

30



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

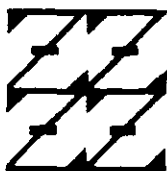
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

"ANALISIS DE CALIDAD DEL AGUA Y BIOMASA DEL FITOPLANCTON DE LA PRESA EMILIANO ZAPATA, MORELOS, MEXICO".

29/08/01

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 :
SILVIA RAMOS MENDOZA

U N A M
FES
ZARAGOZA



LO NUMERO 121
DE NUESTRA REFLEXION

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

MEXICO, D.F.

AGOSTO, 2001



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.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que contribuyeron en la realización de este trabajo.

A Dios: Por darme la alegría y satisfacción de concluir una más de tantas metas, por confortarme en los momentos difíciles y por todas las bendiciones que he recibido, gracias.

Al Jurado: M en C José Luis Gómez Márquez, por su excelente dirección, así como por sus enseñanzas, paciencia y amistad brindadas durante la realización del trabajo, gracias.

Dra. Bertha Peña Mendoza, por su valiosa colaboración, así como sus sugerencias y amistad brindadas en la realización del trabajo, gracias.

Dr. Isaías H. Salgado Ugarte, por sus valiosos comentarios y sugerencias para fortalecer el trabajo además de su amistad brindada, gracias

Biól. *Angélica E. González Schaff,* por sus valiosos comentarios y sugerencias para enriquecer el trabajo, gracias

Biól. *Eloísa Guerra Hernández,* por sus valiosos comentarios y sugerencias para fortalecer el trabajo, gracias.

A la *Facultad de Estudios Superiores Zaragoza,* por todo el apoyo proporcionado para la realización del trabajo.

A la *SEMARNAP* del estado de Morelos por el apoyo económico y las instalaciones proporcionadas para la realización de la investigación así como a la S.S.S. Emiliano Rivapalacio Morales de Tilzapotla Morelos, por todas las facilidades proporcionadas para llevar a cabo el trabajo. Gracias.

A todos los *profesores* que con sus enseñanzas contribuyeron en mi formación como profesionista. Gracias.

A mis compañeros y amigos de la carrera: *Alejandra, Angélica, Ana María, Elisa, Graciela, Norma, Antonio, Guadalupe, Arturo.* Con quienes compartí momentos inolvidables, gracias por su amistad y confianza.

A mis compañeros y amigos del laboratorio de limnología, en especial a: *José Luis, Oscar, Álvaro, Manuel, Alejandro, Pedro,* por su valiosa colaboración en el trabajo de campo así como por su amistad, que hicieron el trabajo muy agradable, gracias.

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo con mucho amor y respeto

A mi Papá

Ildefonso Ramos González, quien pese a las adversidades, no escatimo esfuerzo alguno para sacarnos adelante, guiándonos siempre con su ejemplo, gracias por todo el apoyo y cariño y por darme la más grande herencia una carrera universitaria, que Dios lo bendiga Jefecito.

A mi Mamá

Perpetua Mendoza Castillo, una mamá llena de virtudes, quien a pesar de tantas adversidades nunca se rindió ni escatimo esfuerzo alguno para sacarnos adelante, ya que antes que ella están sus nueve hijos, gracias por los consejos, paciencia, apoyo y cariño incondicional, que fueron fundamentales para realizar este trabajo, que Dios la bendiga Jefecita.

~~---~~

A mi esposo

Pedro Cuapio Padilla. Por ser el esposo modelo, que con su espíritu de constante superación me motivas día con día para seguir adelante, gracias por tu apoyo, comprensión y amor, que son fundamentales en mi vida, ya que con ello hicieron posible la realización de la tesis, también por todos esos momentos de felicidad que hemos compartido. que Dios te bendiga siempre amor. Te amo Pedrito.

A mi hija

Silvia Azul Cuapio Ramos, mi angelito, la bendición más grande de Dios, quien con su inocencia y ternura llenó de felicidad mi vida y dio un motivo más para la terminación de la tesis, espero que en un futuro no muy lejano, te motive a seguir adelante. Que Dios te colme de bendiciones siempre Azulita.

A mis hermanos

Rodolfo, Eloy, Gloria, Serafín, Hilda, Manuel. Sonia. Rosalba, ¡Una gran familia! Cada uno de ustedes son una pieza fundamental en mi vida, gracias por su apoyo incondicional, comprensión, cariño y por demostrarme que cuando se quiere se puede, pese a todas las adversidades en el camino, que Dios los bendiga siempre y conservemos la unión familiar.

A mis cuñados

Olga Ramírez, Jacoba Soberanes, Esther Puga, José Luis Amaro. Dámaso Hernández, Martha Rodríguez. Con cariño, por sus valiosos consejos y apoyo incondicional, por ser parte de mi gran familia, gracias.

A mis sobrinos

Eloisa, Jacobo, Donaji. Diana, Alfonso, Ilusión. Alejandra, Angélica. Cinthia, Paola, Rodolfo, Gabriela, Carlos, Ana Karen, Diego. Por compartir conmigo esas sonrisas y amor que me ayudaron a concluir este trabajo y ha seguir adelante, espero que este proyecto les marque una línea a seguir en un futuro. hijos que Dios los colme de bendiciones.

A mis abuelitos

Serafín Ramos Villa † y Josefa González Mata †. Con mucho amor a ustedes que llenaron mi niñez de alegría y esperanza, en agradecimiento a su esfuerzo por formar una familia ejemplar. Que Dios este con ustedes.

Leonor Castillo, Rafael Castillo, Socorro Hernández. Con respeto, amor y cariño, por todos esos momentos de alegría, en agradecimiento al amor y comprensión que hicieron de mi mamá una mujer llena de principios y virtudes. Que Dios los bendiga siempre.

†*Telesforo Mendoza Guerrero*. Con respeto y cariño, ya que sin saberlo su imagen y consejos me alentaron a concluir el trabajo. Que Dios este con usted.

A mis suegros

Pedro Cuapio Cortes † y Bertha Lilia Padilla. Con respeto y cariño, por brindarme su confianza y darme la oportunidad de ser parte de su familia, gracias por todo.

A mi nueva familia

Fidencio, Nayeli, Andrea, Vanessa, Bertha Lilia, Jaime e Isis, con cariño, por su amistad y confianza depositada, y por darme la oportunidad de ser parte de su familia.

A mis padrinos

José Luis G. y Guadalupe G., Efrén M. y Petra T. Con respeto y cariño, ya que gracias a su apoyo incondicional y consejos me alentaron a concluir el trabajo. Por todos esos momentos de felicidad que tengo presentes, gracias.

A mis tíos, primos y familiares

Que con su amistad y apoyo han contribuido en la realización de este trabajo. Gracias.

“ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA Y BIOMASA DEL
FITOPLANCTON DE LA PRESA EMILIANO ZAPATA,
MORELOS, MÉXICO.”

INDICE

I.	Resumen.....	1
II.	Introducción.....	2.
III.	Antecedentes.....	6
IV.	Área de estudio.....	7
V.	Objetivos.....	10
VI.	Material y Método	
	a) Fase de campo.....	11
	b) Fase de Laboratorio.....	12
	c) Fase de gabinete.....	13
VII.	Resultados	
	a) Análisis estadístico.....	18
	b) Parámetros físicos y químicos.....	20
	c) Nutrimientos.....	27
	d) Fitoplancton.....	35
	e) Clorofilas.....	43
VIII.	Discusión	
	a) Parámetros físicos y químicos.....	48
	b) Nutrimientos.....	58
	c) Fitoplancton.....	62
	d) Clorofilas.....	66
IX.	Conclusiones.....	70
X.	Referencias.....	72
XI.	Anexo.....	77

RESUMEN

En la presa Emiliano Zapata, Morelos, se efectuaron muestreos mensuales de octubre de 1995 a septiembre de 1996, en cada uno de ellos se registraron diferentes variables físicas, químicas y biológicas, con el objetivo de determinar la calidad del agua así como la composición, abundancia y distribución del fitoplancton. Los datos de temperatura clasifican el cuerpo de agua como monomítico cálido y holomítico, con un periodo de circulación o mezcla de noviembre a marzo y otro de estratificación de abril a septiembre. El oxígeno presentó una distribución clinógrada típica de cuerpos de agua eutróficos. La mayoría de los factores físicos y químicos se vieron influenciados por la época de lluvias y estiaje, tales concentraciones se consideran adecuadas para el desarrollo de la especie que se cultiva en el sistema (tilapia), además de encontrarse dentro de los límites permisibles de calidad del agua. Con base a las características químicas del agua el sistema se caracterizó de tipo eutrófico. Se registraron en total 29 especies de algas pertenecientes a 3 divisiones, 4 clases y 26 géneros, dominando en número de especies y de géneros; las clorofitas, como especie más abundante *Chlorella miniata*. La mayor densidad fitoplanctónica se registró en el mes de noviembre con 324,979 org/ml. La mayor diversidad de especies se presentó en abril y la mayor concentración de clorofila "a" fue de 3.4 mg/l a 3m, en septiembre en la estación 2.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, debido a la escasez de cuerpos de agua epicontinentales naturales, el problema de abastecimiento hídrico para diversos fines se ha solucionado mediante la construcción de embalses. Así, en 1983, estos últimos ocupaban el 70% de la superficie lacustre nacional, que ya alcanzaba 861,426 hectáreas. (Magallón, et al. 1992)

Durante el último siglo se han alcanzado en México grados significativos de perturbación de los ecosistemas tales como: erosión, tendencia a la desertificación, presencia de contaminantes en la atmósfera de las grandes urbes, extinción de especies y contaminación de los centros de suministro de agua. Todo esto se ha originado principalmente por el crecimiento no planificado de los centros de población, las actividades industriales y las transformaciones en los ámbitos de comportamiento orientados hacia el consumo entre otros (Calderón et al. 1990).

Los sectores agropecuario e industrial son las fuentes principales de contaminación, porque aportan residuos de diferentes características que se deben conocer con precisión, para determinar los sistemas más adecuados de control y tratamiento (Gaceta Ecológica, 1990)

Debido a estas tendencias se observa insuficiente suministro de agua potable en algunas regiones; en consecuencia, su obtención tendrá un costo cada vez más elevado ya que el agua es un recurso vital que se debe tener en el lugar y en el tiempo adecuados, en cantidades apropiadas y de buena calidad.

Las descargas de aguas residuales, industriales y domésticas que se vierten directamente a las presas y lagos, junto con el proceso de deterioro de las cuencas hidrológicas que por lavado y escurrimiento de su superficie acarrean mayores aportes, ha provocado que estos sistemas se encuentren en un proceso acelerado de envejecimiento (De la Lanza y García, 1995)

Se considera que para el año 2000 se verterán 207 metros cúbicos por segundo de aguas residuales; ello implica un enorme reto no sólo para los servicios de agua potable y alcantarillado, sino también para los sistemas de tratamiento de agua. (Gaceta Ecológica, 1990)

Entre las manifestaciones del deterioro asociado al agua se pueden mencionar el agotamiento paulatino de los suelos, el empobrecimiento de terrenos de alta productividad agrícola por salinización, el abatimiento general de los niveles de productividad del sector agropecuario, la

desertificación por pérdida de cubierta vegetal, la inutilización de los cuerpos de agua que surten a la población, la disminución de acuíferos y la insalubridad de los polos urbanos.

Entre los principales contaminantes que modifican la calidad natural de las corrientes de agua se encuentran la materia orgánica, (ocasiona la disminución del oxígeno disuelto); nutrimentos, (provocan eutroficación); grasas y aceites, (obstruyen las agallas de los peces, y disminuyen la transferencia de oxígeno); organismos patógenos, metales pesados, detergentes y plaguicidas, que afectan a la salud humana, la flora y fauna acuática. (Gaceta Ecológica, 1990)

Las aguas epicontinentales incluyen una rica variedad de ecosistemas, muchos de los cuales están física y biológicamente conectados o articulados por el flujo del agua y el movimiento de las especies. Estas conexiones son fundamentales para el mantenimiento de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades humanas, no sólo a nivel local y regional, sino también nacional y mundial.

La preocupación creciente sobre el mantenimiento de la biodiversidad de las aguas epicontinentales y los esfuerzos por reducir los riesgos que enfrentan muchas especies están basados en evidencias sobre la pérdida de hábitats (degradación, cambios en la calidad y fragmentación) y de especies, así como en la sobreexplotación e introducción de especies exóticas.

En octubre de 1997, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) inició el Programa de Regiones Prioritarias Marinas y Limnológicas de México. El objetivo fue desarrollar un marco de referencia para contribuir a la conservación y manejo sostenido de los ambientes oceánico, costero y de aguas epicontinentales, tomando en consideración los sitios de mayor biodiversidad y de uso actual y potencial en el país.

Se identificaron 110 regiones hidrológicas prioritarias por su biodiversidad, de las cuales 82 corresponden a áreas de uso (AU) y 75 son de alta riqueza biológica (AAB) con potencial para conservación; entre estas dos categorías, 75 presentan algún tipo de amenaza (AA). Se identificaron también 29 áreas que son importantes biológicamente pero carecen de información científica (AD) suficiente sobre su biodiversidad.

Es así como surge la necesidad de revisar el estatus de la información sobre la diversidad y el valor biológico de las cuencas hidrológicas, además de evaluar las amenazas directas e indirectas sobre los recursos y el potencial para su conservación y manejo adecuado.

La Presa Emiliano Zapata fue construida en 1969 y 1970 por el gobierno del estado de Morelos para el aprovechamiento de las aguas de varios arroyos que confluyen al vaso, siendo los más importantes "La Joya", "La Piraña" y "El Grillo" (SARH, 1992), y de esta manera ser un depósito abastecedor de agua para irrigación de cultivos. Actualmente representa una fuente importante para la generación de alimento y empleo (piscicultura extensiva). No obstante la importancia que representa el cuerpo de agua, este está siendo afectado por la aportación de aguas de desecho doméstico y el acarreamiento de material alóctono a través de los escurrimientos hacia el embalse, lo cual contribuye al deterioro de la calidad de agua, así como al aumento de los nutrimentos en la presa (eutroficación), que se refleja en el florecimiento de especies de fitoplancton y zooplancton indicadoras de las condiciones prevalecientes.

El plancton constituye la unidad básica de producción de materia orgánica en los ecosistemas acuáticos. En presencia de nutrientes adecuados y suficientes, los componentes vegetales del plancton son capaces de acumular energía lumínica solar en forma de compuestos químicos energéticos merced a la fotosíntesis. El oxígeno que genera ese proceso representa una parte sustancial del que utilizan los organismos acuáticos para su respiración. (González de Infante, 1988)

El plancton dulceacuícola, juega un papel muy importante dentro del ecosistema al fijar la energía proveniente del sol y transformarla en energía útil para los siguientes eslabones de la cadena alimenticia. Así podemos encontrarnos con especies de peces que se alimentan predominantemente de organismos fitoplanctónicos. El fitoplancton y el zooplancton forman parte de la dieta de los peces y estos a su vez son una fuente de alimento importante para el hombre. (Navarrete-Salgado y Elías-Fernández, 1993)

Durante el siglo XIX se impulsaron y diversificaron las investigaciones sobre las formas de vida acuática, de las descripciones anatómicas se pasó a considerar aspectos dinámicos, como distribución, migración vertical, ciclo de vida y evolución. Así fue enriqueciéndose la literatura sobre el plancton hasta llegar al enfoque funcional y ecológico predominante en la actualidad.

El fitoplancton se considera un indicador biológico muy significativo (proporciona información valiosa, para las pesquerías), al igual que el conocer los cambios físicos y químicos que en el cuerpo de agua ocurren. Sin embargo, no se le da la importancia adecuada ya que toma muchos años evaluar los cambios que ocurren y sus implicaciones globales, por lo que se hace necesario realizar

estudios de tipo biológico, físico y químico con el fin de obtener información de gran interés para la pesquería y ayudar en la planificación de actividades similares.

Por otra parte es necesario tener un control y prevención de la contaminación del cuerpo de agua, ya que, esto no sólo significa deterioro de las condiciones naturales del ambiente, sino una amenaza a la salud humana y a la calidad de vida de las poblaciones presentes en el sistema acuático, además de la cancelación de opciones productivas que se hubiesen podido realizar en las zonas aledañas. (Calderón et al. 1990), ya que los lagos fueron y seguirán siendo fuente de alimento y proveedores de insumos y materiales para la vida de las comunidades y muchos de ellos han llegado hasta la actualidad sorprendiendo por su alta complejidad, como es el caso de la explotación múltiple practicada en el Lago de Pátzcuaro.

ANTECEDENTES

De acuerdo a la importancia que representan los cuerpos de agua se hace indispensable su estudio para conocer y optimizar su funcionamiento y dar alternativas a las problemáticas que se presentan. Entre las personas que han contribuido en parte al conocimiento de las condiciones limnológicas, están entre otros trabajos los realizados sobre parámetros hidrobiológicos: Campos et al. (1989), Lewis (1978); de niveles de contaminación en aguas residuales (Rodríguez, 1992); análisis fitoplanctónicos Sánchez (1986), McCauley y Kalff (1981); productividad primaria, Charlton (1980), Montecino-Banderet (1981); calidad del agua residual (Chávez 1988; Ávila 1994); parámetros fisico-químicos, (López, 1988; Ordóñez, 1988; Torres, 1989; Martínez, 1993); de aguas de desecho, (Calderón et al. 1990) y de biofiltración de agua, (Rojas, 1992)

Con respecto a las investigaciones en el Estado de Morelos se encuentran los trabajos relacionados con el rendimiento piscícola en dos bordos semi-permanentes, (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992); sobre aspectos relacionados con los organismos fitoplanctónicos y la productividad primaria en estanques fertilizados con estiércol y fertilizante mineral (Quiroz et al., 1992); acerca de las variables fisicoquímicas y morfométricas con el propósito de determinar las características limnológicas de la presa "Los Carros" Morelos, (Magallón-Barajas et al, 1992); en cuanto a aspectos de distribución y ecología de algunos crustáceos, (Porrás, 1992); sobre el conocimiento físico-químico y de productividad primaria en el embalse temporal "los Lavaderos", utilizado para la piscicultura extensivo, (Ponce, 1983); en cuanto a evaluación del crecimiento y robustez de la tilapia, (Torres, 1989), sobre la edad y crecimiento de la mojarra en la laguna de Coatetelco, (Garduño y Avelar, 1996).

Con relación al cuerpo de agua en estudio, Viveros (1982) realizó una prospección hidrobiológica; Granados (1990) analizó el comportamiento del zooplancton en tres ambientes acuáticos epicontinentales del estado de Morelos, México, en donde se incluye a la presa Emiliano Zapata; González y López (1997) estudian los aspectos hidrobiológicos de la presa Emiliano Zapata. Gómez-Márquez et al. (2000) realizan un estudio sobre aspectos bacteriológicos, para determinar los niveles de contaminación fecal dentro del sistema. Estos son los únicos trabajos realizados en dicha presa, por lo que se hace necesario la continuación de trabajos encaminados a conocer el comportamiento de dicho cuerpo de agua, desde el punto de vista limnológico y biológico.

ÁREA DE ESTUDIO

La presa Emiliano Zapata se encuentra ubicada en el Municipio de Puente Ixtla a los 18° 30' latitud norte y 99° 17' longitud oeste (Fig. 1), a una altitud de 899 msnm. Presenta un tipo de clima, de acuerdo a Köppen modificado por García (1973) Aw", (w) (i) g cálido subhúmedo con canícula, y lluvias de verano, porcentaje de lluvia invernal menor de 5, oscilación térmica entre 7 - 14 °C y marcha de temperatura tipo Ganges. Se registra la máxima temperatura anual de 28.3 °C en mayo; y la mínima anual de 20.8 °C en el mes de enero, con precipitación pluvial máxima anual de 219.6 mm en septiembre y mínima anual de 1.7 mm en enero.

La orografía del Municipio de Puente de Ixtla se caracteriza por tener grandes lomeríos como los de Xoxocotla y San Juan Vista Hermosa; En la zona Norte del Municipio, destacan los cerros llamados del "Zacatal" que tienen una altura promedio de 1 200 metros, al sur están los cerros del "Mezquite", con una altitud en las faldas de 1 500 msnm., ascendiendo rápidamente hasta alcanzar 2260 m. La sierra montañosa de San Gabriel sirve de límite entre el Estado de Morelos y el Estado de Guerrero (SARH 1983).

El Municipio es cruzado en la parte media por los ríos Coatlán y Tetecala, que se unen formando uno solo para desembocar en el río Amacuzac en la localidad "El Estudiante"; como parte de la hidrología también están los ríos Xochitepec y Tetlama así como el lago de Tequesquitengo y la presa Emiliano Zapata.

La presa Emiliano Zapata (figura 2) fue creada con fines de almacenamiento y riego en 1970 y ocupa una superficie aproximada de 15 hectáreas con un volumen de 2 235 700 metros cúbicos. (SARH, 1983).

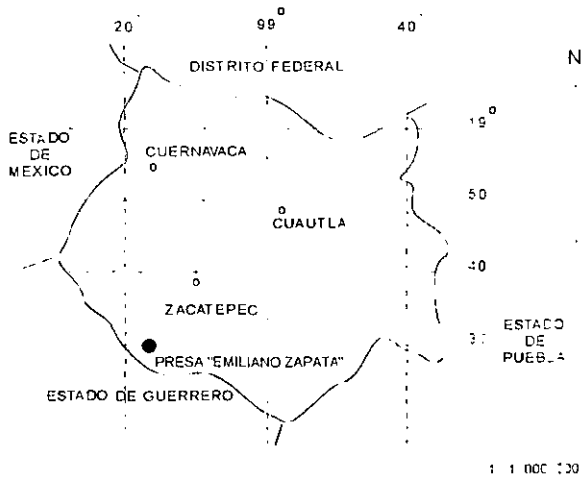


FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

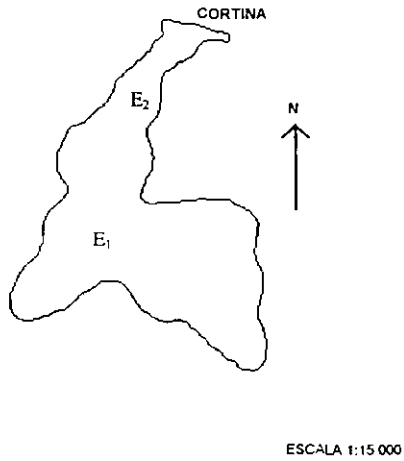


FIGURA 2. UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE MUESTREO EN LA PRESA "EMILIANO ZAPATA"

La geología de la zona la sitúa en la edad Cenozoica, período Cuaternario. (Q) y una litología de rocas ígneas extrusivas, de basalto, toba y brecha volcánica (ige). Los suelos que la circundan presentan una textura de migajón arenoso, que corresponde a la clase de textura media (en los 30 cm superficiales) suelos pesados de materia orgánica, presentando un porcentaje entre los 3 y 5 que corresponde a un suelo rico. El tipo de vegetación circundante a la presa y al poblado de Emiliano Zapata corresponde a Selva Baja Caducifolia, predominando *Phycus* spp y *Bursera* spp; con una perturbación bien marcada en los lomeríos así como en las laderas del "Cerro Frio" (con pendiente de 20 a 22 grados) y se observa en las partes más descubiertas diferentes especies de leguminosas como *Acacia farnesiana*, *A. pennatula* y *Mimosa pudica*, entre otras (SARH, 1983; Viveros, 1982).

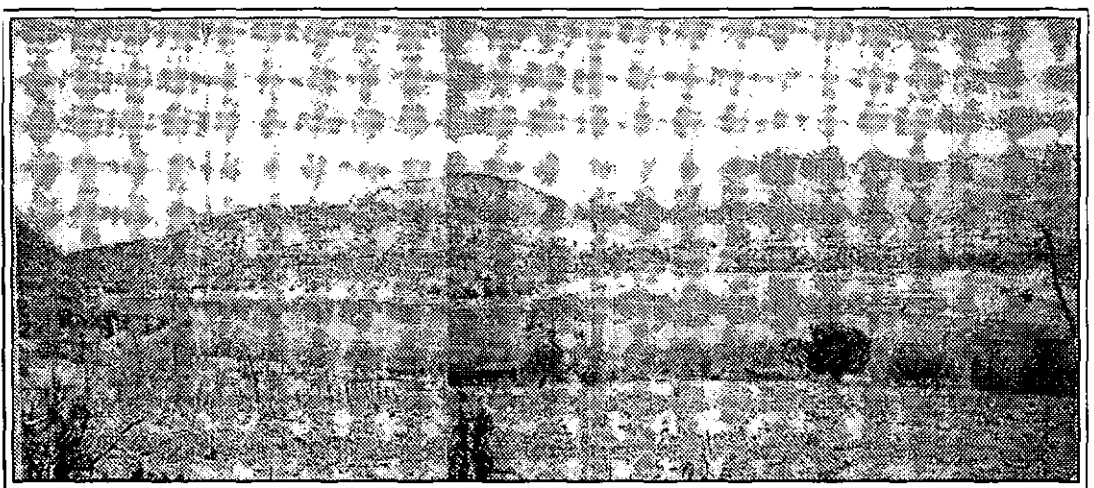


FIGURA 3. Presa Emiliano Zapata, Mayo de 1996, foto de Ramos y Cuapio

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la calidad del agua, así como la composición, abundancia y distribución del fitoplancton en la presa "Emiliano Zapata", Morelos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar el comportamiento espacial y estacional de los factores físicos y químicos.
- Evaluar la biomasa del fitoplancton a través de la concentración de pigmentos (clorofila "a")
- Obtener la densidad total y relativa del fitoplancton
- Relacionar la densidad de la población fitoplanctónica con algunos factores físico-químicos.
- Evaluar los datos a través de métodos estadísticos computarizados

MATERIAL Y MÉTODO

El trabajo se dividió en tres fases:

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

a) FASE DE CAMPO

Se trabajó en la Presa Emiliano Zapata, perteneciente al estado de Morelos durante un ciclo anual, en el cual se tomaron muestras mensualmente, de octubre de 1995 a septiembre de 1996, a excepción de los meses de diciembre y julio.

Primeramente se realizó un reconocimiento y establecimiento de dos zonas de muestreo con diferentes niveles de profundidad, se consideraron para ello, algunas características como:

- a).- La forma de la cubeta (área superficial, profundidad y contorno)
- b).- Afluentes y efluentes.
- c).- Accesibilidad.
- d).- Información previa.

Cada mes se realizó la colecta y toma de muestras de agua determinando *in situ*, algunos factores físicos y meteorológicos que afectan el ambiente acuático como son: temperatura ambiente (con un termómetro de -10 a 150 °C con precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$.), nubosidad (Laevasteu, 1971), transparencia del agua por medio del disco de Secchi, fecha y hora de la toma de muestras.

Para la obtención de muestras de agua en los diferentes niveles, (0.3, 1.0, 3.0, 5.0 y 7.0 metros) se utilizó una botella Van Dorn horizontal de 2 litros de capacidad.

Una vez tomada la muestra en botellas de polietileno se registró *in situ* la temperatura del agua (con un termómetro de $\pm 1^\circ\text{C}$ de precisión), pH (con un potenciómetro de campo marca Conductronic) y la conductividad (con un conductímetro de campo marca Conductronic con precisión de $\pm 1 \mu\text{s/cm}$). Las muestras se conservaron en hielo, para realizar posteriormente los análisis de nutrimentos en el laboratorio.

Conjuntamente se obtuvo una muestra de agua en una botella DBO de volumen conocido para determinar oxígeno disuelto por el método de Winkler con la modificación de azida de sodio (Apha-Awwa-Wpcf, 1980). Además se tomó una muestra de agua en una botella de plástico de 1 litro de capacidad para la determinación del CO_2 ; (por el método volumétrico); la alcalinidad total (por el método de indicadores) y la dureza total y de calcio; (por el método complejométrico) (Apha-Awwa-Wpcf, 1980).

Para el material fitoplanctónico se tomó una muestra en una botella de 125 ml y se fijó con 20 gotas de acetato de lugol, para su preservación y posterior análisis.

Para conocer la capacidad fotosintética (biomasa fitoplanctónica) de la presa, se tomó una muestra de 500 ml de agua, la cual se filtró, a través de una membrana tipo HA de poro de 0.45 μm , con el equipo millipore, y se colocó en congelación no más de 30 días para su posterior análisis (Wetzel y Likens, 1991)

b) FASE DE LABORATORIO

En el laboratorio se determinaron los siguientes factores: Nitritos (por el método del Ácido sulfanílico), Nitratos (por el método del Ácido Fenoldisulfónico), Amonio (por el método del fenato), Fosfatos y Fósforo total (por el método del fosfomolibdato), Sulfatos (por el método turbidimétrico), Sulfuros (por el método yodométrico) de acuerdo a las técnicas establecidas por (Apha-Awwa-Wpcf, 1980).

La técnica que se utilizó para el análisis cuantitativo del fitoplancton fue el de Uthermöhl (1932), citado en (Schowerbel, 1975) a través de una cámara cilíndrica de 10 cc, se llenó la cámara con la muestra después de haberse homogenizado, dejando sedimentar por espacio de 24 hrs. Con la ayuda de un microscopio invertido (Carl-Zeiss M-40), se realizaron las lecturas a objetivo de 40 X

(campo completo), leyendo 10 campos por muestra, e identificando los organismos con apoyo del material propuesto por Needham y Needham, (1972) y Ortega (1984), Edmonson (1959), Pennak (1979) y González de Infante (1988).

Determinación de clorofilas. La membrana tipo HA de poro de 0.45 μm , se disolvió en acetona, y se centrifugó, el sobrante se utilizó para realizar la lectura con el espectrofotómetro a una longitud de onda de 750 nm (para correcciones por error de turbidez en las celdas.) 665, 645 y 630 nm, que son las máximas absorbancias de las clorofilas a, b, c, respectivamente.

Para la determinación de los Feopigmentos el procedimiento fue el mismo que para la obtención de clorofila, solo que una vez que se llevaron a cabo las lecturas a las extinciones mencionadas, se le agregaron dos gotas de ácido clorhídrico a la muestra, se mezcló y leyó nuevamente a 750 y 665 nm. (Brower y Zar, 1977)

c) FASE DE GABINETE

Los datos obtenidos durante el muestreo de los parámetros físicos y químicos, nutrimentos y biológicos se analizaron mediante el Análisis Exploratorio de Datos (Salgado-Ugarte, 1992). Se realizó un análisis entre las diferentes profundidades establecidas a lo largo de la columna de agua y posteriormente entre las estaciones a través del tiempo, con la finalidad de saber si los datos eran normales y homocedásticos con un nivel de confianza del 95 % ($p < 0.05$). Si se aceptaban los supuestos entonces se utilizó el ANDEVA de una vía y en los casos que no se cumplieron los supuestos de ANDEVA, se utilizaron las técnicas correspondientes del análisis de distribución libre (Kruskal-Wallis).

FITOPLANCTON

En cuanto a los organismos fitoplanctónicos se determinó lo siguiente:

Frecuencia o periodicidad relativa

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

F= Frecuencia o periodicidad relativa de aparición de algún alga

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

NE= Número total de meses del estudio

Se determinó el índice de diversidad de Shannon-Wiener, máxima abundancia, igualdad y la uniformidad de especies de manera mensual, para determinar la variación de la diversidad.

Índice de diversidad (Shannon-Wiener)

$$H' = \frac{N \log N - \sum ni \log ni}{N}$$

Donde :

ni= Número de especies

N =Tamaño de la población

Diversidad Máxima

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

Donde:

N = Tamaño de la población.

S = Especies existentes

C = Porción integrada de N/s

r = Resido

Equitatividad

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

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

H' máx = Diversidad Máxima

Uniformidad

$$U = 1 - J'$$

Donde:

J' = Igualdad

Densidad absoluta

$$D. A. = \frac{n}{v}$$

Donde:

D.A. = Densidad absoluta

n = Número de individuos en cada género

v = Unidad de volumen = 1 ml

Frecuencia absolutas

$$F. A. = \frac{nv}{Nm}$$

Donde:

F.A = Frecuencia absoluta

n_v = Número de veces que se halló un organismo en los muestreos

Nm = Número de muestreos

(Brower y Zar 1977)

BIOMASA FITOPLANCTONICA

Para conocer la capacidad fotosintética (biomasa fitoplanctónica) de la presa, se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila "a" } \mu\text{g/l} = 11.64 A_{665} - 2.16A_{645} + 0.10A_{630}$$

$$\text{Clorofila "b" } \mu\text{g/l} = 20.97A_{645} - 3.94A_{665} - 3.66A_{630}$$

$$\text{Clorofila "c" } \mu\text{g/l} = 54.22A_{630} - 14.81A_{645} - 5.53A_{665}$$

Donde:

A_{665} = La absorbancia a 665 nm.

A_{750} = La absorbancia a 750 nm.

A_{645} = La absorbancia a 645 nm.

A_{730} = La absorbancia a 730 nm

A_{430} = La absorbancia a 430 nm.

Los valores obtenidos se multiplicaron por el volumen de extracción en mililitros y divididos por el volumen de la muestra de agua en litros. (Contreras, 1984)

FEOPIGMENTOS

Para la determinación de los Feopigmentos se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila a} = \frac{26.7(665^{\circ} - 665^{\text{a}}) \times V}{V \times 1}$$

$$\text{Feopigmentos} = \frac{26.7 (1.7 665^{\text{a}} - 665^{\circ}) \times V}{V \times 1}$$

Donde.

665^a = La extinción después de la acidificación.

665[°] = La extinción antes de la acidificación.

V = El volumen de agua filtrada (litros).

1 = La medida de la celda (cm).

(Wetzel y Likens, 1991) (Brower y Zar, 1977)

RESULTADOS

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos se analizaron mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov; dicha prueba se realizó entre las diferentes profundidades establecidas a lo largo de la columna de agua y posteriormente entre las estaciones con la finalidad de determinar si cumplían con los supuestos de Normalidad ($p < 0.05$), solo (CO_2 , dureza total, y amonio) no cumplieron con los supuestos, por lo que se consideran datos no paramétricos. A los mismos se les aplicó la prueba de Kruskal Wallis por nivel y por estación, para determinar si existía diferencia significativa ($p < 0.05$) observando que en ninguno de los parámetros presentan diferencias estadísticas significativas. Por último se les aplicó la prueba de Barlett para determinar si cumplían con los supuestos de homocedasticidad ($p < 0.05$) determinando que solo los nitratos no presentaron homocedasticidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos se corroboró que no existían diferencias estadísticamente significativas entre cada una de las profundidades (niveles) y tampoco entre las estaciones en: pH, conductividad, alcalinidad total, dureza total, CO_2 , nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos, fósforo total, sulfuros, sulfatos, y fitoplancton, por lo que se eligió utilizar para estos, datos promedio de cada uno de los muestreos, para una mejor interpretación de los mismos. En cuanto a la temperatura, oxígeno, y clorofilas se observó diferencia significativa en su comportamiento entre estaciones no así en niveles por lo que se tratarán de manera independiente. Asimismo, aunque no existen diferencias entre las estaciones los resultados se presentarán por cada estación para una mejor visualización del comportamiento físico-químico en el embalse.

En cuanto a la concentración de clorofilas, se realizó un análisis de correlación con cada una de las variables, encontrando que la clorofila a, b y c tiene una correlación positiva con la temperatura, nitratos y una correlación negativa con los sulfatos, el número de células fitoplanctónicas y los feopigmentos no guardan ninguna relación con las variables. (Tabla 1)

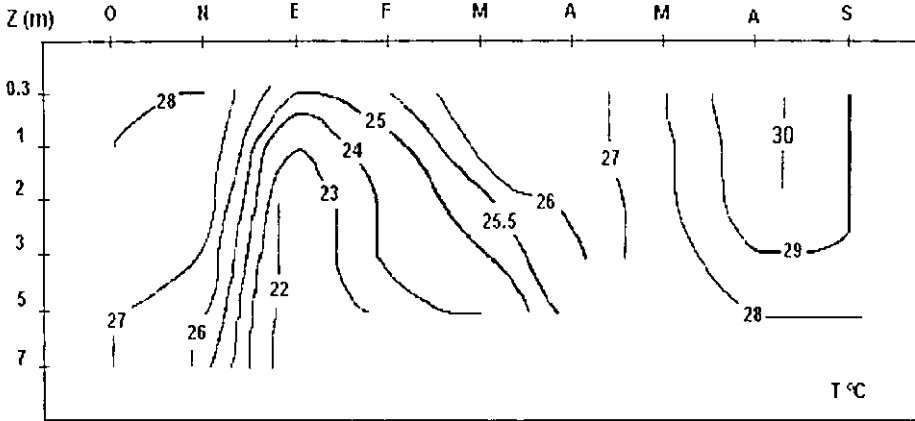
Tabla 1. Coeficiente de correlación

	O ₂	CO ₂	Alcalin. total	Dureza total	Temp	Cond.	pH	PO ₄	fosfóro total	SO ₄	SO ₂	NO ₂	NO ₃	NH ₄
a	0.15	-0.17	-0.19	-0.10	0.59	0.39	0.28	-0.18	-0.32	-0.57	-0.24	-0.05	0.58	0.15
b	0.20	-0.10	-0.18	-0.21	0.60	0.54	0.24	-0.13	-0.28	-0.66	-0.28	0.03	0.51	0.29
c	0.22	-0.17	-0.17	-0.19	0.63	0.49	0.19	-0.21	-0.32	-0.65	-0.29	-0.05	0.54	0.20
feopig	0.07	-0.05	-0.12	-0.15	0.43	0.36	0.09	0.00	-0.09	-0.38	-0.18	0.02	0.32	0.36
celulas*ml	0.09	-0.18	0.06	-0.07	0.12	-0.09	-0.10	0.09	0.05	-0.24	0.03	-0.17	0.15	-0.10

Con (p<0.05)

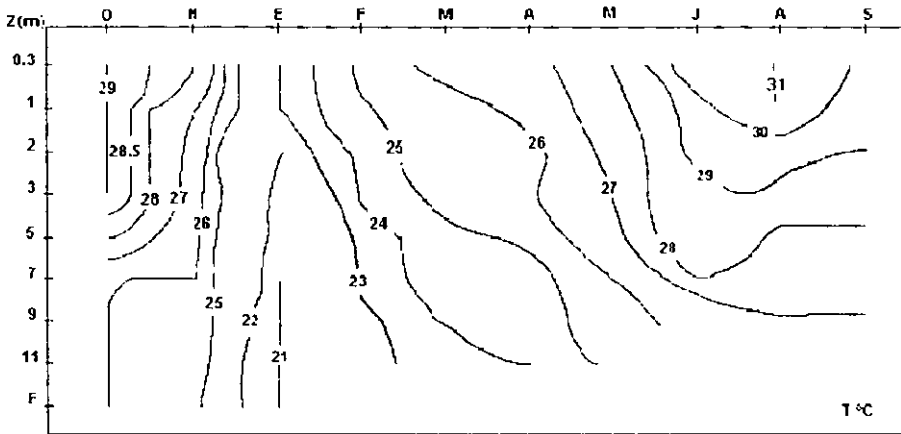
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Figura 4. Espacio-tiempo-temperatura



Estación 1

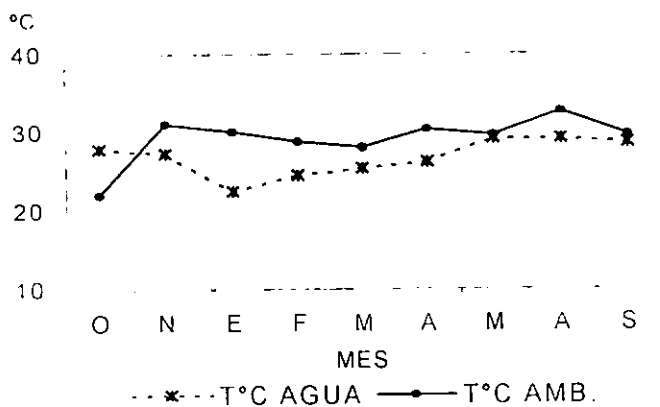
Figura 5. Espacio-tiempo-Temperatura



Estación 2

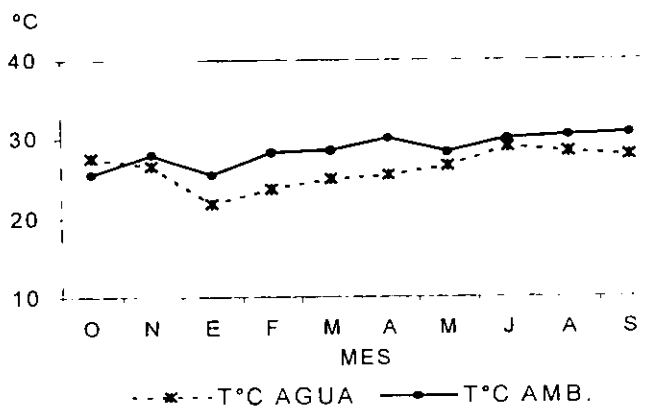
En el sistema se presentaron dos periodos, uno de mezcla que abarcó de noviembre a marzo y otro de estratificación de abril a septiembre. Tal comportamiento se presentó en ambas estaciones, las temperaturas más altas se registraron en las capas superficiales en el mes agosto con 30°C en la estación 1 y 31°C en la estación 2 y las temperaturas mínimas en las zonas más profundas de ambas estaciones en el mes de enero con 21°C (estos son valores puntuales).

Figura 6. Variación de la temperatura



Estación 1

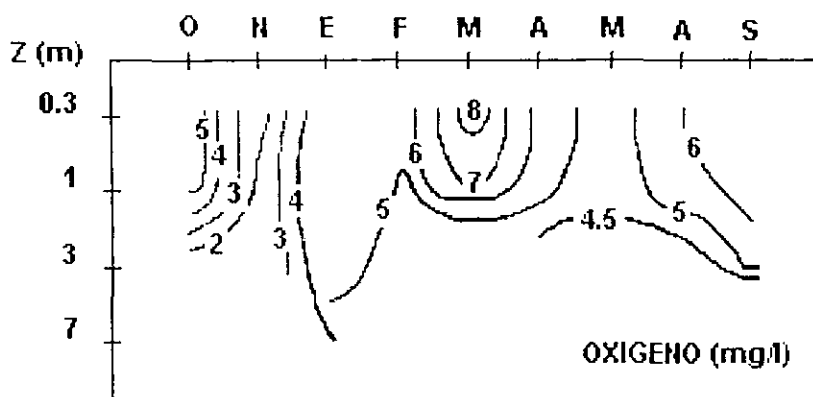
Figura 7. Variación de la temperatura



Estación 2

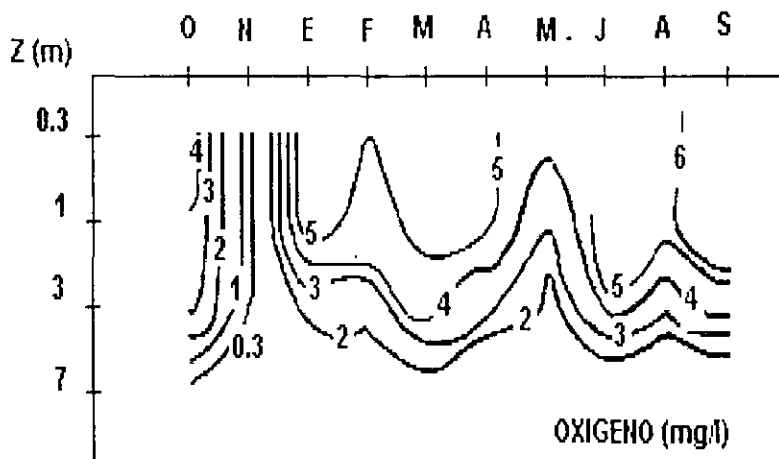
En la estación 1, la temperatura ambiente osciló de 22°C en octubre a 32.6°C en agosto; en la estación 2 fue de 25.5°C octubre, enero y 30.4°C en agosto. La temperatura del agua en la estación 1 fluctuó de 22°C en enero y 30 °C en mayo y agosto; para la estación 2 varió de 21°C en enero y 29°C en julio.

Figura 8. Diagrama espacio tiempo para oxígeno disuelto



Estación 1

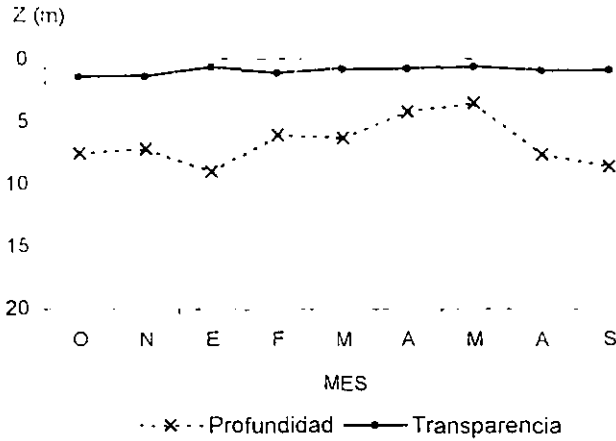
Figura 9. Diagrama espacio tiempo para oxígeno disuelto



Estación 2

Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto (O_2) se obtuvieron en las capas superficiales de ambas estaciones. En la estación 1 en el mes de marzo con 8.72 mg/l, y en la estación 2 en septiembre con 9.49 mg/l; asimismo, se presentaron condiciones de anoxia en las capas mas profundas en ambas estaciones en los meses de octubre, febrero, agosto y septiembre en la estación 1 y octubre, noviembre, abril, mayo, junio y agosto en la estación 2. (Estos son valores puntuales). En ambas estaciones durante los meses de mayor temperatura y menor volumen del cuerpo de agua se registraron los máximos valores de oxígeno disuelto.

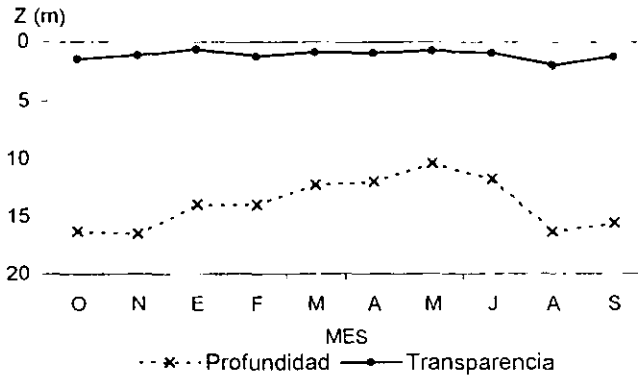
Figura 10. Profundidad y transparencia



Estación 1

La profundidad mínima se presentó en el mes de mayo con 3.60 metros y su máxima profundidad en enero con 9 metros, la transparencia mínima fue de 0.65 m. en el mes de mayo y la máxima de 1.39 m. en octubre

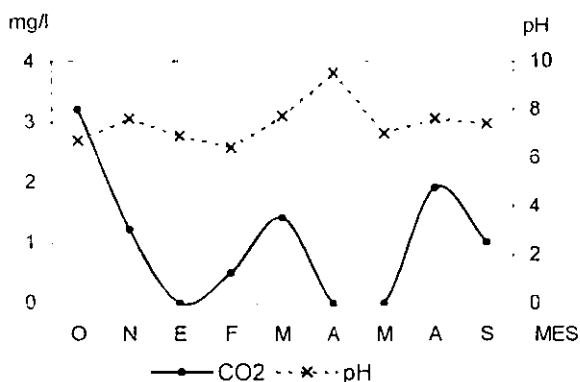
Figura 11. Profundidad y transparencia



Estación 2

La profundidad mínima se presentó en el mes de mayo con 10.44 metros y su máxima profundidad en noviembre con 16.50 metros; la transparencia mínima fue de 0.66 m. en enero y la máxima de 1.9 m. en agosto.

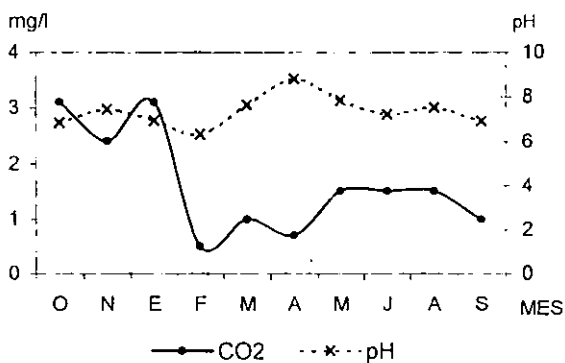
Figura 12. Dióxido de carbono y pH



Estación 1

En cuanto al Dióxido de Carbono (CO₂), no se registró en los meses de enero, abril y mayo y su máxima concentración se registró en octubre con 3.2 mg/l, el pH fluctuó entre 6.4 en febrero que fue el mínimo y 9.5 en abril el máximo,

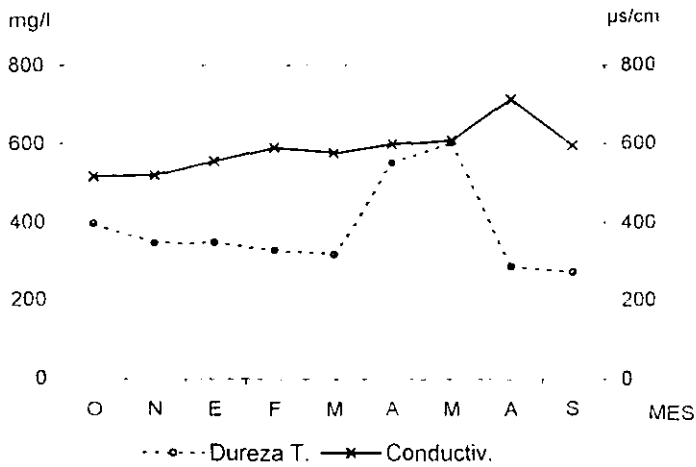
Figura 13. Dióxido de carbono y pH



Estación 2

La mínima concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) se registró en el mes de febrero con 0.5 mg/l y la máxima con 3.1 mg/l en enero, y el pH fluctuó entre 6.3 en febrero que es el mínimo y 8.8 en abril el máximo.

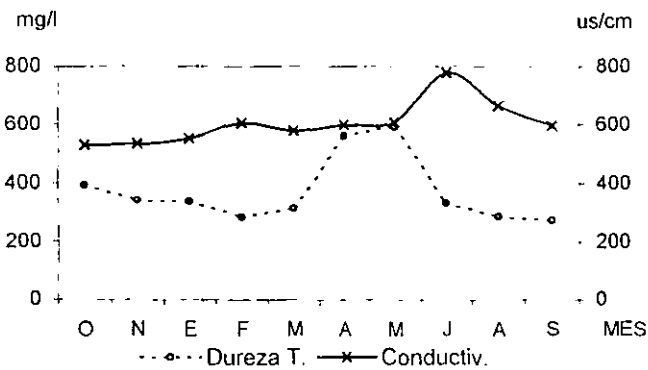
Figura 14. Conductividad y dureza total



Estación 1

La concentración menor de dureza total fue de 268.9 mg/l en el mes de septiembre y su máxima concentración de 600.6 mg/l en mayo. La conductividad menor fue de 514.8 us/cm en el mes de octubre y la mayor de 710 us/cm en el mes de agosto.

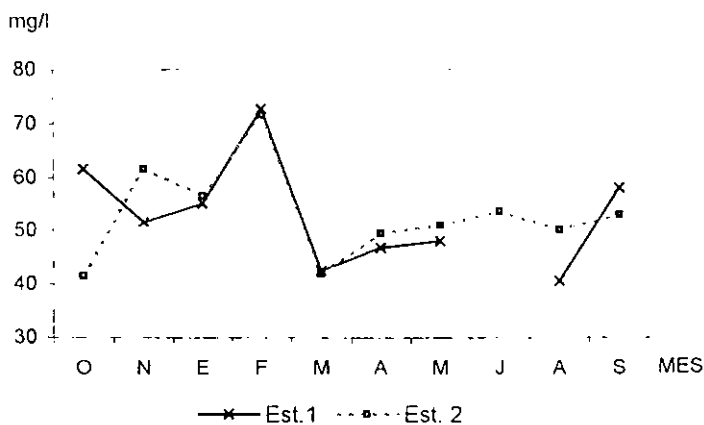
Figura 15. Conductividad y dureza total



Estación 2

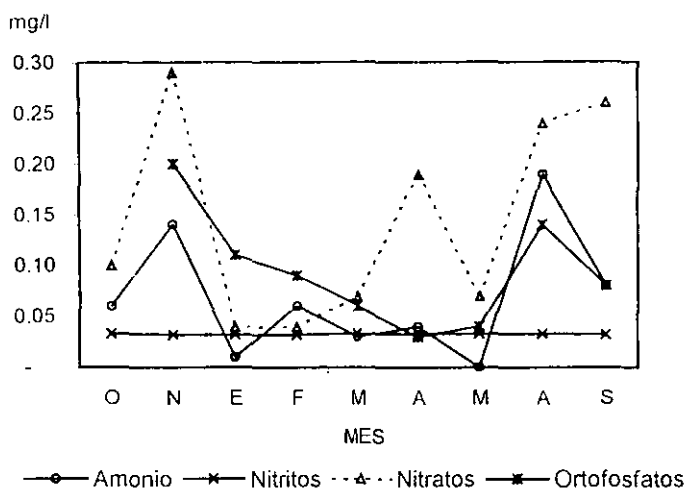
La concentración menor de dureza total fue de 271.3 mg/l en el mes de septiembre, y su máxima concentración de 592.6 mg/l en mayo. La conductividad menor fue de 529.8 us/cm en el mes de octubre y la mayor de 775 us/cm en el mes de junio.

Figura 16. Alcalinidad total estación 1 y 2.



En la estación 1, la concentración menor de alcalinidad total fue de 40.5 mg/l en el mes de agosto y la máxima concentración fue de 72.5 mg/l en febrero. En la estación 2 la concentración menor de alcalinidad total fue de 41.5 mg/l en el mes de octubre y la máxima concentración fue de 71.5 mg/l en febrero. Durante los meses de estiaje se observa un incremento en los factores debido a la tasa de evaporación prevaeciente así como la disminución del volumen por efecto de la apertura de la compuerta e infiltración hacia el subsuelo.

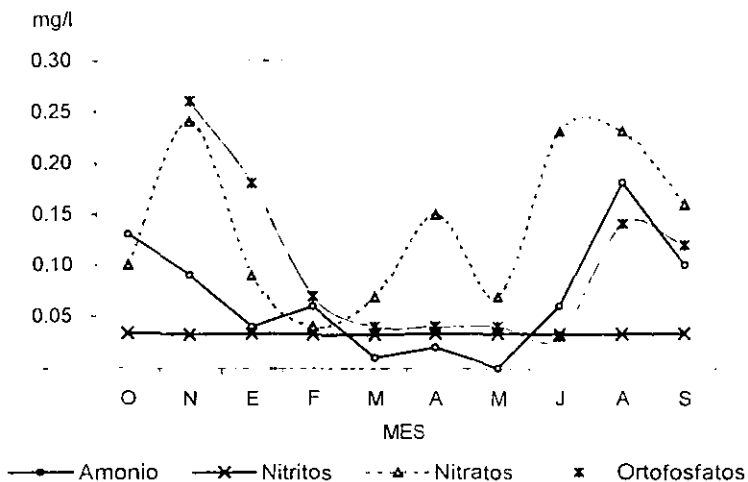
Figura 17. Relación NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4



Estación 1

En mayo no se detectó concentración de amonio, y se registró la máxima concentración en agosto con 0.19 mg/l, en cuanto a la concentración de nitritos durante todo el muestreo casi no varió, y fluctuó entre 0.032 mg/l y 0.033 mg/l. La concentración mínima registrada de nitratos fue de 0.04 mg/l en enero y la máxima de 0.29 mg/l en noviembre. La concentración mínima de ortofosfatos se registró en abril y fue de 0.03 mg/l, y la máxima concentración en noviembre con 0.2 mg/l.

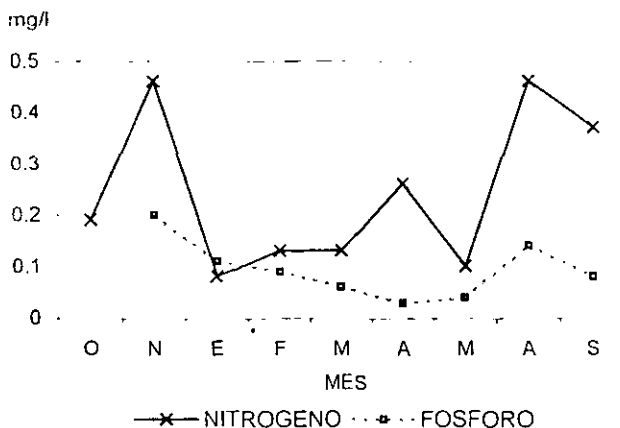
Figura 18. Relación NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4



Estación 2

En mayo no se registró concentración de amonio, registrando la máxima concentración en agosto con 0.18 mg/l, en cuanto a la concentración de nitritos durante todo el muestreo casi no varió, y fluctuó entre 0.032 mg/l y 0.033 mg/l. La concentración mínima registrada de nitratos fue de 0.04 mg/l en febrero y la máxima de 0.24 mg/l en noviembre. La concentración mínima de Ortofosfatos se registró en junio y fue de 0.03 mg/l, y la máxima concentración en noviembre con 0.26 mg/l.

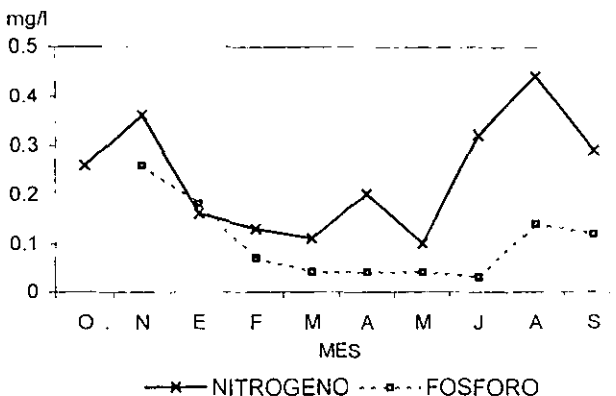
Figura 19. Relación nitrógeno fósforo



Estación 1

El nitrógeno total varió notablemente registrando la mínima concentración en el mes de enero con 0.08mg/l y su máxima concentración en el mes de noviembre y agosto con 0.46 mg/l. En cuanto a las concentraciones de fósforo total la mínima concentración fue de 0.03 mg/l en abril y la máxima 0.2mg/l en noviembre.

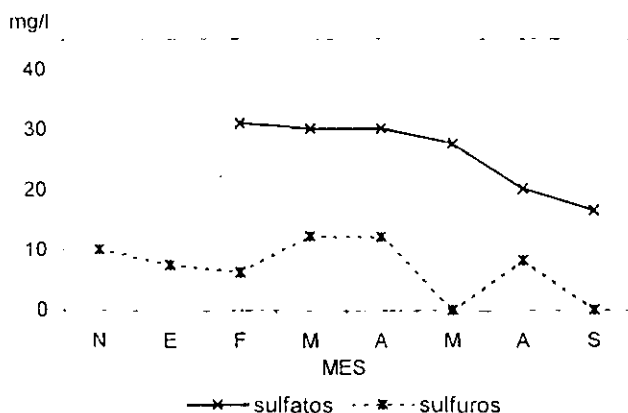
Figura 20. Relación nitrógeno fósforo



Estación 2

La mínima concentración de nitrógeno se presentó en el mes de mayo con 0.1mg/l y su máxima concentración se registró en el mes de agosto con 0.44 mg/l. En cuanto a las concentraciones de fósforo total la mínima concentración fue de 0.03 mg/l en junio y la máxima 0.26 mg/l en noviembre.

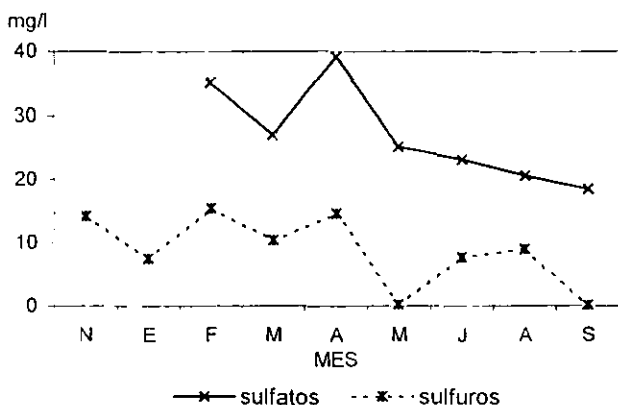
Figura 21. Relación sulfuros – sulfatos



Estación 1

Los sulfatos se determinaron a partir del mes de febrero registrando la mínima concentración en septiembre con 16 mg/l y su máxima concentración en el mes de febrero con 31 mg/l. En cuanto a los sulfuros no se registraron en los meses de mayo y septiembre y la máxima concentración fue de 12.29 mg/l en marzo.

Figura 22. Relación sulfuros – sulfatos



Estación 2

Los sulfatos se determinaron a partir del mes de febrero registrando la mínima concentración en septiembre con 18 mg/l y su máxima concentración en el mes de abril con 39 mg/l. En cuanto a los sulfuros no se registraron en los meses de mayo y septiembre y la máxima concentración fue de 15.36 mg/l en febrero.

TABLA 2. RELACION NITRÓGENO /FÓSFORO

	E 1	E2	
MES	NITROGENO	NITROGENO	FOSFORO
N	2	1	1
E	1	1	1
F	1	2	1
M	2	3	1
A	9	5	1
M	3	3	1
J	-	11	1
A	3	3	1
S	5	2	1

La menor relación entre el nitrógeno y el fósforo se registró en (enero, febrero) y enero para la estación 1 y 2 respectivamente siendo 1:1; y la mayor en abril con 9:1 y junio 11:1 para la estación 1 y 2 respectivamente, durante la estación de secas, cuando el volumen y la profundidad se encuentran en su menor expresión.

Tabla 3. Valores registrados en la presa Emiliano Zapata

PARÁMETRO	MÍNIMO		MÁXIMO		PROMEDIO
	ESTACION 1	ESTACION 2	ESTACION 1	ESTACION 2	
Profundidad (m)	3.6	10.44	9	16.5	
Transparencia (m)	0.65	0.66	1.39	0.9	1
pH	6.4	6.3	9.5	8.8	7.4
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	514.8	529.8	710	775	602.8
Temperatura ambiente($^{\circ}\text{C}$)	22	25.5	32.6	30.7	28.8
Temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$)	21	21	30	31.1	26.6
Oxígeno (mg/l)	0	0	8.72	9.49	3.05
Alcalinidad (mg/l)	40.5	41.5	72.5	71.5	53
CO_2 (mg/l)	0	0.5	3.2	3.1	1.4
Dureza total (mg/l)	268.9	271.3	600.6	592.6	373.2
Amonio (mg/l)	0	0	0.19	0.18	0.07
Nitritos (mg/l)	0.032	0.032	0.033	0.033	0.03
Nitratos (mg/l)	0.04	0.04	0.29	0.24	0.15
Ortofosfatos (mg/l)	0.03	0.03	0.2	0.26	0.09
Fósforo total (mg/l)	0.07	0.05	0.37	0.37	0.094
Sulfatos (mg/l)	16.47	18.43	30.87	39.11	26.22
Sulfuros (mg/l)	6.14	0.13	12.29	15.36	8.48

Los datos de la tabla anterior son los mínimos, máximos y promedios mensuales de cada estación, solo en el caso de temperatura y oxígeno, donde se determinó que existían diferencias estadísticas significativas se colocaron datos puntuales.

Tabla 4. Comparación de algunas determinaciones realizadas en el mismo cuerpo de agua en diferentes tiempos.

Parámetro	Granados (1990)	González y López (1995)	Ramos Mendoza Presente estudio (1995-1996)
Temperatura del agua (°C)	23 a 30	22.5 a 34	22.2 a 29
Temperatura ambiente (°C)	25 a 34	22 a 35.5	23.8 a 31.5
Oxígeno (mg/l)	4.1 a 11.6	0.103 a 10.58	0.7 a 4.9
Alcalinidad (mg/l)	5 a 120	44.43 a 89.46	42.3 a 72
pH	6.5 a 8.9	6.44 a 8.21	6.35 a 9.15
Conductividad (μs/cm)	205 a 910	180 a 818	522.3 a 775
Dureza total (mg/l)	140 a 544	324.06 a 534.83	270.1 a 596.6
Transparencia (m)	0.65 a 1.20	0.54 a 1.06	0.67 a 1.44

Al comparar los diferentes resultados se observa que la mayoría de las determinaciones realizadas son muy similares y no hay diferencias significativas, ANDEVA ($P < 0.05$) a excepción de la concentración de oxígeno que va disminuyendo conforme pasa el tiempo. Es de notarse que Granados (1990) reporta variaciones más amplias de los factores en comparación a los dos estudios posteriores.

Tabla 5 de calidad del agua

Característica	Límite permisible
Alcalinidad total en CaCO ₃ mg/l	400
Dureza total (como CaCO ₃) mg/l	500
Dureza del magnesio en CaCO ₃ mg/l	25
Fosfatos (como PO ₄ ⁻) mg/l	0.1
Nitratos (como N) mg/l	10
Nitritos (como N) mg/l	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N) mg/l	0.5
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Sólidos disueltos totales. mg/l	1000
Sulfatos (como SO ₄ ⁻) mg/l	400

*Límites permisibles de calidad y tratamientos (NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996
Diario oficial de la federación, agosto-94 y enero-97*

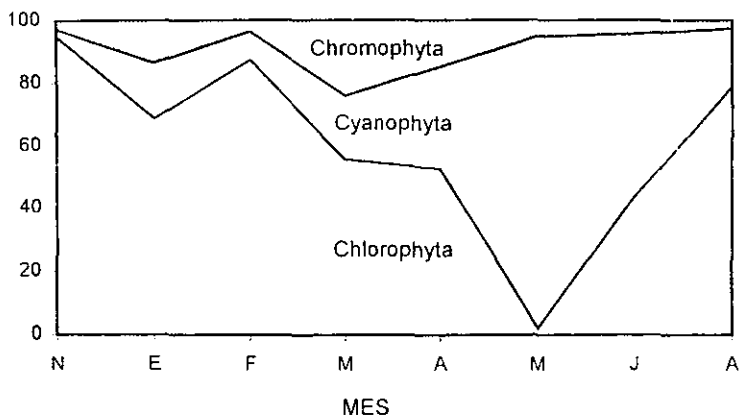
FITOPLANCTON

Tabla 6. Composición del fitoplancton

DIVISION	CLASE	GENERO	ESPECIE
CYANOPHYTA	CYANOPHYCEAE	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena</i> sp.
		<i>Anabaenopsis</i>	<i>A. elenkinni</i>
		<i>Aphanocapsa</i>	<i>Aphanocapsa</i> sp.
		<i>Chroococcus</i>	<i>C. minutus</i>
		<i>Merismopedia</i>	<i>M. glauca</i>
		<i>Microcystis</i>	<i>Microcystis</i> sp.
		<i>Johannesbaptistia</i>	<i>Johannesbaptistia</i> sp
		<i>Spirulina</i>	<i>Spirulina</i> Sp
CHROMOPHYTA	DIATOMOPHYCEAE (BACILLARIOPHYCEAE)	<i>Cyclotella</i>	<i>Cyclotella</i> sp.
		<i>Melosira</i>	<i>M. granulata</i>
		<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i> sp.
		<i>Surirella</i>	<i>Surirella</i> sp.
		<i>Navicula</i>	<i>Navicula</i> sp.
CHLOROPHYTA	CHLOROPHYCEAE	<i>Chlorococcum</i>	<i>C. infusorium</i>
		<i>Tetraedron</i>	<i>T. regulare</i>
		<i>Ankistrodesmus</i>	<i>A. falcatus</i>
		<i>Chlorella</i>	<i>C. miniata</i>
		<i>Franceia</i>	<i>F. droescheri</i>
		<i>Kirchneriella</i>	<i>K. obesa</i>
		<i>Micractinium</i>	<i>M. pusillum</i>
		<i>Botryosphaerella</i>	<i>B. sudetica</i>
		<i>Crucigenia</i>	<i>C. tetrapedia</i>
		<i>Scenedesmus</i>	<i>S. quadricauda</i>
	ZIGOPHYCEAE	<i>Chaetophora</i>	<i>C. pisiformis</i>
		<i>Closterium</i>	<i>Closterium</i> sp1.
			<i>Closterium</i> sp2.
		<i>Closterium</i> sp3.	
		<i>Closterium lanura</i>	
		<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium</i> sp

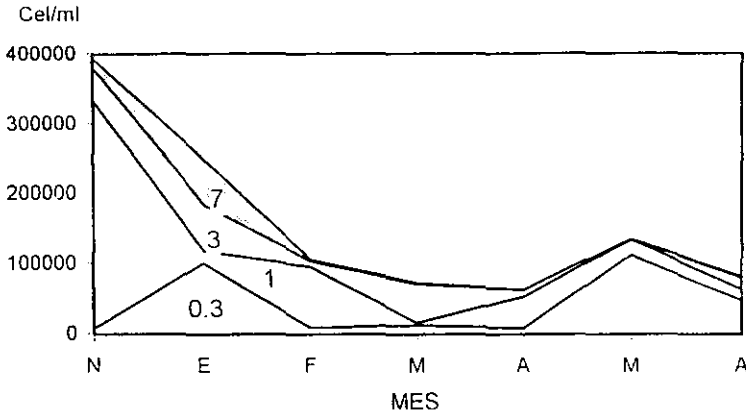
Se registraron en total 29 especies de algas pertenecientes a 3 divisiones, 4 clases y 26 géneros, dominando en número de especies y de géneros, las clorofitas y cianofitas.

Figura 23. Variación estacional de cada una de las divisiones del fitoplancton



La abundancia relativa de cada una de las divisiones en cada mes muestra que los máximos de cada una de estas divisiones se presentaron de la siguiente manera: Chlorophytas en noviembre, Cyanophytas en mayo, y Chromophytas en marzo.

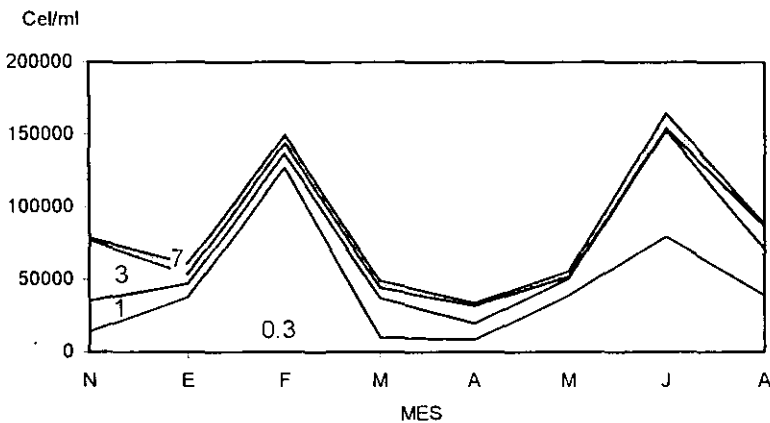
Figura 24. Variación estacional del fitoplancton en función de la profundidad



Estación 1

La menor concentración de organismos fitoplanctónicos se presentó a 7 m de profundidad en el mes de marzo con 1248 org/ml y la mayor concentración se presentó a 1m de profundidad con 324979 org/ml en noviembre. Asimismo se observa que la densidad tuvo una tendencia hacia la disminución conforme se realizaban los muestreos, con un ligero aumento a los 0.30 metros.

Figura 25. Variación estacional del fitoplancton en función de la profundidad



Estación 2

A diferencia de la estación 1 en la estación 2 la menor concentración de organismos fitoplanctónicos se registró a los 3 m de profundidad en el mes de junio con 1248 org/ml y la concentración mayor en febrero a 0.3 m con 126547 org/ml.

Tabla 7. Promedio del número de células/ml
Estación 1 y 2

Nivel (m)	Estación 1	Estación 2
0.3	42325	43961
1	73596	24243
3	29524	11700
7	16623	4742

Tabla 8. Variación de los parámetros de la comunidad fitoplanctónica

MES	Log S	H'	J'	1- J'
Nov-95	1.32	0.22	0.17	0.83
Ene-96	1.28	0.59	0.47	0.53
Feb-96	1.32	0.41	0.32	0.68
Mar-96	1.25	0.73	0.59	0.41
Abr-96	1.36	0.89	0.68	0.32
May-96	1.28	0.29	0.23	0.77
Jun-96	1.23	0.60	0.50	0.50
Ago-96	1.30	0.51	0.40	0.60

Log S = Logaritmo base 10 del número de especies

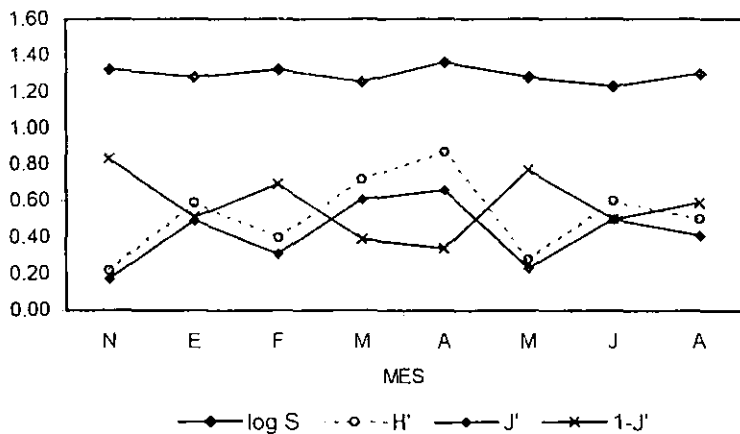
H' = Índice de Shannon Winer

H'max = Máx. Diversidad

J' = Equitatividad

1- J' = Uniformidad

Figura 26. Variación de la equitatividad, diversidad y uniformidad



Log S = Logaritmo base 10 del número de especies

H' = Índice de Shannon Winer

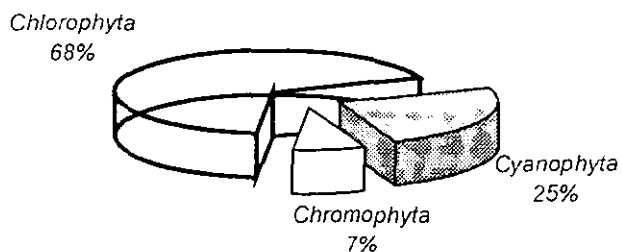
H'max = Máx. Diversidad

J' = Equitatividad

1- J' = Uniformidad

En la tabla 8 y figura 26 se presenta la variación mensual de la diversidad, equitatividad y uniformidad, observando que en el mes de noviembre donde se presentó la menor diversidad y equitatividad se obtuvo la mayor uniformidad y en el mes de abril donde la diversidad y equitatividad fue mayor, la uniformidad fue la más baja, aunque no necesariamente corresponde al número de especies presentes en este mes, ya que cuando se presentó el menor número de especies no le correspondió baja uniformidad.

Figura 27. Distribución total del fitoplancton



Durante el periodo de muestreo, la distribución del fitoplancton en cuanto al número de especies, se presentó de mayor a menor porcentaje, de la siguiente manera: *Chlorophyta* > *Cyanophyta* > *Chromophyta* como se observa en la figura 27.

Tabla 9. Abundancia relativa para cada una de las especies de la división Chlorophyta

Especie	%
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	13.67
<i>Botryosphaerella sudetica</i>	0.48
<i>Closterium lunura</i>	0.34
<i>Closterium sp1</i>	0.23
<i>Closterium sp2</i>	0.08
<i>Closterium sp3</i>	0.02
<i>Cosmarium sp</i>	0.02
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0.19
<i>Chaetophora pisifurmis</i>	0.02
<i>Chlorella miniata</i>	81.85
<i>Chlorococcum infusorium</i>	0.94
<i>Francela droescheri</i>	0.31
<i>Kirchneriella obesa</i>	0.82
<i>Micractinium pusillum</i>	0.06
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0.92
<i>Tetraedron regulare</i>	0.04

En las clorofitas la especie más abundante durante el muestreo fue el de *Chlorella miniata* con 81.85%, seguida de *Ankistrodesmus falcatus* con 13.67% y el menor *Chaetophora pisifurmis*, *Cosmarium sp.* y *Closterium sp3.* con 0.02 %.

Tabla 10. Abundancia relativa para cada una de las especies de la división Cyanophyta

Especie	%
<i>Anabaena sp.</i>	3.41
<i>Anabaenopsis elenkinni</i>	2.43
<i>Aphanocapsa sp.</i>	4.28
<i>Chroococcus minutus</i>	7.29
<i>Johannesbaptistia sp.</i>	0.40
<i>Merismopedia glauca</i>	3.53
<i>Microcystis sp.</i>	13.65
<i>Spirulina sp.</i>	65.01

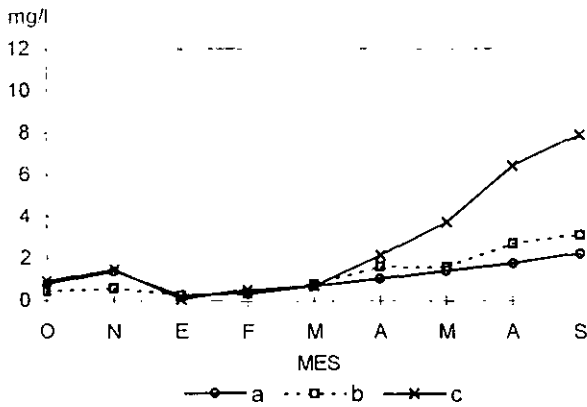
Con respecto a las cianofitas la especie más abundante durante el muestreo fue la *Spirulina sp.* con 65.01%, *Microcystis sp.* con 13.65%; la especie con baja abundancia fue *Johannesbaptistia sp.* con 0.40%.

Tabla 11. Abundancia relativa para cada una de las especies de la división Chromophyta

Especie	%
<i>Cyclotella sp.</i>	8.5
<i>Melosira granulata</i>	50.8
<i>Navicula sp.</i>	9.1
<i>Nitzchia sp.</i>	1.5
<i>Surirella sp.</i>	30.1

Las cromofitas fueron las menos diversas en cuanto a número de especies presentes, la especie más abundante durante el muestreo fue *Melosira granulata* con 50.8% y *Surirella sp.* con 30.1%, la menos abundante *Nitzchia sp.* con 1.5%

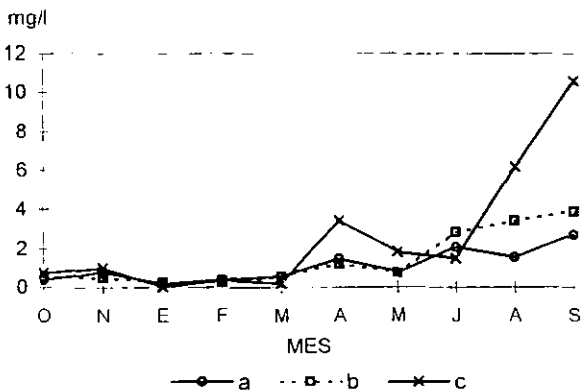
Figura 28. Concentración de clorofilas a, b, c.



Estación 1

En cuanto a la concentración de clorofilas las mínimas concentraciones se presentaron en el mes de enero con 0.23, 0.23 y 0.04 mg/l para la clorofila "a" "b" y "c" respectivamente y las máximas concentración en el mes de septiembre para la clorofila "a" "b" y "c" con 2.23, 3.11 y 7.88 mg/l respectivamente.

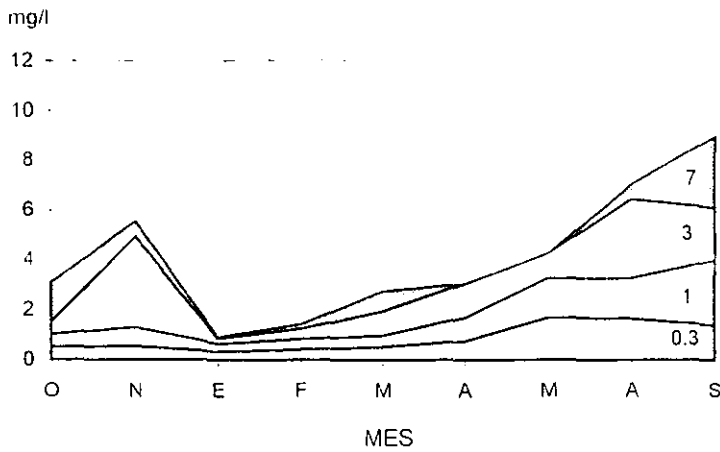
Figura 29. Concentración de clorofilas a, b, c.



Estación 2

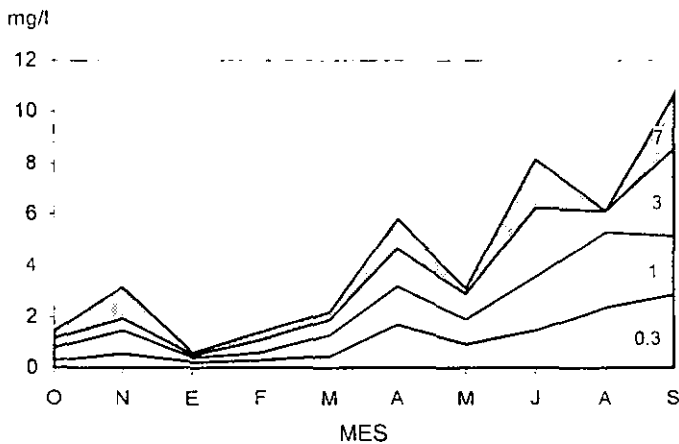
Se registraron las concentraciones mínimas de clorofilas en el mes de enero con 0.15, 0.22 y 0 mg/l para la clorofila "a" "b" y "c" respectivamente y las máximas concentración en septiembre para la clorofila "a" "b" y "c" con 2.66, 3.87 y 10.56 mg/l respectivamente.

Figura 30. Comportamiento estacional de la clorofila "a"



Estación 1

Figura 31. Comportamiento estacional de la clorofila "a"



Estación 2

En la estación 1 la mayor concentración de clorofila "a" fue de 3.6 mg/l a 3m, en noviembre y la menor concentración de 0.09 mg/l a 7m de profundidad en enero. En la estación 2 la mayor concentración de clorofila "a" fue de 3.4 mg/l a 3m en septiembre y la menor concentración de 0.09 mg/l a 3m en enero; cabe señalar que en agosto a los 7m de profundidad no se detectó clorofila "a".

Figura 32-33. Variación de la concentración de clorofila "a"
Durante el tiempo de estudio

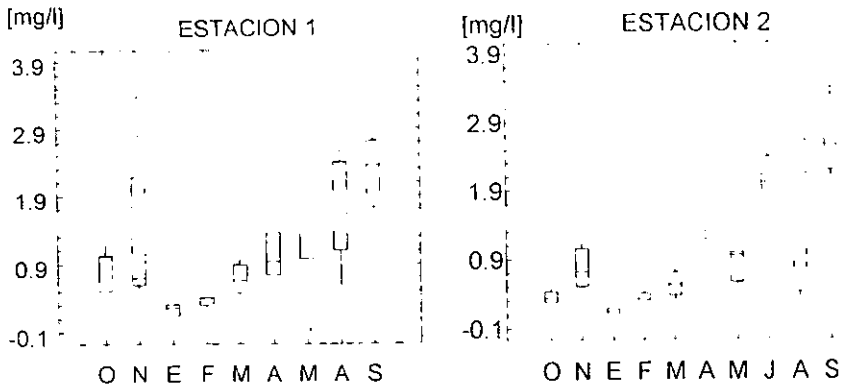


Figura 34-35. Variación de la concentración de clorofila "b"
Durante el tiempo de estudio

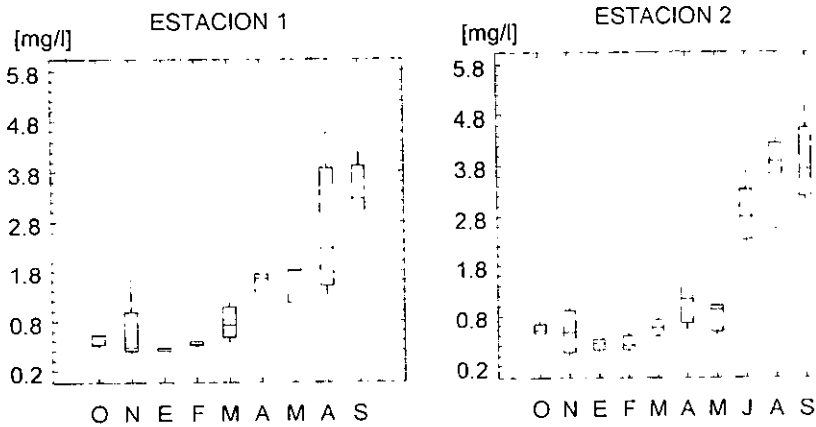
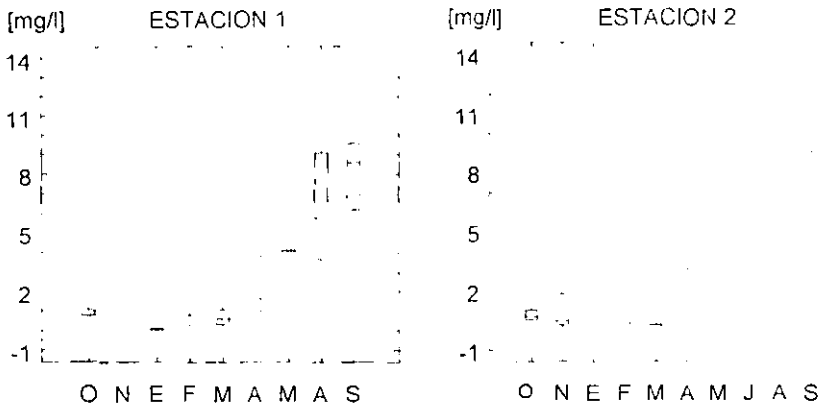
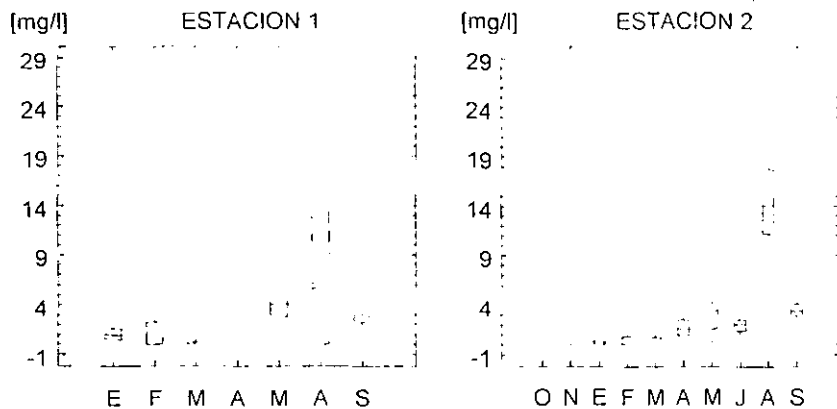


Figura 36-37. Variación de la concentración de clorofila "c"
Durante el tiempo de estudio



En la estación 1, las clorofilas a, b, c, se comportaron de la misma manera durante el estudio, registrando una concentración alta en noviembre-95 que disminuyó en enero para posteriormente incrementar su concentración conforme se realiza el estudio. En la estación 2, se presentó un comportamiento similar, una concentración mayor en noviembre que disminuyó en enero, después fue aumentando su concentración conforme transcurre el tiempo, solo que en mayo nuevamente disminuyó. Este descenso se le atribuyó al florecimiento de las cianofitas, después siguió su incremento hasta el final del muestreo. Los menores valores de clorofilas correspondieron a los meses de enero y febrero, después de la época de lluvias y máximo volumen del cuerpo de agua.

Figura 38-39. Comportamiento de los feopigmentos durante el tiempo de estudio



En la figura 40 y 41, se observa que las menores concentraciones se registraron al principio del muestreo y que incrementaron ligeramente conforme el transcurso del tiempo hasta encontrar la máxima concentración en agosto.

DISCUSIÓN

Parámetros físicos y químicos

Las aguas dulces no son totalmente puras, debido a que en su dinámica por la tierra erosionan y disuelven los componentes de las rocas y suelos de diferentes constitución edafológica, además contienen aquellos gases presentes en la atmósfera que se disuelven en la interfase entre ambos medios.

Temperatura

La temperatura tiene un gran efecto sobre los procesos químicos y biológicos del ecosistema acuático influyendo sobre el metabolismo y la fisiología de los organismos. Cervantes (1988). Los fenómenos de estratificación y mezcla de las aguas lénticas están relacionados con el ciclo de energía de la tierra. Esto es importante y puede ser útil para estimar con cierta anticipación el riesgo de la estratificación cuando el agua se destina a los estanques y puede afectar la sobrevivencia de la especie que se quiere cultivar.

Durante el periodo de muestreo la temperatura del aire fue mayor que la del agua a excepción del primer muestreo donde fue inversa. Con base en las temperaturas registradas del agua (Figura 4 y 5), la presa se puede clasificar de acuerdo al modelo de clasificación de Lewis (1983), y Hutchinson y Loffler (1956, citado en Torres-Orozco y García-Calderon, 1995) como un cuerpo de agua monomítico cálido, porque en él se presenta un periodo de circulación ó mezcla y otro de estratificación y holomítico porque en el periodo de mezcla o circulación se alcanzan las capas más profundas de la presa. La circulación se observó al principio del estudio en los meses de noviembre-95 a marzo-96, con el inicio de los vientos, para seguir con un periodo de estratificación en los meses de abril a septiembre-96, provocado probablemente por las altas tasas de evaporación y elevadas temperaturas.

En el periodo de circulación la columna de agua se vio afecta en su totalidad, por la temperatura, lo que trajo como consecuencia la homogeneidad térmica, en donde no hubo una diferencia de temperatura entre los niveles superiores e inferiores, para ambas estaciones de muestreo, comparado con el periodo de estratificación donde se observó una diferencia térmica menor de 1°C o más por metro de profundidad, que de acuerdo a

Vera -Herrera, (1981), en cuerpos de agua cálidos la termoclina puede presentarse con diferencia menor de un grado centígrado por cada metro de profundidad, ya que a diferencia de los sistemas templados, existen menos variaciones en la columna de agua y por lo tanto menor diferencia entre niveles.

Con respecto a la estratificación térmica, Magallón et al, (1992), reporta la presencia de una termoclina muy incipiente en el periodo de marzo-mayo, misma que fue afectada por los cambios térmicos y por la influencia de vientos fuertes, lo que determinó una estratificación muy frágil, pero con las mismas características que se presentaron en este estudio.

Como se sabe, los cuerpos de agua pueden calentarse y estratificarse de manera permanente o estacional según la latitud y altitud y se puede observar la presencia de una termoclina para el océano y una discontinuidad térmica para aguas continentales, que no permite la mezcla y renovación de aguas profundas y su oxigenación (Wetzel, 1981).

Asimismo, se sabe que la temperatura tiene mucha influencia sobre los organismos, ya que estos se clasifican según su tolerancia a este factor en euritérmicos y estenotérmicos. El incremento de la temperatura aumenta el metabolismo y en consecuencia, los requerimientos energéticos que se satisfacen mediante el consumo de materia orgánica particulada del medio natural, en la que se incluye el fitoplancton o en el caso de cultivos controlados con adiciones de alimento; también influye en la reproducción y la supervivencia de los estadios larvarios, especialmente para ciertos organismos. (Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox, 1986)

Es durante la época de estiaje cuando se presentan las más altas temperaturas, las cuales influyen en la solubilidad de los gases y por lo tanto en la fisiología de los organismos, debido a las altas tasas de evaporación, poco volumen de agua en el sistema acuático y mayor acumulación de materia orgánica que reduce los niveles de oxígeno principalmente en el fondo del sistema y afecta la sobrevivencia de los organismos como ha sucedido en otros años cuando se observaron altas mortalidades de peces, tanto de mojarra tilapia (*O. niloticus*) como de carpa herbívora (*C. idellus*).

Oxígeno disuelto

Respecto a la concentración del oxígeno disuelto, este proporciona información importante acerca de las relaciones biológicas y bioquímicas que ocurren en el agua. Al ser un gas utilizado para la respiración de los organismos, además de ser un componente necesario para la realización de procesos de óxido-reducción de algunos iones como nitratos-amonio, ferroso-férrico, y sulfatos-sulfitos, también se ha observado que altas concentraciones son tóxicas para la biota acuática. (Stoker y Seager, 1981)

Las concentraciones de oxígeno durante el muestreo en ambas estaciones presentaron un comportamiento similar en cuanto a la distribución a lo largo de la columna de agua, (figura 8, 9) encontrando que en superficie siempre hubo una mayor concentración del gas y conforme aumentaba la profundidad la concentración disminuyó, lo que indica que el tipo de curva que presenta el oxígeno es de tipo clinógrada típica de cuerpos de agua eutróficos.

Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto (O_2) se presentaron en la capa superficial del sistema a lo largo del estudio y las concentraciones menores e incluso una zona anóxica se registró en la estación 2, por debajo de los 7 metros durante casi todo el muestreo, esto debido probablemente a que la presa recibe descargas de aguas negras cerca de la estación 1 y éstas circulan rumbo a la compuerta donde se localiza la estación 2, allí la materia orgánica se acumula y por lo mismo se requiere de mayor demanda de oxígeno para degradarla.

La causa principal de desoxigenación del agua en los niveles más profundos del embalse se debe a la presencia de sustancias que en su conjunto se denominan residuos con requerimiento de oxígeno; se trata de compuestos que se degradan o descomponen fácilmente debido a la actividad bacteriana; el oxígeno disuelto disponible es consumido por la actividad bacteriana, por lo que la presencia de tales materiales llega con rapidez al agotamiento de O_2 (Stoker y Seager, 1981).

Es claro que en la estación 2, durante el verano existe un aumento de oxígeno disuelto debido principalmente a que el embalse empieza a llenarse durante la temporada de lluvias y por lo tanto la demanda química de oxígeno es un poco menor en

comparación a las otras temporadas, asociado a la cantidad de fitoplancton presente. Asimismo, existe mayor demanda en la temporada de sequía por las condiciones que prevalecen en esta zona de estudio y la acumulación de materia orgánica y la disminución del volumen del cuerpo de agua. Flores (1994) en el embalse el Niagara, registró zonas con cero concentración de este gas, esto lo atribuyó a que existe mayor concentración de contaminantes en el lugar y como consecuencia la demanda química es mayor, además la densidad de microorganismos y el escaso fitoplancton, causan la anoxia en ciertas partes del embalse.

Con base en lo anterior, la concentración de oxígeno disuelto presenta variaciones espaciales y temporales, resultados de los cambios en los factores bióticos (fotosíntesis, respiración, etc.) y abióticos dentro de los que destaca la temperatura. Es importante mencionar que tanto la temperatura como el oxígeno son factores que intervienen en el desarrollo de los organismos el primero controla el metabolismo a través de la dinámica molecular y las tasas de renovación bioquímica y el segundo las limita. Fry (1971 citado en Brett, 1979) señala que ambos factores rigen el movimiento y la distribución de peces en su hábitat, ya que requieren concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto para su sobrevivencia y adecuado crecimiento, además la concentración mínima del gas necesario varía según la especie y el tiempo de exposición. Las bajas concentraciones de oxígeno pueden ser adversas para los organismos a través de efectos indirectos sin causar la muerte, como por ejemplo, haciéndolos más susceptibles a parásitos y enfermedades, incluso pueden repercutir en la alimentación y el crecimiento.

Profundidad y transparencia

La profundidad y la transparencia siguieron un mismo comportamiento de acuerdo a la temporada del año, en el periodo de secas disminuyó la profundidad al igual que la transparencia, incrementándose ambas en la época de lluvias. La profundidad máxima fue de 16.50 m en noviembre de 1995, en la estación 2: respecto a la transparencia promedio esta fue de 1.039 m considerándola baja, por lo cual se puede asegurar que la principal fuente abastecedora de oxígeno en la capa superficial son los organismos fotosintéticos, así como el intercambio con el aire ya que la transparencia guarda una relación muy

estrecha con la cantidad de partículas disueltas y suspendidas, así como con la intensidad de luz la cual depende de la latitud, altitud y la hora del día.

Ramírez (1987) reporta para la laguna del Parque Norte una transparencia promedio muy baja de 0.33 m con una profundidad máxima de 1.70 m y una concentración promedio de oxígeno disuelto de 2.32 mg/l registrando zonas anóxicas.

De acuerdo a la visibilidad al disco de Secchi el sistema se puede tipificar como eutrófico con una probabilidad de 0.85 (Anon, 1982 citado en Harper, 1992) (Anexo 2).

Desde el punto de vista ecológico y acuicola, existen límites de tolerancia para la fracción inorgánica por producir problemas en las comunidades e interferir en los procesos productivos primarios, ya que dichas cargas provocan no sólo la obstrucción física de los órganos de los individuos, sino también altas tasas de sedimentación que ocasionan asfixia de los huevos de los peces y enterramiento de fuentes alimentarias, entre otras cosas. Por lo tanto, la cuantificación de la luz que penetra al sistema determina indirectamente tanto el material suspendido inorgánico (arcillas y limos) como el orgánico (fitoplancton y zooplancton) que atenúan la penetración de la luz (Wetzel and Likens, 1991).

Granados, (1990) reporta para la presa Emiliano Zapata una concentración promedio anual de oxígeno disuelto de 7.85 mg/l, con temperatura media anual de 26.5 °C, y una transparencia media de 0.925 metros; González y López (1997), para el mismo embalse reportan una concentración promedio de oxígeno de 5.3 mg/l, una temperatura media anual de 28.2°C, y una transparencia de 0.8 m. Al comparar las diferentes determinaciones con el presente estudio se observa que la mayoría de las determinaciones realizadas son muy similares y no se encontraron diferencias significativas, (ANDEVA, $p < 0.05$) a excepción de la concentración de oxígeno que va disminuyendo conforme ha transcurrido el tiempo, lo que sugiere que el cuerpo de agua esta acelerando su envejecimiento y además por la acumulación de materia orgánica y sedimentos en gran proporción, debido a la descarga de aguas municipales sin tratamiento hacia el cuerpo de agua y a los aportes terrígenos de los sistemas aledaños durante la temporada de lluvias.

Dureza total

Las concentraciones promedio de dureza total para ambas estaciones fueron muy similares, teniendo un comportamiento uniforme en los primeros meses del muestreo, para después incrementar su concentración en la época más seca, donde el volumen de la presa disminuyó en los meses de abril - mayo. Esto debido probablemente a que conforme el volumen del embalse disminuye se van concentrando los iones de calcio y magnesio, que son los que determinan la dureza y esto se ve reflejado también con el comportamiento del pH, que se ve incrementado en estos meses.

De acuerdo a los valores altos de dureza total registrados (figura. 14 y 15), el agua del embalse se puede clasificar como extremadamente dura, Boyd (1979).

En los meses de abril y mayo, donde las concentraciones de dureza total fueron mayores, rebasaron los límites permisibles de calidad del agua, (tabla 5). Esto tiene una relación directa con el fitoplancton y zooplancton indicando una dependencia de los organismos del plancton con respecto al calcio y al magnesio, que son los componentes de la dureza. Con relación a esto Pennak (1978) reporta la influencia de estos dos elementos sobre el zooplancton y el hecho de que las concentraciones altas del magnesio pueden llegar a inhibir la reproducción. En cuanto al fitoplancton, se sabe con certeza que el calcio es requerido por cualquier vegetal para controlar las concentraciones de otros iones como el mismo magnesio y los nitratos.

La dureza de calcio tiene un papel determinante en la productividad del sistema y en el metabolismo de los organismos, ya que el calcio es utilizado por los peces para formar estructuras calcáreas, caparazones de los organismos zooplanctónicos y bentónicos y para dar rigidez a la pared celular del fitoplancton (Wetzel, 1981).

Por otra parte el calcio es necesario para la contracción y relajación de los músculos del corazón, para el control de pasaje fluido a través de las células, da rigidez al esqueleto de vertebrados. La importancia del magnesio reside en que todos los organismos autótrofos precisan de este ión en forma de magnesioporfirina, constituyente esencial de la molécula de clorofila y como micronutriente en la transformación enzimática de los organismos especialmente en la transfosforilación de algas, hongos y bacterias.

Magallón et al. (1992), determinaron que las variaciones de dureza estuvieron relacionadas con el régimen de lluvias, al avanzar la época de sequía, se presentó una tendencia hacia promedios más altos, tanto en superficie como en el fondo, comportamiento similar que se observó en la presa, además de que los valores están regidos por la apertura de la compuerta así como por la tasa de evaporación durante la época de sequía.

Alcalinidad total

La alcalinidad total tuvo un comportamiento similar en ambas estaciones encontrando las concentraciones menores en temporada de lluvias y las mayores concentraciones en temporada de secas (figura 16)

Las concentraciones de alcalinidad total referida en CaCO_3 observadas en el sistema tienen una relación directa sobre la productividad del sistema la cual se ve modificada por la cantidad y clase de compuestos presentes, que en conjunto modifican el pH ya que al aumentar la alcalinidad se presenta un aumento en la disponibilidad del fósforo y otros nutrimentos y bajo estas condiciones, los bicarbonatos pueden ser utilizados como una fuente principal en los procesos de la fotosíntesis. La alcalinidad normalmente es debida a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. El sistema de equilibrio $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$, es el principal mecanismo de tamponamiento de las aguas dulces (Wetzel, 1981).

Granados (1990), reporta para el mismo cuerpo de agua una alcalinidad promedio de 78.2 mg/l, considerada de mediana alcalinidad y una dureza total promedio de 321 mg/l, moderadamente elevada (con altas concentraciones de calcio y magnesio) mencionando que el magnesio puede actuar como factor limitante para inhibir la reproducción de distintas especies planctónicas.

González y López (1997) reportan para el mismo cuerpo de agua una alcalinidad promedio de 69.12 mg/l, considerada de acuerdo al criterio de Wheaton (1982), como

alcalinidad moderada y una dureza total promedio de 400.75 mg/l, considerada de acuerdo a la escala de Boyd (1979) como extremadamente dura.

La alcalinidad y la dureza del agua afectan directamente el metabolismo de los organismos, reduciendo la producción total de la tilapia. Una alcalinidad superior a 175 mgCaCO₃/l resulta perjudicial, debido a las formaciones calcáreas que se producen y que afectan tanto a la productividad del sistema como a los peces al dañar sus branquias. Una alcalinidad de aproximadamente 75 mg CaCO₃/l se considera adecuada y propicia para enriquecer la productividad del sistema (Aguilera y Noriega, 1988). Las concentraciones de alcalinidad total presentes en el cuerpo de agua se consideran adecuadas para el cultivo de la tilapia, especie que se cultiva en la zona.

Como los valores de dureza total sobrepasan los de la alcalinidad total, los iones divalentes probablemente estén asociados con otros elementos tales como sulfatos, cloruros, silicatos, nitratos o boratos, más que con los carbonatos y bicarbonatos (Arredondo-Figueroa y Lozano-Garcia, 1994)

Conductividad

La conductividad se define como una medida de la resistencia de una solución a la corriente eléctrica y esta determinada por el contenido de sales iónicas (Apha-Awwa-Wpcf (1980). Este parámetro se observó que osciló entre los 500 y 800 μ s/cm y a veces este valor puede incrementarse en zonas donde se presenta contaminación

La conductividad eléctrica del agua depende en gran parte de la cantidad de sólidos disueltos, de forma que cuanto mayor sea el contenido de sólidos mayor será la conductividad eléctrica. Los sólidos disueltos no fueron determinados, pero sí la alcalinidad y dureza total. De esta forma, donde se presentan valores altos de alcalinidad y dureza también se tienen valores altos de conductividad correspondiente a la época mas sequía del estudio, originado por la tasa de evaporación que provoca un incremento

en la conductividad por un aumento en la concentración de sólidos y por la disminución en el volumen del sistema por efecto de la apertura de la compuerta.

Con relación a la dinámica ambiental se observa que al disminuir el volumen de agua, se incrementan los valores de dureza, oxígeno, alcalinidad, temperatura y conductividad y disminuye la transparencia, por el contrario cuando aumenta el volumen de agua (temporada de lluvias) provoca una dilución de sustancias (dureza, alcalinidad y conductividad) fenómeno observado en estanques piscícolas del estado de México por Navarrete-Salgado y Elías-Fernández (1993)

De acuerdo a los valores obtenidos para este factor, se considera que presenta una alta carga iónica y reserva alcalina, ya que a mayor concentración de iones, se incrementa la conductividad del agua lo cual es un factor importante, por que permite estimar el grado de mineralización que tiene el recurso agua.

Dióxido de carbono y pH.

La importancia del CO_2 radica en que constituye uno de los nutrientes principales del metabolismo fotosintético del fitoplancton y macrofitas acuáticas. Los procesos que influyen en la concentración de CO_2 son la fotosíntesis y la respiración por lo cual sus valores fluctúan durante el día en forma inversa a la del oxígeno, ya que el CO_2 se utiliza para la fotosíntesis y el oxígeno se obtiene como producto fotosintético. la concentración de CO_2 es menor a medio día y mayor a media noche cuando solamente se efectúa el proceso de respiración.

El CO_2 y sus diferentes formas dependen del pH por lo que ambos guardan estrecha relación. Cuando no se logra el abatimiento total del CO_2 el pH tiene una tendencia hacia la acidez porque el CO_2 al entrar en contacto con el agua se forma ácido carbónico, proceso que se lleva a cabo a un pH menor a 8 (en nuestro estudio el pH fluctuó entre 6.3 a 9.5); sin embargo como el ácido carbónico es un ácido débil se disocia en el agua aumentando su concentración de iones hidronio produciéndose además iones carbonato y bicarbonato, este sistema CO_2 -bicarbonato actúa como tampón lo cual

ocasionará un amortiguamiento que mantendrá la neutralidad del sistema (Valentyne 1978).

Las concentraciones de CO_2 presentes en el sistema a partir de los 5 metros son el resultado de la degradación de la materia orgánica aunado al producto de la respiración de los organismos influyendo en la disminución del pH conforme aumenta la profundidad porque aparte de la degradación heterotrófica de la materia orgánica, la fermentación microbiana del metano, la nitrificación del amonio y la oxidación de los sulfuros provocan también la formación de CO_2 y por lo tanto la reducción del pH (Wetzel, 1981).

Este mismo proceso que se produce en el embalse, es mencionado por Pedroso y Bonetto (1991), quienes señalan que las condiciones de acidificación se deben a la descomposición de la materia orgánica derivada de la vegetación acuática y/o del agotamiento de oxígeno el cual favorece el incremento de la liberación de fósforo desde los sedimentos.

Los valores de pH registrados fluctuaron dentro de un intervalo muy similar en ambas estaciones, observando los valores más altos en época de sequía (Abril), para después disminuir conforme aumentó el volumen de la presa. En primavera, el incremento de la luz y la temperatura ejercen un importante control sobre la absorción fotosintética de CO_2 , y sobre su formación por la descomposición microbiana de la materia orgánica. La mayor intensidad de la fotosíntesis con respecto a la respiración en la zona trofógena, tienden a provocar una disminución en el contenido de CO_2 , junto con un aumento en el pH, mientras que en la zona trofólita y en los sedimentos se genera CO_2 por la respiración, lo cual hace disminuir el pH, aunque a pH mayores de 9 o menores de 6, los peces presentan anomalías que afectan su sobrevivencia (Wetzel, 1981).

Sin embargo el pH registrado se considera adecuado para el cultivo, no porque tenga un efecto directo sobre la tilapia, (especie que se cultiva en el lugar), sino porque favorece la productividad natural del sistema, misma que constituye una fuente importante de alimento para el pez (Aguilera y Noriega, 1988).

NUTRIMENTOS

Nitritos, nitratos y amonio

Las concentraciones promedio de nitritos tuvieron un comportamiento muy similar durante el muestreo en ambas estaciones presentando un comportamiento uniforme durante los primeros meses incrementando ligeramente su concentración en el periodo de estratificación. La concentración promedio de nitratos parte de una concentración alta en el mes noviembre-95, y disminuye conforme el volumen de la presa para después incrementar su concentración conforme aumenta el volumen del embalse, sin llegar a rebasar los límites permisibles establecidos (tabla 5). Este incremento se debe a que durante el periodo de lluvias comienza el proceso de mezcla, aereación y por lo tanto aumento en el oxígeno disuelto que hace que el sistema presente condiciones de oxigenación aún cuando existe un aporte de desechos acarreados por el aporte fluvial. El amonio que se comportó muy similar a la concentración de nitratos presentó una concentración mayor al inicio del muestreo encontrándose dentro de los límites permisibles y fue descendiendo conforme al volumen de la presa en ambas estaciones. Las concentraciones mayores registradas se deben a la degradación de la materia orgánica abundante en el sistema, si se considera que la concentración relativa de amonio y nitrito es mayor donde la descomposición de la materia orgánica es más activa, es decir cerca del fondo (Margalef, 1976).

Las variaciones de los nutrientes se deben a que en temporada de lluvias recibe aportes con alto contenido de materia orgánica, además de la depuración de los excrementos del ganado y el filtrado de agua a través del suelo, lixivia los nutrientes solubles de las plantas y erosiona la superficie del suelo o el paso de pequeñas partículas al drenaje subterráneo (Mason, 1984).

Paaby (1995) reporta para el embalse Arenal, valores intermedios-altos de amonio con fluctuaciones variables a través del tiempo, esto lo atribuye a los desechos de las lecherías, las porquerizas y las letrinas, comunes en la cuenca influyendo de una manera directa en las concentraciones de este nutriente en las aguas. Algo similar puede estar pasando en la presa por el aporte de materia orgánica proveniente de las aguas de desechos municipal, las cuales son vertidas en un 50% dentro del embalse,

principalmente cuando la bomba que se utiliza para enviar esta agua por detrás de la cortina no funciona.

Fósforo total

Las concentraciones de fósforo total que se presentaron en ambas estaciones fueron muy similares (figura, 19 y 20). Se encontró una mayor concentración en Noviembre-95 y esta fue descendiendo conforme el volumen del sistema; posteriormente se incrementó durante la temporada de lluvias y dichas concentraciones se encuentran dentro de los límites permisibles y se consideran bajas (Tabla 5). La concentración de estos nutrientes se debe principalmente de acuerdo a (Mason, 1984) al aporte de descargas de agua de tipo domésticas y a la erosión que se presenta en las tierras aledañas al cuerpo de agua.

Flores (1994), registró para el embalse el Niagara, concentraciones altas de ortofosfatos que fluctúan entre 4.6 – 24.8 mg/l, y concluye que se debe al lavado de los suelos fertilizados y a los detergentes; estos últimos han aumentado significativamente por el uso desmedido y su concentración ha rebasado el límite permisible.

La concentración de los nutrientes más importantes y limitantes, (el fósforo y el nitrógeno) influyen primordialmente sobre los productores primarios, y su concentración determina la distribución o abundancia de diferentes especies (Margalef, 1976). Los nitratos y ortofosfatos aumentaron paralelamente a medida que en el sistema acuático aumentó el aporte de material orgánico, lo cual ocurrió durante la época de lluvias.

Si se considera que las aguas residuales domésticas (desperdicios humanos e industriales) son una fuente importante de nutrientes y en particular de fósforo, el escurrimiento de las tierras de cultivo procedentes de suelos fertilizados también constituyen una fuente importante. Las aguas residuales y domésticas y ciertos procesos industriales representan un gran porcentaje de la descarga total de fósforo (Stoker y Seager, 1981)

Por lo tanto, es importante considerar que la materia orgánica de cualquier procedencia constituida por proteínas y estas a su vez por aminoácidos, cuando se descompone produce amoníaco. el cual en el medio acuático reacciona y produce amonio, que es asimilado por el fitoplancton y la macrovegetación directamente.

El punto inicial de aporte ha sido vía fluvial, principalmente de inorgánicos (disolución de calizas, sedimentos y rocas), después el vegetal (desde el planctónico hasta la macrovegetación bentónica de composición diversa incluídas celulosa y lignina), el animal (productos de excreción) y en la actualidad desechos orgánicos. Este tipo de aporte varía según las características locales edáficas, climáticas, de vegetación y de actividades antropocéntricas.

Como se sabe, el ciclo de los nutrientes no es cerrado y actualmente se ha incrementado el aporte por las descargas urbanas, industriales y de acuicultura que llegan al sedimento y bajo condiciones propicias de reducción química y de dinámica de circulación, difunden e incrementan el contenido en el agua.

Con base en las concentraciones de fósforo total el embalse se puede clasificar como eutrófico en sus valores mínimos con una probabilidad de 0.75 y en sus valores máximos con una probabilidad de 0.95 (Anon, 1982, citado en Harper, 1992) (Anexo 1).

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 del SO_4^{2-} en el embalse indican que se trata de un cuerpo de agua moderadamente sulfatado que origina una alta salinidad, ya que los límites normales para los cuerpos de agua se encuentran entre 5 y 30 mg/l con promedio de 11 mg/l (Wetzel, 1981) mientras que las obtenidas en el presente estudio oscilan entre 16 y 39 mg/l.

Las fuentes de los compuestos del azufre son las rocas y los suelos y es transportado por la atmósfera por medio de la precipitación y depositación. Procesos geológicos y epigénesis de sulfato, ocurren en las rocas y suelos que contienen cantidades considerables de azufre libre o sulfuros, que son oxidados a ácido sulfúrico por el agua.

Las concentraciones de sulfatos se empezaron a determinar a partir de febrero de 1996 y los sulfuros en noviembre del 95, observando que cuando aumenta la concentración de sulfatos; los sulfuros disminuyen y las concentraciones mayores de ambos compuestos se presentaron en la estación 2, debido probablemente a las condiciones que allí prevalecen, (menor concentración de oxígeno disuelto y presencia de CO_2) ya que al disminuir la concentración de oxígeno disuelto, las bacterias anaerobias reducen a los sulfatos $\text{SO}_4^{=}$ en sulfuro, proceso que se pudo haber acentuado por la presencia de dióxido de carbono, el cual al contener carbono sirve de suministro de energía para llevar a cabo dicho proceso (Wheaton, 1982). En temporada de lluvias la presa recibe aportes con alto contenido de materia orgánica además del filtrado de agua a través del suelo, lixivia los nutrientes solubles de las plantas, erosiona la superficie del suelo o el paso de pequeñas partículas al drenaje subterráneo (Mason, 1984), ya que las rocas sedimentarias tienen componentes como sulfato de calcio que provienen del drenaje de regiones calcáreas mismas que prevalecen en la presa constituyendo un aporte muy importante al sistema.

Es importante tomar en cuenta que el proceso químico no depende de la dinámica de concentración o dilución del cuerpo de agua, ya que está influenciada por la apertura de la compuerta, por el proceso de infiltración hacia el subsuelo y por la tasa de evaporación que se presenta en el área de estudio; así como por la aportación de agua de desecho proveniente de la descarga municipal.

FITOPLANCTON

El fitoplancton está compuesto de una cantidad y diversidad de organismos que ocupan distintos nichos ecológicos y propician una elevada disponibilidad de alimentos para los otros niveles tróficos; asimismo, el fitoplancton dulceacuicola juega un papel muy importante dentro del ecosistema al fijar la energía proveniente del sol y transformarla en energía útil para los siguientes eslabones de la cadena alimenticia (Arredondo- Figueroa, 1993).

La población fitoplanctónica se caracterizó por presentar durante el estudio, dominancia en cuanto número de especies, por la división Chlorophyta, seguido de la Cyanophyta y Chromophyta, de la misma manera como lo citan González y López (1997).

Así, se puede mencionar que las cromofitas fueron las menos abundantes, debido posiblemente a que la mayoría se encuentran localizadas en los substratos, ya que muchas de ellas son sésiles, tal es el caso de *Melosira sp.* que puede permanecer en el fondo de los lagos todo el año y las concentraciones de sílice no pueden ser consideradas como limitantes en su desarrollo y reproducción.

La división más abundante fue la clorofita, debido a que se desarrollan con facilidad en aguas eutróficas y con una relación nitrógeno fósforo alta (como lo cita Margalef, (1976).

(Wetzel, 1981), menciona que normalmente el número de células del fitoplancton y su biomasa aumentan enormemente en la primavera, al mejorar las condiciones de luminosidad, alcanzando un máximo en primavera; cabe mencionar que este comportamiento no se presentó en el cuerpo de agua en estudio, ya que el pico máximo para las clorofitas fue en noviembre, cianofitas en mayo y cromofitas en marzo, esto debido probablemente a que el fitoplancton es más dependiente de la cantidad de nutrimentos disponibles que al régimen de luminosidad que prevalece en la zona de estudio.

Las clorofitas presentaron una tendencia marcada a la reducción, alcanzando en los meses más fríos del año valores altos, sobre todo en diciembre y enero, para después disminuir sensiblemente en los meses cálidos, mayo junio y julio, donde existe una mayor concentración de carbonato de calcio. Por otro lado las cianofitas mostraron una conducta inversa, siendo más abundante en la época cálida (abril a junio).

Como se puede observar en la figura 23, al inicio del estudio se cuantificó una gran cantidad de clorofitas. esto se debió probablemente a que también la concentración de fósforo disponible en el sistema fue la mayor registrada durante el muestreo, por lo que favorecieron su desarrollo. El inicio de la primavera va acompañado de un afloramiento que se origina con el inicio de la estratificación incrementándose las cromofitas y las cianofitas como se observa en marzo; conforme pasa el tiempo el volumen de agua, la concentración de fósforo de nitrógeno disminuyen, con lo cual se ven beneficiadas las cianofitas en mayo, ya que su florecimiento no depende del nitrógeno disponible, porque algunas especies de cianofitas, pueden fijar nitrógeno molecular por medio de los heterocistos (*Anabaena sp.*, *Spirulina sp.*), mientras que otras no lo hacen, como *Microcystis sp.*

Anabaena sp., es una especie que fija nitrógeno y predomina cuando la relación N:P es baja, mientras que *Oscillatoria sp.*, sin heterocistes no fija nitrógeno, se desarrolla en medios con una relación N:P más alta. (Margalef, 1983)

Por lo anterior, la dominancia en el plancton de algas verde-azules durante primavera y verano puede indicar condiciones eutróficas.

Por otra parte la proliferación de cianofitas comúnmente asociada a la eutrofización de los lagos puede tener un profundo efecto sobre la estructura comunitaria del plancton. Por una parte ellas inhiben a otras algas que sirven de alimento al zooplancton o también por la sombra que producen en casos de desarrollo masivo, lo que repercute de manera especial en aquellas algas que tienen un elevado cociente respiración /fotosíntesis. Así mismo, se sabe que la acumulación de los filamentos puede interferir mecánicamente con el proceso de alimentación del zooplancton filtrador (González de Infante, 1988).

En la (figura, 24 y 25) esta representada la variación estacional del fitoplancton en función de la profundidad. En la tabla 7, se muestra el promedio del fitoplancton por nivel observando un mayor número de organismos en la estación 1 comparado con la estación 2. Granados (1990) no determinó taxonómicamente al fitoplancton pero sí la variación estacional y obtuvo la mayor densidad en febrero con 23,800 org/ml y la menor en octubre con 3,620 org/ml, las cuales son similares a las del presente estudio. González y López (1997) reportan la mayor densidad en la estación 2, con 26,458 org/ml en julio y septiembre, la mínima en noviembre con 4,492 org/ml en la misma estación; las densidades mayores reportadas son muy cercanas a las registradas en el presente estudio.

Margalef (1983) establece para cuerpos de agua eutrofizados el intervalo de 100 a 10,000 org/ml, si contrastamos las densidades de cada una de las profundidades que obtuvimos durante el estudio, observamos que superan esos límites, esto debido a que las condiciones, para su desarrollo son óptimas, (temperatura, concentración de nutrientes etc.) ya que algunas especies como *Anabaena sp.*, *Ankistodesmus sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Chlorella sp.*, son propias de aguas eutróficas.

Algunas especies muestran un comportamiento sucesional a través del tiempo, así algunas dominan en verano, otras en otoño y otras en primavera. Estos cambios son atribuidos a diferentes factores, incluidos el pH, la temperatura, la concentración de nutrientes, la luz, el clima, la salinidad, la ingestión de los peces y el zooplancton, la competencia interespecífica, así como por algunas toxinas naturales de las algas (Quiroz et al. 1992).

La estación 1, presenta menor profundidad por lo que la intensidad de la luz abarca una mayor parte de la columna de agua a diferencia de la estación 2 que se ve influenciado por la topografía, ya que se localiza entre dos pendientes lo que origina que la intensidad lumínica disminuya por la sombra que se produce en el agua la mayor parte del día. Esto está relacionado directamente con el crecimiento algal y con las concentraciones de oxígeno que en general son mayores en la estación 1 además de la influencia de los vientos y a la actividad pesquera que se realiza con mayor intensidad en ésta área.

Otro aspecto importante que influye en el crecimiento del fitoplancton es la depredación a la que es sometido por parte del zooplancton. McCauley y Kalf (1981), indican que el zooplancton es capaz de consumir parte de la comunidad fitoplanctónica refiriéndose primordialmente al nanoplancton, e indican también que en menor proporción los peces son depredadores del fitoplancton; dichos organismos predominantes en el área de estudio son las tilapias con hábitos alimentarios omnívoros (con tendencia a ser fitófagos) en la fase adulta.

Se determinó el índice de diversidad, el cual es una medida de la estabilidad de la comunidad (Brower y Zar, 1977). En la tabla (8) y figura (26) se presenta la variación mensual de la diversidad, equitatividad y uniformidad, observando que en el mes de noviembre donde se registró la menor diversidad y equitatividad así como la mayor uniformidad y durante abril la diversidad, equitatividad y número de especies fue mayor y la uniformidad fue la más baja. El índice de diversidad depende del número de individuos totales, es por ello que aunque se tenga igual número de especies en algunos meses el índice es diferente.

En los casos en los que el índice de diversidad son más altos, indica que existe una gran variedad de especies y por lo mismo se habla de una comunidad con alta complejidad, ya que la gran variedad de especies permite la interacción entre las diferentes especies. Estas poblaciones interaccionan involucrando transferencia de energía (cadena alimenticia), depredación, competencia y nicho apropiado, son teóricamente más complejos y variados por lo que tiende a ser más estable la comunidad. Así una alta diversidad de especies se asocia usualmente con la estabilidad de la comunidad (Brower y Zar 1977).

En cuanto a la uniformidad mayor registrada significa que el número de especies encontradas fue similar al de los otros meses, el valor más bajo indica que hubo un dominio por parte de algunas algas y las variaciones que se puede apreciar dependen principalmente del ciclo de vida de cada una de las algas y de las condiciones ambientales que prevalecen en el sistema.

De manera general, se puede decir que durante la primavera y verano se registran la mayor diversidad y uniformidad y durante los meses fríos le corresponden menores valores, posiblemente por la alta relación N:P y a la disponibilidad de otros elementos

CLOROFILAS

Es otra medida indirecta de la biomasa del fitoplancton porque todas las algas fotoautotróficas contienen clorofila a. Por lo general, la clorofila constituye entre el 0.5 y el 2% del peso seco de la especie, es decir una fracción sumamente variable; ello explica porqué se obtienen resultados muy inciertos con los coeficientes de peso (González de Infante 1988).

En cuanto a las clorofilas, se realizó un análisis de correlación con cada una de las variables, (tabla 1), encontrando que la clorofila a, b y c, tiene una correlación positiva con la temperatura, conductividad, nitratos y una correlación negativa con los sulfatos. En cuanto al número de células fitoplanctónicas presentó una relación negativa con los SO_4^{2-} , y los feopigmentos tuvieron una relación positiva con la temperatura, conductividad, amonio y negativa con los SO_4^{2-} .

En la estación 1, las clorofilas a, b, c, se comportaron de la misma manera durante el estudio, registrando la concentración más alta en noviembre-95, disminuyó en enero para posteriormente incrementar su concentración conforme el tiempo de muestreo. En la estación 2, se presentó un comportamiento similar, solo que en el mes de mayo hubo una disminución el cual se le atribuyó al florecimiento de las cianofitas, para después incrementar hasta el final del muestreo.

Como se observa en la figura (31 y 32) la clorofila se distribuyó a lo largo de la columna de agua encontrando la mayor concentración de clorofilas a 1 y 3 m, los valores superficiales son en general más bajos que los valores un poco más profundos, indicando una posible fotoinhibición en la superficie.

La cantidad total de clorofila por célula, y la composición de los pigmentos, se consideran como adaptaciones de las algas a diferentes intensidades de luz. Las poblaciones que viven a mayor profundidad están adaptadas a luz poco intensa (mayor eficiencia a intensidades luminosas débiles) (Margalef, 1983).

Al inicio del estudio, (figura 32 a 37), se registró una gran cantidad de clorofilas, esto es debido probablemente al gran número de clorofitas. Como menciona Arredondo-Figueroa (1993) este tipo de algas contienen clorofila a y b, entre otros pigmentos, que al presentarse las condiciones adecuadas (nutrimentos, luz etc.) favorecen su desarrollo.

Conforme transcurre el tiempo el volumen de agua y la concentración de nutrimentos disminuye incrementando el desarrollo de las cromofitas que contienen clorofila a y c, entre otros pigmentos; en mayo vuelve a disminuir la concentración de clorofilas, esto debido al cambio en las condiciones del sistema, que van a favorecer a un tercer grupo (cianofitas), las cuales contienen ficobilinas. Arredondo-Figueroa, (1993), menciona que al presentarse la temporada de lluvias incrementan los nutrimentos y con ello también el número de organismos fotosintéticos. Al incrementarse nuevamente el volumen de agua se incrementa la concentración de clorofilas.

La disminución de la cantidad de clorofilas conforme aumenta la profundidad se debe a que la luz es considerada como el principal factor limitativo de la fotosíntesis, ya que la intensidad disminuye conforme desciende en la columna de agua; la entrada de luz restringe la fotosíntesis a la zona eufótica y es donde el proceso de la productividad alcanza su mejor desarrollo; sin embargo, la mayor concentración de clorofilas se presentó a los 3 m en ambas estaciones. Esto se debe a que el exceso de luz es perjudicial, ya que al aumentar la intensidad luminosa se llega a un punto en el cual existe una inhibición de la fotosíntesis (Contreras, 1984), además de que es un factor determinante en las migraciones verticales y en la probabilidad de encuentro de la presa por los depredadores visuales del plancton (González de Infante 1988).

Al comparar los diagramas de cajas (figuras, 32 a 37), con el comportamiento de la temperatura (figura, 6 y 7) se observa que la temperatura tiene un efecto directo sobre estos pigmentos, ya que siguen el mismo patrón de comportamiento; claro está, que

cualquier cambio en la temperatura normal del lugar tendrá un efecto negativo sobre los organismos y sus procesos (Contreras, 1984).

Otro de los factores que influyen indirectamente en la concentración de clorofilas son los nutrientes inorgánicos, (compuestos del nitrógeno y del fósforo) Este último es con frecuencia el factor limitante de la producción fitoplanctónica. Los fosfatos y nitratos se consumen con rapidez en la superficie de los lagos durante los periodos de intensa proliferación del fitoplancton y en las aguas más profundas hay por lo general mayor concentración debido a la descomposición de la materia orgánica.

El método de la cuantificación de clorofilas a, b, c, se utilizó como un indicador de la biomasa primaria presente en los sistemas, esta variable se considerada también para la evaluación de la productividad primaria. Además la productividad primaria sigue con bastante exactitud el ciclo de radiación solar incidente en lagos templados. (Wetzel, 1981)

Las concentraciones registradas de clorofila "a" clasifican al sistema como eutrófico en sus concentraciones mínimas e hipereutrófico en las concentraciones máximas con una probabilidad del 0.95 (Anon, 1982, citado en Harper, 1992) (Anexo 3).

Las concentraciones varían de máximos valores durante verano-otoño y las mínimas durante invierno-primavera, por efecto de la temperatura, que en la zona de estudio disminuye a 21°C, ya que Tilman et al, (1986; citado en Harper, 1992), encontraron que las algas verdes dominan a altas temperaturas con bajas o moderadas relaciones de N:P y Si:P, mientras que las algas verde-azules llegan a dominar a altas temperaturas (24°C) y a proporciones bajas de N:P.

Además, el efecto inicial del incremento del aporte de nutrimentos es casi siempre un incremento en la biomasa del fitoplancton (Harper, 1992).

Durante el presente estudio se detectó que en la temporada de lluvias se incrementó la concentración de los nutrimentos, (nitritos, nitratos, amonio) encontrándose dentro de los límites permisibles de calidad del agua, sin embargo algunos de los parámetros determinados (dureza total y pH) en algún momento (época de secas) rebasaron los límites permisibles de calidad del agua (tabla 5).

En un estudio previo en el mismo cuerpo de agua realizado por (Gómez-Márquez et al 2000) detectaron que durante la temporada de lluvias se incrementó la contaminación bacteriana contrario a lo que se observó en la temporada de secas. La relación FC/FS mostró que la contaminación es de tipo fecal humana. Estos resultados corroboran el riesgo potencial que representa para los pescadores la incorporación de desechos municipales al sistema acuático sin un tratamiento previo y la falta de medidas sanitarias para dichas aguas.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis del agua de la presa "Emiliano Zapata" se concluye que:

- ❖ La presa "Emiliano Zapata" es un cuerpo de agua permanente cuya área y volumen dependen de la época de lluvias, así como de la extracción debido al manejo de la compuerta para las actividades agrícolas.
- ❖ Por el comportamiento de la temperatura se considera que en la presa se presentó un periodo de circulación o mezcla que abarcó de noviembre a marzo y otro de estratificación térmica de abril a septiembre clasificándolo como un lago monomictico cálido y holomictico.
- ❖ El oxígeno presentó un modelo de distribución vertical de mayor a menor concentración, (distribución clínógrada) típica de cuerpos de agua eutróficos. La distribución de este factor tiene efecto sobre el comportamiento de los nutrientes en la columna de agua, ya que su incremento favorece los procesos de oxidación de los nutrimentos.
- ❖ De acuerdo a las concentraciones de dureza total se trata de aguas muy duras, en el que la concentración de carbonatos es afectada por el régimen de lluvias.
- ❖ La concentración de los nutrimentos nitrogenados y fosfatados tienen una distribución vertical de menor a mayor concentración, registrando las máximas concentraciones en el periodo de lluvias.
- ❖ La concentración de cada uno de los parámetros analizados, indica que la calidad del agua es buena para el desarrollo de la especie que se cultiva, ya que todos los parámetros se encuentran dentro del intervalo natural donde se desarrolla la tilapia, además que las concentraciones de cada uno de los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles de calidad y tratamientos (NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996) Las concentraciones de dureza total en los

meses de abril y mayo en ambas estaciones rebasaron los límites permisibles de calidad y tratamientos antes mencionados.

- ❖ Si se consideran algunos de los parámetros (oxígeno disuelto, fósforo total, visibilidad al disco de Secchi, y concentración de clorofilas) indicarían que se trata de un sistema eutrófico con tendencia a la hipereutroficación.
- ❖ Se encontró que en la división Chlorophyta la especie más abundante fue *Chlorella miniata*, en la Cyanophyta *Spirulina sp* y en las Chromophytas *Cyclotella sp*
- ❖ La mayor densidad fitoplanctónica se registró en el mes de noviembre con 324,979 org/ml.
- ❖ La mayor diversidad, equitatividad y número de especies se presentó en abril, al cual le correspondió la uniformidad más baja.
- ❖ De manera general la mayor concentración de clorofila a, b y c se registró en el mes de agosto y septiembre.

REFERENCIAS

- Aguilera, H. P., y C. P. Noriega (1988), La tilapia y su cultivo. Secretaría de Pesca. *Fondepesca, Sepesca*, México: 59 p.
- Apha-Awwa-Wpcf. (1980). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17ª Edición, editorial ediciones Díaz de Santos, Madrid España. 221p.
- Arredondo-Figueroa J L (1993) *Fertilización y Fertilizantes: su uso y manejo en la acuicultura*. 1ª. Edición, editorial UAM-I. 202 p.
- Arredondo-Figueroa, J. L. y S. D. Lozano-García, (1994). Water quality and yields in a polyculture of nonnative cyprinds in México. *Hidrobiológica*, 4 (1-2):1-8
- Arredondo-Figueroa J. L. y J. T Ponce-Palafox. (1986). Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal, tropical por medio de la aplicación de modelos multivariados. *An. Inst. Cienc. del M. y L.* 13(2):47-66
- Ávila, H. M. 1994. Contribución al estudio de la contaminación del agua provenientes de algunas descargas industriales. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM. México, D.F. 87 p.
- Brett J. R. (1979) *Enviromental Factors and Growth in Hoar*, W.S. and D.J. Randall (eds.) *Fish Physiology* vol. VIII Academic Press 599-675 p.
- Brower, E. J. y J. H. Zar (1977). *Field and laboratory methods for general ecology*. Wm. C. Brown Company Publisher Iowa, 194 p.
- Boyd, C. E. (1979). *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Auburn University, Auburn Alabama, 359 p.
- Calderón, R. Ma. C; C. J. L Nicolás; G. E Sánchez; (1990). Contribución al estudio de aguas de desecho del gran canal en el distrito de riego 88. *Tesis de licenciatura*. ENEP Zaragoza, UNAM, Méx. 79 p.
- Campos H., W. Steffen., G. Agüero., O. Parra., y L. Zuñiga. (1989). Estudios limnológicos en el lago Puyehue (Chile): morfometría, factores físicos y químicos, plancton y productividad primaria. *Medio Ambiente*, 10 (2): 36-53
- Cervantes S. A. (1988). *Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos*, Editado por la ENEP-Zaragoza, 106p.
- Charlton M. N. (1980). Hypolimnion Oxygen Consumption in Lakes: Discussion of Productivity and Morphometry Effects. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 1531-1539
- Chávez, G. R., (1988). Bioensayo con trucha arcoiris, para evaluar la calidad del agua residual tratada de la planta Cerro de la Estrella. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM. 84 p.

Contreras, E. F., (1984). *Manual de técnicas de hidrobiología*. UAM Iztapalapa, México, 149 p.

Contreras E. F. O., L. R. Castañeda, y A. Torres (1997). Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 7:9-17.

De La Lanza, E. G. y C. J. L. García. (1995) *Lagos y Presas de México*, Centro de Ecología y Desarrollo A.C. México. D.F. 317 p.

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

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

Gaceta Ecológica, (1990). Programa Nacional Para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994, Vol. II, Numero 9, Julio. 8-13 p.

García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana). 2ª edición U.N.A.M. México. 246p.

Garduño P. M. y E. J. Avelar. (1996). Edad y crecimiento de la Mojarra en la laguna de Coatetelco Morelos. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM., México. D. F. 80 p.

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

González R. J. M. y G. A. López. (1997). Aspectos hidrobiológicos de la Presa Emiliano Zapata, Morelos, México. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM. 81p.

Granados, R. J. G. (1990). El comportamiento del zooplancton en 3 ambientes acuáticos epicontinentales del estado de Morelos México. *Tesis de Maestría en Ciencias* (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. 42p.

Gómez-Márquez J. L., B. Peña-Mendoza, I. H. Salgado-Ugarte, S. Ortega-Munguía (2000) Análisis of coliform contamination at "Emiliano Zapata Dam", Morelos State, México. *Aquatic Ecosystems of México*. Ecovision World Monograph Series. 29-35 p.

Harper, D. (1992). *Eutrophication of Freshwaters. Principles, problems and restoration*. Chapman y Hall. Great Britain. 327p.

Hernández-Aviles., J. S. y Peña-Mendoza B. (1992). Rendimientos piscícolas en dos bordos semi-permanentes en el Estado de Morelos, México. *Hidrobiológica*. Vol.3/4, 11-23

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

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

López T. G. y G: M. G. Terova, (1988). Variación bimensual del fitoplancton de la laguna de Tamiahua Veracruz y su relación con algunos parámetros físico químicos a lo largo de un ciclo anual. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM. 65 p.

Magallon B. S., M. J. Paulo, y P. E. Díaz, (1992). Avances en el conocimiento de la presa "Los Carros" Morelos, un Embalse de reciente formación. Universidad: Ciencia y Tecnología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2 (2): 121-130

Margalef Ramón (1976). Biología de los Embalses. *Investigación y Ciencia*, 1:50-62

Margalef Ramón (1983). *Limnología*. 1ª Edición, Editorial Omega, Barcelona España 1010 p

Martínez M. L. (1993). Parámetros físico químicos de una zona sugerencia: Golfo de Tehuantepec, Pacífico México. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM. 71 p.

Mccauley E., y J. Kalff. (1981). Empirical Relationships Between Phytoplankton and Zooplankton Biomass in Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 458-463

Mason C. F. (1984). *Biología de la contaminación del agua dulce*, editorial Alhambra S. A: Madrid España. 289 p.

Montecino-Banderet V. (1981). Estimación de la productividad primaria en el embalse Rapel y su metodología. *Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia*. 25(293). 3-11

Navarrete-Salgado N. y G. Elías-Fernández (1993). Composición y abundancia del zooplancton en un sistema piscícola del Estado de México. *Cuad. Méx. Zool.* 1(1): 8-14.

Needham, J. y F. Needham, (1972). *Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces*. 5ª edición, editorial Reverté S. A. México, D. F. 131 p.

Ordoñez R. M. M. (1988). Comparación de parámetros hidrológicos y físico-químicos de tres ecosistemas acuáticos. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM.

Ortega M. (1984). *Catalogo de algas continentales recientes de México*. 9a Edición. UNAM. México, D.F. 566 p.

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

Pedrozo F. L. y C. A. Bonetto (1991). Nitrogen and phosphorus in the Chaco plain waterbodies. *Medioambiente* 11(2): 96-106

Pennak, R. W. (1978). *Fresh water invertebrates of the United States* 2a. Ed. John Wiley & Sons. New York. 803p.

Ponce P. J. T. (1983) Conocimiento físico-químico y de productividad primaria en el embalse temporal "los Lavaderos", utilizado para la piscicultura extensiva en el estado de Morelos, México. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM.. México. D F.

Porras D D (1992). Aspectos de la Distribución y Ecología de Algunos Crustáceos en el Estado de Morelos. *Universidad: ciencia y tecnología*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2 (2):137-141

Quiroz C. H., F. J. Luna, y S. P. Delgado, (1992). Aspectos sobre la composición y Abundancia del fitoplancton y sobre la Productividad primaria en estanques fertilizados con estiércol y fertilizante mineral. *Universidad: ciencia y tecnología*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2 (2):103-112

Ramírez, R. J. J. (1987). Contribución al conocimiento de las condiciones limnológicas de la laguna del Parque Norte. *Actualidades Biológicas*.. 16(59): 12-30.

Rodríguez D. L. (1992). Evaluación de los grados de contaminación del río Atoyaca, *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM.

Rojas G. C. (1992). Caracterización del sistema de biofiltración de agua, *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM.

Salgado-Ugarte I. H. (1992). *El análisis exploratorio de datos biológicos* Marc ediciones 243p.

Sánchez G. S. (1986). Análisis fitoplanctónico hidrológico de un cuerpo de agua dulce tropical. Laguna de Amela, Colima, México. *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM.

SARH (1983). Residencia de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica, red de estaciones climatológicas. Puente de Ixtla; E. Miacatlan; E. Zacualpan, Morelos, México, 24-28-24

SARH (1992) Técnicas de Análisis Físicoquímicos para Aguas. 5ª. Edición. SARH, México, 319 p.

Schwoerbel J. (1975). *Métodos de Hidrobiología*, Ediciones Hermann Blume. Madrid España, 262 p.

Stoker, H. S y S. L. Seager (1981). *Química ambiental: Contaminación del aire y del agua*. Editorial Blume; Primera edición; Barcelona España.

Tilman D (1976). Ecological Competition Between Algae: Experimental. *Science*, vol.192: 463-464.

Torres R. B. (1989). Evaluación del crecimiento y robustez de la tilapia, en el Estado de Morelos *Tesis de Licenciatura*, FES Zaragoza, UNAM., México. D. F.

Torres-Orozco B. R. E. y J. L. García-Calderón (1995). Introducción al manejo de datos limnológicos. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. 133p.

Vallentyne R. J. (1978). *Introducción a la Limnología*. Ediciones Omega, S A Barcelona España. 168 p.

Vera-Herrera, F. R., J. L. Rojas-Galaviz y M. Guzmán-Arrollo, (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

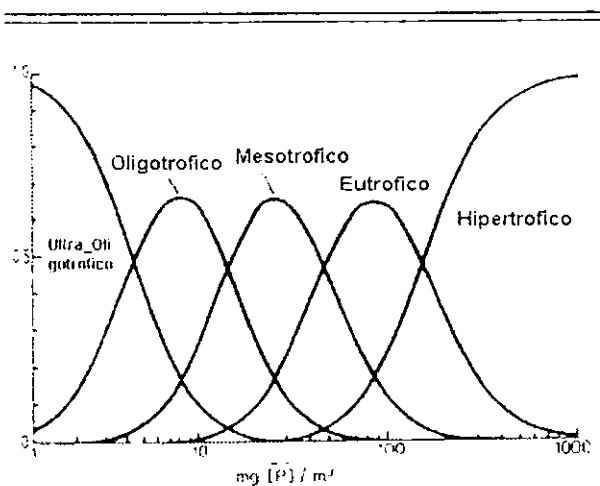
Viveros, M. A. (1982). Prospección Hidrobiológica de la presa Emiliano Zapata. Morelos, México, *Tesis profesional*. Escuela de Ciencias Biológicas, UAEM, 33 p

Wetzel, R. G (1981). *Limnología*. 1a edición, editorial Omega, S A Barcelona, España. 679 p.

Wetzel, R. G. y G. E. Likens (1991). *Limnological Analysis*. Ed. Springer. 2a Edition New York 391 p.

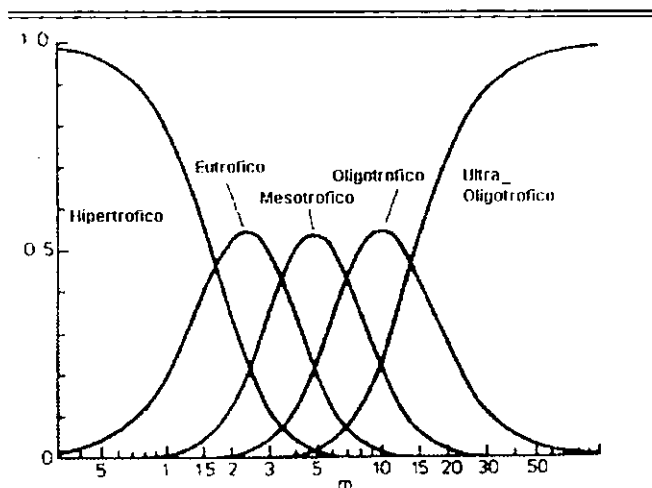
Wheaton Fredick. (1982). *Acuicultura*. 1a edición A.G.T. Editor S.A. México, D.F. 704 p.

Anexo 1.- Clasificación trófica con base en la concentración de fósforo total



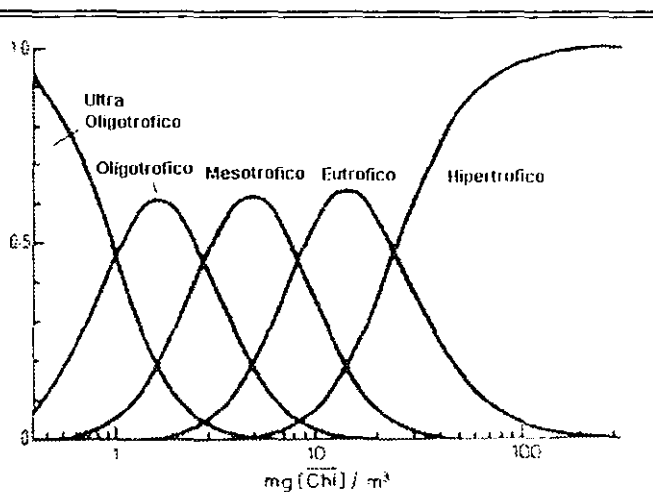
Anon, (1982) citado en Harper, (1992)

Anexo 2.- Clasificación trófica con base a la visibilidad al disco de Secchi



Anon, (1982) citado en Harper, (1992)

Anexo 3. - Clasificación trófica con base a la concentración de clorofila "a"



Anon, (1982) citado en Harper, (1992)

Anexo 5. Indicador del estado trófico con base en algunos parámetros

TSI	Profundidad al disco de Secchi (m)	Fosforo Total ($\mu\text{g/l}$)	Clorofila ($\mu\text{g/l}$)
0	64	0.75	0.04
10	32	1.5	0.12
20	16	3	0.34
30	8	6	0.94
40	4	12	2.6
50	2	24	6.4
60	1	48	20
70	0.5	96	56
80	0.25	192	154
90	0.12	384	427
100	0.06	768	1183

Carlson's, (1977) Citado en Harper, (1992)