuyen como en los meses de Agosto Septiembre y Octubre, por las causas antes mencionadas. La presencia de sulfuros en el medio facilita la liberación del fósforo a partir de los sedimentos lo cual sucede en aguas altamente sulfatadas como las de la presa "Emiliano Zapata", sin embargo, a pesar de la presencia de materia orgánica, ésta como no es degradada totalmente (comprobado con la relación Oxígeno-DBO) no hay suficiente energía que permita reducir a los sulfatos a sulfuros (Margalet 1976) por lo que no existe gran liberación del fósforo en forma de ortofosfatos.

La producción primaria en sistemas de agua dulce con bajas concentraciones de  $\text{SO}_4$  tienden a ser limitadas en fósforo mientras que la producción en muchos sistemas salinos con altas concentraciones de sulfato es a menudo suficiente en fósforo y deficiente en nitrógeno (Roberts *et al.*, 1992), contrario a lo obtenido en el presente estudio con relación al nitrógeno, donde las concentraciones de este nutrimento son óptimas para la producción primaria.

### **Silicatos.**

Los silicatos que se encuentran como ácidos silícicos disueltos y como sílice particulado en el ambiente al igual que otros nutrimentos, no presentaron una variación estacional muy marcada (Fig. 23), se presentó un mínimo de 12.71 mg/l en Marzo y un máximo en Septiembre de 30.05 mg/l, dichos valores se pueden considerar ligeramente por encima de los límites normales ya que la media mundial es de aproximadamente 13 mg/l (Wetzel, 1981).

Al igual que los sulfatos, de manera estacional se presentó de forma casi homogénea con ligeras variaciones mensuales, salvo en los últimos tres meses (Agosto-Octubre) donde los valores aumentaron casi al doble con respecto a los meses anteriores.

El incremento presentado en el mes de Septiembre y Octubre podría ser consecuencia de la pluviosidad que provoca remoción de los sedimentos ya que la concentración de los silicatos también depende del intercambio con estos, así como el desgaste de los substratos externos que llegan al sistema, esto aunado a que en estos meses hay un aumento en el  $\text{CO}_2$  y con el ácido carbónico reaccionan con los silicatos formando carbonatos y sílice, por lo que aumenta la tasa de éste. Además, la abundancia del sílice en los sistemas acuáticos está relacionado principalmente con la biomasa de las bacillariofíceas (Margaleff, 1983), ya que éstas limitan los silicatos debido a que estos son asimilados por estas algas para llevar a cabo la síntesis de sus frústolos (Getachew, 1988). Este puede ser el factor principal en la distribución de los silicatos en este sistema, ya que no hay evidencia bien fundamentada de que haya gran influencia de los aportes externos (por el tipo de roca de los substratos) e internos como sería la descomposición de las plantas que contienen silicio o en la salida de agua en relación a la concentración, que no varía mucho en el periodo de Noviembre - Agosto.

## **Cloruros**

El anión cloro tuvo una variación muy marcada estacionalmente ya que como se observa en la Fig. 24 tiene fluctuaciones que pudieron ser ocasionados por algún factor ajeno al equilibrio evaporación-precipitación como podría ser el vertido de cloro (blanqueadores) por parte de la población, en el caso donde se presenta un aumento.

El cloro al ser una base, forma sales que podrían tener un efecto sobre la salinidad y ésta a su vez sobre la conductividad; a pesar de esto, su distribución no tiene ninguna relación con ésta, ya que en la mayor parte del estudio tienen un comportamiento inversamente proporcional, además en algunos meses aumentan o descienden juntos (Mayo, Agosto y Septiembre) esto podría suceder como consecuencia que el  $\text{Cl}^-$  tiene poca influencia en la distribución espacial y estacional de los lagos luego de llevar a cabo su papel en el metabolismo (Wetzel 1981)

En la Tabla 3 se enlistan los valores máximos y mínimos promedio así como los puntuales de cada uno de los parámetros físicos, químicos y nutrientes determinados en el estudio. En la Tabla 4 se realiza un comparación entre el trabajo actual y el realizado por Granados (1990) solamente en cuanto a factores físicos y químicos. La Tabla 5 muestra los límites permisibles para el agua dependiendo del uso que de ella se haga, porque por ejemplo, el agua óptima para la vida acuática puede no ser buena para el consumo humano o riego y viceversa.

De acuerdo a los datos obtenidos en la presa "Emiliano Zapata" indican que ésta es adecuada para la vida acuática y puede ser utilizable tanto para el riego como para el abrevadero. En el caso del riego la DQO rebasan los límites permitidos en junio pero en general es bueno el sistema el cual se consideró como mesotrófico.

## PLANCTON

En los sistemas acuáticos gran cantidad de organismos viven suspendidos en la columna de agua a los cuales se les denomina plancton, su importancia radica en que se encuentran en los primeros eslabones de la cadena trófica y constituyen la unidad básica de la producción de materia orgánica de los sistemas acuáticos. Estos organismos han sido separados en dos grupos: fitoplancton (vegetales) y zooplancton (animales) los cuales necesitan una detallada atención con una consideración de los más importantes requerimientos ambientales (Payne, 1986).

### Fitoplancton.

Los resultados de la clasificación taxonómica se muestran en la tabla 6. La disponibilidad de la comunidad fitoplanctónica en el medio acuático se caracterizó por presentar a lo largo de todo el año dominancia por parte de la división chlorophyta (Fig. 25) seguido de las tres divisiones restantes en el siguiente orden: cyanophyta>chromophyta>euglenophyta, similar a lo obtenido por Lewis (1978), quien menciona que las clorofíceas dominaron debido a la gran diversidad de especies presentes en el estudio del lago Lanau.

La proporción que guarda cada una de las divisiones depende de su disponibilidad en el medio acuático, la cuál está supeditada a las condiciones que este tenga así como a las cuales las algas se adapten mejor. En base a esto se puede decir que la disponibilidad de las euglenofíceas se debe a que son predominantes en los medios con materia orgánica abundante y en la presa aunque predominan estas condiciones, se encuentran en baja cantidad, ya que son organismos temporales y predominan en los substratos. Las bacilliarofíceas pueden ser poco abundantes debido posiblemente a que la mayoría se encuentran localizadas en los substratos, ya que muchas de ellas son sésiles (Getachew, 1988) tal es el caso de *Melosira sp.* que puede permanecer en el fondo de los lagos todo el año, ya que las concentraciones de sílice no pueden ser consideradas como limitantes en su desarrollo y reproducción.

La mayor presencia de las cianofitas con respecto de las anteriores divisiones se le puede atribuir a que no son susceptibles a ser depredadas por su alta toxicidad (ejemplo, *Mycrocystis sp.* y *Anabaena sp.*) que representa un peligro para los organismos acuáticos especialmente en el zooplancton (Margaleff, 1976; Sevrin, *et al.*, 1990) y a que la materia orgánica favorece su disponibilidad en el sistema (Boyd, 1982). Por último la mayor abundancia de las clorofíceas, puede ser atribuida a los florecimientos que presenta esta división y a la alta resistencia que tienen a la digestión cuando son depredadas debido a lo fuerte de sus estructuras (principalmente las mucilaginosas), es decir, sus células permanecen intactas una vez que se ha llevado a cabo la digestión en un organismo y se mantienen todavía viables (González, 1988). Algunas Clorofíceas (*Chlorella sp.*) pueden producir sustancias inhibitorias de otras algas.

Dentro de la división Chlorophyta, en la clase Zygothryxales existen especies que tienen preferencia por aguas ácidas con bajas concentraciones de Ca tales como *Cosmarium sp* y *Closterium sp.* que son los géneros más comunes (González, 1988) aunque Margalef (1983) menciona que las desmidáceas se presentan cuando el agua del sistema es rica en calcio y por lo tanto se consideran alcalinas, así como en sistemas en donde la concentración de cloruros es alta, factor integrado al sistema acuático por factores antropogénicos. Todo esto al considerarlo de manera general ya que intervienen otros factores en la distribución del fitoplancton que a continuación se explican.

Las especies dominantes en cada una de las divisiones encontradas a lo largo del estudio se muestran en las Fig. 26-28.

La variación estacional está representada en la Fig. 29, en ella se muestra que todas las algas tienen un decremento en invierno, depresión causada por el periodo de mezcla aunado a la baja intensidad de la luz (González, 1988). El inicio de la primavera va acompañado de un afloramiento que se origina con el rompimiento de la mezcla incrementándose primero las bacillariófitas (Arredondo, 1993), como sucede en Abril, conforme pasa el tiempo son remplazadas por las algas verdes las cuales son favorecidas en su desarrollo cuando otras algas disminuyen y por las cantidades de fósforo que la benefician (por ejemplo a *Scenedesmus sp* que absorben cantidades excesivas de fosfato) como se observa en Noviembre, Marzo, Mayo y Octubre donde el comportamiento entre los dos es anacrónico.

Por último las cianofitas cuyos florecimientos dependen más del nitrógeno disponible (Sevrin *et al.*, 1990) se vieron beneficiadas en su desarrollo en Enero, Marzo y Agosto con la consecuente disminución de éste nutrimento en los mismos meses, ya que regulan la relación P/N y cuando éste se desvía hacia el fosfato hay desarrollo de éstas (Margalef, 1983). Al inicio de la temporada de lluvias pueden producirse incrementos en toda la población fitoplanctónica ya debido al aporte de nutrimentos a la presa. Algunas especies de Cianofitas pueden fijar nitrógeno molecular por medio de los heterocistos entre las que se pueden ejemplificar *Anabaena sp.*, *Spirulina sp.* mientras que otras no lo hacen como *Microcystis sp.* En cuanto a las euglenas, estas permanecen casi constantes durante el ciclo, esto debido a los aportes de materia orgánica.

En la tabla 7 se muestra el porcentaje de abundancia y de frecuencia de ocurrencia las cuales son independientes una de la otra, ya que la abundancia indica la mayor cantidad o sea, a las especies más importantes de manera general en el estudio, mientras que la frecuencia de ocurrencia es el porcentaje que tienen en cuanto a su presencia en cada uno de los meses. La abundancia de una especie no garantiza su presencia en todos los meses por ejemplo *Scenedesmus sp* presenta una abundancia relativa baja (11.63%) y una frecuencia de ocurrencia del 100% es decir se presentó en todos los meses, mientras que por ejemplo *Cosmarium sp.* con una mayor abundancia (23.73%) tuvo una frecuencia de ocurrencia de 58.33%, no se presentó en todo el año a pesar de ser más abundante.

Para poder dar una interpretación a los datos se analizaron ambas estaciones por separado ya que el análisis estadístico (Kruskall-Wallis) determinaron que entre ambas estaciones existe una diferencia significativa en cuanto al comportamiento del fitoplancton en la columna de agua, quizá esto se deba a que las condiciones de oxígeno, temperatura, materia orgánica así como las actividades atóricas que se realizan cerca de la estación 1 tienen un comportamiento distinto como consecuencia de la diferencia de profundidades entre una y otra estación lo que provoca variabilidad en cuanto a su abundancia

Aunque la mayor cantidad de organismos se registró a 7 m de profundidad en la estación 2 de manera puntual (Fig 32-33) al promediar los valores, por nivel de acuerdo a los resultados del análisis estadístico aplicado, en general las más altas concentraciones se detectaron en la estación 1 a 1 m de profundidad y en la estación 2 en la superficie, mientras que la mínima concentración de ambas estaciones se registró en la zona profunda (Tabla 9). Granados (1990) no determina taxonómicamente al fitoplancton pero si la variación estacional y obtuvo la mayor densidad en Febrero con  $238 \times 10^5$  cel/l y la menor en Octubre con  $36.2 \times 10^5$  cel/l, las cuales son mayores que en el presente estudio. Flores (1994) en la presa el "Niagara" para reporta de 24 252 a 454 280 org/l en los que domina *Chorella sp.* y *Euglena sp.*

De acuerdo a Margalef (1983) las concentraciones en cada una de las profundidades a las cuales se trabajó superaron los límites normales ya que él establece para cuerpos de agua eutrofizados el intervalo es de 100 a 10,000 org/ml, esto se debe a que las condiciones de temperatura son adecuadas, así como el Ca (que ayuda al metabolismo del sistema), la concentración de nutrimentos, que aunque son óptimas, es moderada en ambas estaciones (aunque algunas especies como *Anabaena sp.*, *Seloneastrum sp.*, *Ankistodesmus sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Chlorella sp.* y *Euglena sp.* son propias de aguas eutróficas) principalmente los más importantes en el crecimiento del fitoplancton como son: el fósforo que por ser componente de los ácidos nucleicos y del ATP es la base de la síntesis enzimática y de los sistemas de transferencia de energía en la célula y el nitrógeno que es necesario para la síntesis proteica de las algas.

Saguer *et al.*, (1991) menciona que los limitantes en el tamaño y composición de las especies de fitoplancton y zooplancton concierne al límite de los nutrimentos y estos influyen grandemente en la dinámica e interacción de estas comunidades, mientras que Pia Paaby (1995) reporta que la dinámica de las comunidades del fitoplancton se ven influenciadas por el fósforo de los afluentes. Asimismo, el sílice, otro limitante del crecimiento algal, juega un papel importante en las diatomeas como componente de estructuras esqueléticas y en otras es utilizado para síntesis de proteínas y carbohidratos (González, 1988). Por los resultados que se dieron de éste nutrimento sería un indicativo de que no existe una gran asimilación del mismo por parte de las algas bacillarófiticas como consecuencia del reducido número presente de éstas en el medio acuático (con respecto a las otras algas) ya que las concentraciones de los silicatos se pueden considerar adecuadas (<0.5mg/l) e inclusive elevadas en algunos casos.

Lewis (1978) reporta que en el lago Lanao se registró un promedio de 2.2 mg/l de sílice presente en la zona eufótica y no hay una deplección suficiente para limitar completamente el crecimiento de las bacilariófitas.

Dentro de esta clase son más abundantes las pennales que las centrales (González, 1988), comportamiento que se registró en el estudio como se observó en las cantidades de *Navicula sp* y *Synedra sp* que son superiores a las de *Cyclotella sp* y *Melosira sp*.

Otro aspecto importante que influye en el fitoplancton es la depredación a la que es sometido por parte del zooplancton, así como de los componentes del necton cuyos organismos predominantes en este cuerpo de agua son las tilapias con hábitos alimentarios primordialmente fitófagos en la fase adulta.

En la estación 1 se presentó una mayor abundancia algal que en la estación 2, debido a que presenta menor profundidad y la intensidad de la luz abarca una mayor parte de la columna de agua; asimismo se ve influenciado por la topografía que se presenta en la estación 2 cuya ubicación se localiza entre dos pendientes y esto provoca que la intensidad de la luz disminuya por la sombra que se produce en el agua la mayor parte del día, esto está relacionado directamente con el crecimiento de las algas independientemente de que la respuesta a dicha intensidad es variable según las especies (Roberts *et al.*, 1992). Esto se puede comprobar con las concentraciones de oxígeno que en general son mayores en la estación 1 como ya se discutió anteriormente.

En las Fig. 30-31 se aprecia que la mayor cantidad de organismos fitoplanctónicos se concentra en las capas de 1 y 2 m seguido de la superficie y se reduce a partir de los 3 m, asimismo se observa que hay una alternancia en los grupos dominantes. En cuanto a la cantidad de algas entre esos niveles no se presenta una relación aparente tanto en la etapa de circulación por el efecto de la mezcla como en la de estratificación ya que posiblemente el gradiente térmico puede inducir diferentes respuestas fisiológicas en el fitoplancton contenido en el epilimnion e hipolimnion (Roberts *et al.*, 1992).

Aunque ésta distribución probablemente depende (aparte de los factores ya mencionados: luz, temperatura, nutrientes, etc.) de la tasa de sedimentación que presenta el fitoplancton y va a variar dependiendo de la especie y de la hora del muestreo del mismo, ya que como se muestra en la Fig. 27, se tiene un comportamiento muy diverso, ya que en la mayoría de los meses no se presentó en la superficie la mayor cantidad de organismos, esto se debe a que una permanencia prolongada en ese estrato las expondría a un alta intensidad de la luz y esto es perjudicial para muchas algas porque se produciría un efecto inhibitorio en la fotosíntesis (fotoinhibición) como consecuencia de la destrucción fotooxidativa de ciertas enzimas (Hutchinson, 1957; Umaña y Jiménez, 1995), aunque en los de Diciembre, Abril y Julio, la mayor concentración se localiza en el estrato superior

El motivo por el cual la mayor parte se concentra en las capas intermedias de la estación 1 es porque probablemente el proceso de sedimentación disminuye debido a que la temperatura va descendiendo conforme aumenta la profundidad, lo que ocasiona una diferencia de densidades que hace que se detengan las algas, eso podría suceder en los meses de estratificación porque en el de circulación el fenómeno podría estar relacionado con los métodos de las algas para reducir la sedimentación (Wetzel, 1981). En los estratos más profundos se encuentra la menor cantidad de organismos por las condiciones anóxicas y falta de luz que ahí se presentan.

En la estación 2 (Fig 32-33) aunque no se presenta un comportamiento estadístico semejante al de la estación 1 como ya se mencionó, biológicamente son similares en cuanto a la alternancia de la dominancia en los estratos con ligeras diferencias, ya que en Febrero (9m), Junio y Septiembre (7m) presentan la mayor cantidad de organismos debido al periodo de mezcla, a las altas temperaturas y como consecuencia de las condiciones pluviales provocó que los organismos se concentren en el fondo al azar respectivamente. Aunado a lo anterior también una determinante en la distribución de las algas es la atenuación de la luz por medio del agua, partículas suspendidas y componentes orgánicos que provocan absorción de la misma, que ocasionan que unas longitudes de onda penetren más profundo que otras e influya en la distribución de las algas (González, 1988).

Al conjunto de organismos identificados se les determinó el índice de diversidad o heterogeneidad de especies, característica única a nivel de comunidad de organización biológica de la estructura de la comunidad (Brower and Zar., 1977). En la tabla 8 se muestra como fue variando el índice diversidad de especies de manera mensual, se observa que en esta variación hubo aumentos y disminuciones al azar por el efecto ambiental en general. La mayor diversidad de especies se registró en Septiembre donde se observa también un mayor número de éstas (24) que pudo no haberse dado así ya que el índice de diversidad depende del número de individuos totales, es por eso que en algunos meses se presenta un número igual de especies y un índice de diversidad diferente, ejemplo Diciembre y Enero. La mayor igualdad o equitatividad se dio en Septiembre esto es, que el número de especies presentes se encontraron en una proporción similar que en los otros meses como en Mayo, cuyo valor más bajo indica que hubo un dominio por parte de algunas algas. Estas variaciones que se dan tanto en el número de especies, índice de diversidad así como en la igualdad dependen principalmente del ciclo de vida de cada una de las algas y de las condiciones ambientales que prevalecen en el sistema.

En las figuras 34-39 (diagrama de escalera) no se observa una relación aparente entre el fitoplancton y cada uno de los parámetros determinados, sin embargo tomando en consideración al valor registrado para  $r$  que más se acerca a 1 a una  $P < 0.05$ , se puede establecer que el fitoplancton se encuentra más relacionado con el oxígeno, nitratos, DBO y temperatura, en ese orden, aunque la correlación fue baja en todos los casos, esto se debe a que el oxígeno es producto de deshecho, con la DBO por la cantidad de materia orgánica que en algunos casos afecta al fitoplancton, mientras que la relación que tiene con los nitratos es que éstos son compuestos del nitrógeno que es

un nutrimento esencial en su desarrollo, en tanto que la temperatura es también indispensable en el crecimiento de las mismas.

En las gráficas de fitoplancton vs fósforo total, ortofosfatos y sulfatos se presentaron casos aislados que son considerados como extraordinarios, debido que como ya se mencionó en el caso de los compuestos del fósforo la concentración la variación está determinada por los factores antropogénicos, en los sulfatos el dato extraordinario no se aleja demasiado del grupo de datos y solamente se registró una sola vez en el año, lo que indica que fue consecuencia de un error de método. En el caso de los sulfuros, cloruros y  $\text{CO}_2$ , se observó que algunos datos se agrupan de manera lineal tanto horizontal y verticalmente se debe a que estos registraron valores de 0 mg/l (como ya se discutió en el apartado de cada parámetro) y por lo tanto se ve ese comportamiento, por último en el caso de la DQO donde se observa que hay una menor cantidad de datos es porque este parámetro solo se muestreo a 3 niveles superficie, medio y fondo durante todo el estudio.

### Zooplancton.

Para la determinación taxonómica del zooplancton se recurrió a las claves propuestas por Pennak (1978), se identificaron 11 géneros distribuidos en la clasificación taxonómica que se presenta en la tabla 10. De las dos clases determinadas la más abundante en cuanto a número de géneros y en cantidad fue la clase crustácea en la cual dominó a lo largo del estudio el género *Limnocalanus sp.* Dentro de los principales grupos del zooplancton en el ciclo anual se tuvo el siguiente orden de abundancia: copépodos>cladóceros>larvas>rotíferos (Fig. 40).

Organismos encontrados en el sistema *Diaptomus*, *Dialhanosoma*, *Daphnia* y *Brachionus* son comunes en los cuerpos de agua mexicanos (Navarrete *et al.*, 1993). Saguer *et al.*, (1991) reportan en su estudio del lago Michigan que algunas especies de cladóceros y copépodos calanoides son dominantes en condiciones mesoligotróficas. En la presa "Emiliano Zapata" Granados (1990) determinó 8 especies de rotíferos, 3 de cladóceros y 2 de copépodos, coincidiendo con el presente estudio en los géneros de *Brachionus*, *Daphnia*, *Cyclops* y *Diaptomus* solamente. Además en este trabajo se llegó a nivel de género. La dominancia en biomasa que el obtuvo en los grupos fue: copépodos> rotíferos>cladóceros.

Las bajas cantidades de los rotíferos con respecto a los otros grupos se deben a que al igual que las bacilariofíceas, son sésiles y se encuentran localizados de manera permanente en los substratos, así como por lo diminuto de su tamaño es difícil obtenerlos por la selectividad de la red, las larvas nauplio aunque están también asociadas a los substratos su presencia más bien depende de los ciclos reproductivos de los copépodos, éstos al igual que los cladóceros siempre son más abundante debido a la adaptabilidad que han tenido a diferentes condiciones ambientales: los cladóceros son muy representativos en el litoral de los lagos dentro del plancton dulceacuícola, mientras que los copépodos se pueden localizar tanto en ambientes

marinos y dulceacuícolas, en la zona litoral, bentónica y pelágica (González, 1988) y porque en sistemas con baja alcalinidad existe una relación inversa con la proporción de copépodos (Hazelwoody y Parker, 1961; Eilas y Sánchez, 1985 citados en Navarrete *et al.*, 1993).

Esto es de manera muy general, sin embargo, existen diversos factores que determinan la variación de los diferentes grupos a lo largo del año como a continuación se mencionan.

La Fig. 41 indica la variación de cada uno de los grupos a lo largo del estudio, la cual es ocasionada por diversos factores: en el caso de los copépodos los cuales son los que se presentan en mayor cantidad a lo largo del estudio se debe a que éstos presentan varios picos reproductivos a lo largo del año como lo demuestra la presencia de larvas nauplio en los meses de Diciembre, Febrero, Junio y Octubre en los cuales descendiende la cantidad de copépodos y luego se restablece. Estos picos pueden estar determinados por dos factores, en el periodo de mezcla, la homogenización de las condiciones ambientales, nutrimentos así como el fitoplancton favorecen su desarrollo y en Junio el aumento de la temperatura y por tanto su metabolismo. (González, 1988).

Asimismo el ambiente es más propicio para los copépodos ya que la mayoría de ellos fueron de tipo calanoideo y estos dentro de sus hábitos alimentarios contemplan a las algas verdes y a las baciliariofíceas las cuales tienden a disminuir cuando aumentan los copépodos.

En cuanto a la variación de los cladóceros podría ser que esté determinada por la presencia de las cianofíceas ya que como lo menciona Nielssen (1978, citado en Sevrin *et al.*, 1990), una proliferación de éstas provoca un decrecimiento en el número de grandes filtradores por lo que cianofíceas y cladóceros no se desarrollan simultáneamente, proceso que se da en el sistema durante casi todo el año (Fig. 29 y 41) así mismo son sujetos a depredación de parte algunos copépodos (Sevrin *et al.*, 1990). El efecto que tienen las cianofíceas sobre los cladóceros lo tienen sobre los rotíferos por lo que también tienden a disminuir cuando aumentan las cianofíceas, además de que estos organismos se reproducen por medio de huevos los cuales pueden permanecer latentes adheridos al sustrato durante las época de secas y al llegar las lluvias con el aporte de nutrimentos, éstos son aprovechados para su desarrollo (González, 1988), en la Fig. 41 se observa que de Marzo a Junio hay poca cantidad de rotíferos y posteriormente aumentan.

Debido a que en el análisis estadístico (prueba de Kruskal-Wallis) no se encontró diferencia significativa en el comportamiento de la estación 1 con respecto a la estación 2 se promediaron las cantidades para hacer un análisis conjunto. La densidad de organismos tuvo un ligero incremento a partir de Mayo por la época de estiaje con respecto a los meses anteriores y tuvo su menor concentración en Marzo (5 org/l) y el máximo en Octubre (77 org/l) Fig. 42. Granados (1990) reporta la mayor densidad en Diciembre con 733 org/ml y la mínima en Abril y Mayo con 5 org/ml

Las cantidades del zooplancton se pueden considerar bajas y surgen por diferentes motivos; uno de ellos podría ser la concentración de nutrimentos que influyen en la disponibilidad de alimento que representa el fitoplancton. Sin embargo como éstos son óptimos para el desarrollo, lo que podría tener mayor influencia está relacionado con la distribución del zooplancton a lo largo de la columna de agua, originada por las migraciones que realizan durante el ciclo diario: durante la noche hacia las capas superficiales y durante el día hacia las capas inferiores, entonces tomando en cuenta que el muestreo se realizó a mediodía y sobre la zona superficial solamente (por cuestiones de método) la población zooplanctónica es probable que en esos momentos se encontraría en las capas inferiores. Ese sería el factor de mayor peso que podrían afectar las concentraciones del zooplancton en el sistema, aunado a ésta, en la superficie también podrían sufrir depredación por parte de dípteros (insectos) Umaña y Jiménez (1995), los cuales aunque no se determinaron, se detectó su presencia en la superficie del agua.

El ciclo anual del fitoplancton y zooplancton se superponen de manera coherente en muchas ocasiones, como se observa en las Fig 43 y 44 donde las concentraciones del zooplancton con respecto a las del fitoplancton siguen este comportamiento en la mayor parte del estudio, es decir, al haber un aumento de zooplancton hay un decremento del fitoplancton y viceversa, se observa dicho comportamiento en ambas estaciones, a pesar de que los organismos zooplanctónicos no solamente se alimentan de fitoplancton sino que también incluyen en su dieta materia orgánica en suspensión y detritus (Payne, 1986). La comparación solamente se hizo con el fitoplancton superficial ya que el zooplancton solamente se muestreo en dicha zona, además de que la biomasa en ambos es diferente.

Umaña y Jiménez (1995) mencionan que la ausencia de filtradores propicia que existan en el medio organismos fitoplanctónicos de tamaño pequeño. Sin embargo en éste sistema se registraron organismos tanto filtradores (Calanoideos y Cladóceros) como no filtradores (Ciclopoideos, Herpaticoideos, Cladóceros y Rotíferos) y organismos del fitoplancton grandes (*Ankistodesmus sp.* y *Scenedesmus sp.*) como pequeños (*Chlorella sp.* y *Desmococcus viridis*).

## CONCLUSIONES

La presa "Emiliano Zapata" es un cuerpo de agua permanente cuya área y volumen depende de la época de lluvias y estiaje, así como de la extracción debido al manejo de la compuerta para las actividades agrícolas.

El cuerpo de agua tiende en la superficie a una forma elíptica y hacia el fondo a una sinusoide elíptica.

El cuerpo de agua se clasificó como monomítico cálido y holomítico.

Se registró la presencia de una termoclina definitiva la cuál fue muy inestable ya que sólo se presentó en Mayo, Junio y Agosto.

La mayoría de los factores químicos y nutrientes (a excepción de la alcalinidad, amonio, sulfatos y cloruros) se vieron influenciados por la morfometría y batimetría con un aumento en la época de estiaje en algunos y una disminución en la de dilución en otros.

No existieron diferencias significativas a una  $p < 0.05$  en la mayoría de los factores físicos químicos (nutrimentos) en cuanto al comportamiento en ambas estaciones de muestreo a excepción de oxígeno, temperatura, DBO, DQO y fósforo.

De acuerdo a las concentraciones obtenidas de los parámetros la calidad del agua se considera óptima para la vida acuática, el riego y el abrevadero ya que se encuentran dentro de los rangos óptimos para dichas actividades.

Si se consideran algunos de los parámetros individualmente indicarían un sistema eutrófico, sin embargo al considerarlos todos en su conjunto se puede clasificar como de tipo mesotrófico.

Se encontró un alta diversidad de especies fitoplanctónicas de las cuales la más abundante fue *Chroococcus minutus*, mientras que del zooplancton sólo se registraron 11 géneros con una mayor abundancia de *Limnocalanus sp.*

Para el fitoplancton la mayor diversidad de especies se registró el mes de Septiembre donde se obtuvo el mayor número de especies así como la mayor equitatividad de las mismas.

## BIBLIOGRAFIA

- Apha-Awwa-Wpcf. (1980). **Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales**. 17a Edición, editorial Ediciones Diaz de Santos, Madrid España. 221pp.
- Arredondo-Figueroa J. L. y Flores Nava A. (1992). Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y su manejo en la acuicultura. **Hidrobiológica** vol 3/4: 1-10.
- Arredondo Figueroa J. L. (1993). **Fertilización y Fertilizantes: Su Uso y Manejo en la Acuicultura**. 1a Edición, editorial UAM 202 pp
- Arredondo-Figueroa J.L. y Ponce-Palafox T. (1986). Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal, tropical por medio de la aplicación de modelos multivaridos. **An. Inst. Cienc. del mar y limnol.** 13(2):47-66
- Brower, E. J. and J.H. Zar (1977). **Field and laboratory methods for general ecology**. Wm. C. Brown Company Publishers Iowa pp
- Boyd, C. E. (1979). **Water Quality in Warmwater Fish Ponds**. Auburn University, Auburn Alabama, 359pp
- Boyd, C. E. and Musig, Y. (1981). Orthophosphate Uptake by Phitoplankton and Sediment. **Aquaculture**, 22: 165-173.
- Boyd, C. E. (1982). **Water Quality Management For Ponds Fish Culture**. Elsevier Scientific Publishin Co, New York, 318pp.
- Cardenas P. Mendez L. Ramirez I. (1990). **Estudio Preliminar de Algunos Aspectos Biologicos y de contaminación para las especies Mugil curema Valenciennes, Cathorops melanopus (Gunther) y Brevoortio patronus Goode (Pisces Teleostei) en la Laguna de Pueblo Viejo Veracruz**. Tesis Profesional de Licenciatura, ENEP Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México 112 pp.
- Charlton.(1980). Hypolimnion Oxygen Consumption Lakes: Discussion of Productivity and Morphometry Effects. **Can. J. Fish Acuac. Sci** 37:1531-1539.
- Cole, G. A. (1979) **Text Book of Limnology**. 2a. Edición, editorial Mosby S. Louis Missouri 426 pp.
- Daborn C.R. and Clifford (1979). Physical and chemical factures of and estiva in western Canada. **Hidrobiologia**. 44(1):43-59.

De la Lanza G. y García C. J. L. (1995). **Lagos y Presas de México**. 1a Edición, editorial Centro de Ecología y Desarrollo, México D.F.: 320p.

Edmonson, W.T. (1959). **Fresh-water biology**. 2a Edición, editorial Wiley, New York, E.U.A. 1248pp.

Edmonson, W. T. y Lehman J.T. (1981). The effect of changes in the nutrient income on the condition of lake Washington. **Limnology and Oceanography** 26(1): 1-29.

Flores, T. F. (1994). Caracterización Físicoquímica del embalse "El Niagara", Aguascalientes. **Tópicos de investigación y posgrado**. III (3):26-30.

García, E. (1973). **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república Mexicana)**. 2a edición UNAM, México. 246 pp.

Getachew T. (1988). Digestive efficiency and nutrient composition gradient in the gut of *Oreochromis niloticus* L. in Lake Awasa, Ethiopia. **Journal Fish Biology** 33, 501-509.

Gómez Márquez J L y Peña Mendoza B. (1995). Los recursos acuáticos del Estado de Morelos **bien**. 1 (2): 25-26.

González de Infante, A. (1988) **El plancton de las aguas continentales**. 1a Edición, Escuela de Biología Facultad de Ciencias, Universidad Central Caracas, Venezuela. 130 pp

Granados Ramírez J.G.(1990).**El comportamiento del zooplancton en tres ambientes acuáticos epicontinentales del estado de Morelos, México**. Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM 42 pp.

Harper David (1992). **Eutrophication of Freshwaters: principles, problems and restoration**. 2a Edición editorial London: Chapman and Hall. 327 pp.

Hutchinson, G. E. (1957). **A. Treatise on Limnology**. vol.1. 1a Edición, editorial Wiley-Interscience, New York , 137pp.

Laevastu, T. (1971). **Manual de métodos de biología pesquera**. 2a Edición, editorial Acribia Zaragoza, España: 243pp.

Lewis W. M. Jr (1978). A Compositional, Phytogeographical and Elementary Structural Analysis of the Phytoplankton in a Tropical Lake: Lake Lanao, Philippines. **Journal of Ecology**, 66:213-226.

- Lewis W. M. Jr. (1983). A Revised Classification of Lakes Based on Mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40:1779-1787.
- Lind O.T.(1979). *Handbook of common methods in Limnology*. 2a Edición editorial The C.V. MOSBY COMPANY ST. LOUIS M.
- Margalef Ramón. (1976). *Biología de los Embalses. Investigación y Ciencia*, 1:50-62
- Margalef Ramón. (1983). *Limnología*. 1a. Edición, editorial Omega Barcelona 1010 pp.
- Magallón, B. S., Maya Paulo J. y Pardo D. E. (1992). Avances en el conocimiento de la presa "Los Carros" Morelos, un embalse de reciente información. *Universidad:Ciencia y Tecnología* 2(2): 121-129.
- Marques, M.J. (1988). *Probabilidad y estadística*. Primera edición, U.N.A.M. México, D.F., 657 pp.
- Márquez J. A. (1985) *Comportamiento e Interrelaciones de los Parámetros Físicoquímicos y Biológicos en la Laguna de Coatetelco, Morelos Durante un Ciclo Anual*. Trabajo presentado como Tesis Profesional (No concluida). Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 60 pp.
- Mogollón J.L., Ramirez A., Garcia B.Y Bifano C. (1993). Uso de los parámetros físico-químicos de las aguas fluviales como indicadores de influencias naturales y antrópicas. *INERCIENCIA*.18(5), 249-254.
- Molot, L. A., P. J. Dillon, B. J. Clark, and B. P. Neary. (1992). Predicting End-of-Summer Oxygen Profiles in Stratified Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49; 2363-2372.
- Morales D.A. (1991). *La tilapia en México*. 1a Edición AGT editor, S.A. México D.F.
- McCauley, E., y J. Kalff. (1981). Empirical Relationships Between Phytoplankton and Zooplankton Biomass in Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38; 458-463.
- Navarrete N. Salgado y Fernández G. Elías(1993). Composición y abundancia del zooplankton en un sistema psicola del estado de México. *Cuad.Méx.Zool* 1(1),8-14.
- Needham, J. y Needham, F. (1972). *Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces*. 5a Edición, editorial Reverté S.A. México, D.F. 131pp.

Olafsson J. (1980). Temperature structure and water chemistry of the caldera lake Oskjuvatn, Iceland. **Limnology and Oceanography** 25(5); 779-788.

Ortega M. (1984). **Catálogo de algas continentales recientes en México**. 9a Edición, U.N.A.M., México, D.F. 566 pp.

Ostrofsky L. M. and McGee G.G. (1990). Spatial Variation in the Distribution of Phosphorus Species in the Superficial Sediments of Canadatha Lake, Pennsylvania: Implications for Internal Phosphorus Loading Estimates. **Can. J. Aquat. Sci.**, 48:233-236.

Paaby P., (1995). Características físico-químicas de las aguas de los afluentes del Embalse Arenal, Costa Rica y su relación con el plancton. **Rev. Biol. Trop.**, 43(1-3):139-149.

Payne, A.I. (1986). **The Ecology of tropical Lakes and Rivers**. 1a Edición, editorial John Wiley and Sons, Gran Bretaña 301pp.

Pedrozo L. Fernando and Bonetto A. Carlos (1991). Nitrogen and phosphorus in the Chaco plain waterbodies. **Medio ambiente**. 11(2):96-106.

Pennak, R. (1978). **Fresh Water Invertebrates of the United States**. 2a. Edición, editorial Wiley Interscience. New York 803 pp.

Pérez A., Torres-Orozco R. (1992). Geomorfología y batimetría del lago de Catemaco, Veracruz México. **An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología**, U.N.A.M. 19(1); 19-24.

Ponce -Palafox T., Arredondo Figueroa L. (1986). Aporte al conocimiento de un embalse tropical temporal, por medio de la aplicación de modelos multivariados. **An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.** UNAM. 13 (2): 47-66.

Roberts, R. D., M. S. Evans, and M.T. Arts. (1992). Light, Nutrients, and Water Temperature as Determinants of Phytoplankton Production in Two Saline, Prairie Lakes with High Sulphate Concentrations. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 49; 2281-2290.

Sager, P.E., and Richman S. (1991). Functional interaction of phytoplankton and zooplankton along the trophic gradient in Green Bay, Lake Michigan. **J. Fish Aquat. Sci.**, 48:116-122.

Salgado, U. I. H., (1992). **El análisis exploratorio de datos biológicos**. Primera Edición, editorial Marc Ediciones S.A. México UNAM. 243pp.

- Schelske Claire L. (1979). Role of phosphorous in Great Lakes Eutrophication: Is There a Controversy? *J. Fish Res. Board Can.*, 36:286-288.
- Schwoerbel J. (1975). **Métodos de Hidrobiología**. 1a Edición, HB Ediciones, Madrid España: 262 pp.
- S.P.P. (1981). **Síntesis geográfica del estado de Morelos**. INEGI, México. 110 pp.
- S.A.R.H. (1992). **Técnicas de Análisis Físicoquímicos para Aguas**. 5a. edición, SARH, México 319 pp.
- Sevrin J., Reyssas and Pletikosic (1990). Cyanobacteria in Fish Ponds. **Acuaculture**, 88 1-20.
- Umaña G., y Jimenez C. (1995). The basic limnology of a low altitude tropical crater lake: Cerro Chato, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop., Sci.*, 43(1-3):131-138.
- Valdez D., y Real E. (1994). Flujos de Amonio, Nitrito, Nitrato y Fosfato a través de la interfase Sedimento-Agua, en una laguna tropical. **Ciencias Marinas**, 20(1): 65-80.
- Vallentyne R. John (1978). **Introducción a la limnología**. Ediciones Omega, S.A. 168 pp.
- Vera-Herrera, F.R., Rojas-Galaviz J.L. y Guzmán-Arroyo, M. (1981). Estudio hidrológico de la presa "Vicente Guerrero", Gro. (1976/1977). I. Morfometría Temperatura del agua y Oxígeno disuelto. *An. Inst. de Cienc. del Mar y Limnol. UNAM* 8(1): 159-174
- Welch, P.S. (1952). **Limnology**. 1a. Edición, editorial Blakiston Co, Philadelphia, 538 pp.
- Wetzel, R. G. (1981). **Limnología**. 1a Edición editorial Omega, S.A. Barcelona 679 pp.
- Wetzel, R. G. y G. E. Likens. (1991). **Limnological Analysis**. Editorial Springer, 2a edición New York 391 pp.
- Wheaton W. Fredrick. (1982). **Acuacultura**. 1a edición A.G.T. editor S.A. México, D.F. 704 pp.