



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Producción y calidad del agua del bordo Huitchila, Morelos, México

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIOLOGO

PRESENTAN:

SANCHEZ MENDOZA JOSE MANUEL

ZAMORA APARICIO SERGIO DAVID

DIRECTOR DE TESIS: Dr. José Luis Gómez Márquez



MEXICO D.F.

OCTUBRE-2012

**AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Quisiera agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios, y otorgarme un lugar en esta máxima casa de estudios, oportunidad que se muchos hubiesen deseado tener, la cual trate de recompensarla con mi máximo esfuerzo cada día.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por abrirme sus puertas, en una carrera que para mí era un poco desconocida sin embargo al final termine descubriendo lo mucho que me gustaba, gracias por todo el apoyo brindado, para las prácticas de campo, el uso de equipo, reactivos e instalaciones a lo largo de toda la carrera.

Agradezco a los miembros de la Cooperativa del Bordo Huitchila, del Municipio de Tepalcingo, Morelos, por todas las facilidades otorgadas para la realización de la presente investigación. Y por la confianza que depositaron en nosotros para dejarnos realizar este proyecto.

A mi padre que no solo ha sido eso para mí sino que siempre ha sido mi mejor amigo, por su cariño, paciencia y apoyo incondicional, y por siempre confiar en mí, no importando lo difícil de la situación, siempre tuvo palabras de aliento para mí y por ser el mejor ejemplo que puedo tener y que sepa que es un gran orgullo ser su hijo y que sin él esto jamás hubiese sido posible.

A mi madre que siempre ha estado cuando la he necesitado, que nunca ha dejado de mostrarme su amor, que al final de un largo día, siempre estaba ahí para recibirme con su linda sonrisa para brindarme un caluroso abrazo y un beso, dándome la fuerza para seguir adelante y alentándome a ser mejor persona cada día.

A mis hermanos por tantos ratos buenos que hemos pasado, por su cariño y por los que siempre he tratado de ser un buen ejemplo, que saben que pueden contar conmigo en cualquier momento y para cualquier situación.

Al Dr. José Luis Gómez Márquez, por brindarme la oportunidad de trabajar a su lado, por la confianza que siempre puso en mí, quien desinteresadamente me brindo sus conocimientos y guio para alcanzar hoy este sueño. Al cual le quisiera agradecer su entrañable y sincera amistad.

A la Dra. Bertha Peña Mendoza, por su sencillez, por su apoyo incondicional, por la confianza, por brindarme sus conocimientos y porque siempre me tendió su mano cuando la necesite, por soportarme en las salidas a campo y mas que nada por su valiosa amistad.

Al Biol. José Luis Guzmán Santiago, quien siempre tuvo oportunas y atinadas aportaciones y sugerencias a lo largo de todo el estudio, por ser un gran amigo y por todo el apoyo brindado



A mi gran amigo Manuel, por brindarme su grandiosa amistad, por darme la oportunidad y la confianza de realizar esta investigación juntos, la cual ha sido una maravillosa experiencia, por apoyarme siempre que lo necesite, por toda la paciencia, la comprensión y la disposición que ha tenido conmigo, y por tantos y tantos momentos de diversión y de trabajo que hemos tenido, que recordare toda mi vida, por soportar mis ocurrencias y sencillamente por ser ese amigo que todos deseamos tener y que muy pocos logramos encontrar.

A Claudia por todo el amor que me ha dado, por sus palabras de aliento, la comprensión de todos esos momentos que no he estado con ella, por su apoyo incondicional y por nunca perder la fe en mí, por ayudarme a levantar en esos momentos en que creía haber caído.

A mis grandes e inseparables amigas Tzayaka, Jessica y Rocío, por todos los maravillosos momentos que pasamos juntos, por sus ocurrencias, por aceptarme tal como soy y por brindarme su amistad en todo momento.

Quisiera agradecer a Samuel Fonseca Gally, por su valioso apoyo, por brindarnos sus conocimientos y por esas charlas de tanto aprendizaje.

A todos mis compañeros de LNR, por el apoyo, en especial a la Quim. Margarita Lobato y la I.Q. Valia Goytia, quienes desde un principio me tuvieron paciencia, me brindaron su apoyo y me otorgaron las facilidades para la conclusión de este proyecto, y sobre todo les agradezco la confianza que desde un principio han tenido en mí.

A todos los profesores que invirtieron su tiempo y esfuerzo para otorgarme sus conocimientos durante toda la carrera.

Y por ultimo pero no menos importante quiero agradecer a tod@s mis compañer@s y amig@s por todos esos momentos inolvidables que quedaran siempre en mi memoria y que han hecho de esta una etapa maravillosa de mi vida que jamás olvidare.

Quisiera ofrecer una disculpa si por algún motivo omito mencionar a alguien, pero quiero sepan que les agradezco el haber estado conmigo y darme su apoyo.

A todos les digo un sincero y profundo **GRACIAS**, prometo poner todo de mí, para ser una mejor persona cada día, y no defraudar la confianza que depositaron en mí, sé que son breves las palabras, pero les digo que son muy sinceras y de verdad les agradezco el formar parte de mi vida, ya que me siento muy feliz y afortunado de tener la oportunidad de conocerlos a cada uno de ustedes y sepan que siempre serán parte de mi.

SERGIO DAVID ZAMORA APARICIO



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi segundo hogar y por ser la máxima casa de estudios.

A la FES Zaragoza por ser donde aprendí a amar Biología.

Al Dr. José Luis Gómez Márquez por sus conocimientos, el apoyo para la realización de este proyecto y por su amistad.

A la Dra. Bertha Peña Mendoza por su extraordinaria paciencia, regaños, conocimientos y apoyo.

Al Biólogo José Luis Guzmán Santiago por sus valorados consejos, conocimientos, apoyo brindado para la realización de esta tesis y por su valorada amistad.

A la Bióloga Angélica Elaine González Schaff por su atención, comentarios y conocimientos compartidos.

Al biólogo Ernesto Constanzo Casillas por sus comentarios y conocimientos aportados para enriquecer este proyecto.

A mi compañero y amigo Samuel Ferrand Fonseca Gally porque con su ayuda, comentarios, conocimientos, consejos e increíble amistad me pase muy divertido el proceso para terminar este proyecto.



DEDICATORIAS

A mis padres, porque siempre han estado a mi lado brindándome su cariño, haciendo sacrificios, pero nunca dejaron de apoyarme en el camino que elegí, pero en especial a mi mamá por que no solo me apoyo, sino que siempre ha estado a mi lado en las alegrías y en las penas.

A mis hermanos (Tomas, Alfredo y Mariano) porque aunque no lo crean ellos siempre han sido mis modelos a seguir y sin su apoyo no hubiera logrado alcanzar mi meta.

A mis hermanas (Georgina, Marilú, Mercedes y Angélica) porque siempre me alentaron de una u otra manera, a seguir luchando por mi sueño y porque siempre están cuando las necesito (aunque sea para pelear un ratin).

A mi novia Ale, por su paciencia a mi lado, por su amor incondicional y apoyo en los detalles en este proyecto que a mí no se me dieron, por su cariño y su increíble mirada que encierra todo un mundo hermoso.

A mis amigos (Araceli, Samuel, Jorge el cotorro, Rodrigo, Normita, los coyotes Omar y Chava, las Normas, Chabelo, Pancho, karla, Yair, Sergio, etc. y todos aquellos que por espacio no menciono pero que los llevo conmigo) porque me brindaron su amistad e hicieron muy divertida esta carrera que adoro, la **BIOLOGIA**.

Y por supuesto a mi compañero de tesis y amigo Sergio, ya que siempre le ponía ese toque de diversión en todo y no fue un compañero aburrido, y porque al final si realizamos nuestro proyectazo.

José Manuel Sánchez Mendoza

**INDICE**

Resumen	6
Introducción	7
Antecedentes	15
Área de estudio	22
Objetivo General	25
Objetivo particular	25
Material y método	26
Resultados	34
Morfometría y batimetría del sistema Huitchila	35
Parámetros físicos, químicos y bióticos de Huitchila	37
Índices de biodiversidad	49
Listado ficológico del sistema Huitchila	52
Diagrama Olmstead-Tuckey de las especies fitoplanctónicas en Huitchila	55
Índice del Estado Trófico (IET) para el sistema Huitchila	57
Caracterización del sistema Huitchila	58
Análisis estadísticos	62
Discusión	67
Conclusiones	85
Bibliografía	86
Anexo	101



RESUMEN

El ambiente acuático sostiene una gran variedad de organismos por el beneficio metabólico que ofrece, estando representado por un grupo mayor y más diverso de especies que el terrestre. La presente investigación se realizó en un reservorio de agua llamado Huitchila, ubicado en el Municipio de Tepalcingo, Morelos, con el propósito de evaluar la producción primaria y la calidad del agua que se utiliza para las actividades agropecuarias y acuícola (producción de *Oreochromis niloticus*). Se realizaron muestreos mensuales de Septiembre de 2010 a Agosto de 2011, y se efectuaron determinaciones de temperatura, transparencia, oxígeno disuelto, dureza total, amonio, nitritos, nitratos, clorofila "a", fósforo total, fósforo reactivo disuelto inorgánico (ortofosfatos), así como de fitoplancton que se identificó hasta un nivel taxonómico máximo posible, para con todos ellos determinar el estado trófico del sistema. La batimetría y morfometría mostró que es un sistema somero (5.95 m de profundidad máxima) con una extensión de 11 ha. Se identificaron cinco divisiones del fitoplancton en orden decreciente de abundancia: Chlorophyta (68%), Cianophyta con 29 %, Euglenophyta con 2% Bacillariophyta con 1 % y Xanthophyta <1%. El diagrama Olmstead-Tuckey mostró a *Chlorella vulgaris*, *Monoraphidium griffithi* y *Ankistrodesmus fusiformes* como especies dominantes. El análisis de clasificación agrupó las variables del sistema en tres temporadas; secas cálidas, secas frías y temporada de lluvias. Se registraron valores relativamente altos para los parámetros físicos y químicos que reflejaron eutrofización del sistema y que lo califica como un sistema de aguas duras, con una alta producción y alta densidad de clorofitas. Presentó un patrón de dilución en la época de lluvias para algunos indicadores y para otros una mayor concentración debido al arrastre del componente edáfico. Se concluye que la composición de las especies es homogénea en el sistema.



INTRODUCCIÓN

El ambiente acuático sostiene, en forma particular, una gran variedad de organismos por el beneficio metabólico que ofrece, estando representado por un grupo más diverso de especies que el terrestre, resultado de que el agua, además de ofrecer un mayor número de hábitats, presenta un amortiguamiento de las variaciones extremas del clima (de la Lanza *et al.*, 2000).

Nuestro país posee un gran número de cuerpos de agua interiores y costeros; sin embargo, por ubicarse en una altitud tropical, presenta un déficit hídrico significativo con más del 50% de cuerpos de agua temporales, es decir, que tienden a desecarse anualmente, acelerado por la acción del hombre (de la Lanza *et al.*, 2000).

Existen 37 regiones hidrológicas-administrativas en México, clasificadas en tres grandes cuencas bien reconocidas. Dentro de estas regiones hidrológicas existen casi 320 cuencas de drenaje en México, las cuales comprenden 530 310 km² ó el 27 % del área superficial total (Tamayo, 1998; Hernández-Avilés y García, 2007; CONAGUA, 2010). Estos sistemas acuáticos desempeñan un papel fundamental desde el punto de vista ecológico, ya que la biodiversidad de las aguas continentales forma parte importante del patrimonio nacional y se encuentra en la actualidad muy degradada por un manejo ineficiente y la falta de planeación (Namihira-Santillán *et al.* 2002; Aguilar, 2003).

La Comisión Nacional del Agua, como un órgano descentralizado de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), tiene como una de sus principales atribuciones, conferida en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (en su norma NOM-127-SSA1-1996, DOF. 1996) y en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (en su norma NOM-001-ECOL-1994, DOF. 1994), promover y en su caso, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las normas oficiales mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga (de la Lanza *et al.*, 2000).

En México los estudios de aguas continentales son limitados, generalmente son temas muy particulares de su estructura limnológica. La mayor parte de ellos son ecosistemas sometidos a presión antropogénica continua y frecuentemente constituyen depósitos de desechos humanos, agrícolas e industriales. Los estudios que han recibido menos atención por parte de los limnólogos en los cuerpos de agua y embalses mexicanos es el relativo al plancton (Arredondo-Figueroa y Aguilar-Díaz, 1987).



En estudios realizados en los últimos años, se ha demostrado que los sistemas dulceacuícolas pequeños (microembalses, bordos o pozas) tienen una gran importancia ecológica y alta potencialidad de generación de recursos, tal es el caso del cultivo y producción de peces como la carpa y la tilapia (peces meramente alóctonos) que han alcanzado producciones de 3,311 toneladas y 400 toneladas respectivamente. Esta importancia es particularmente notable en aquellas zonas en que, debido a las condiciones del relieve, no es posible que se presente de manera natural, la acumulación o embalses de agua a partir de la lluvia y de los escurrimientos (Navarrete-Salgado *et al.* 2000; Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

Los cuerpos de agua naturales como los artificiales sufren numerosos desajustes ambientales y al mismo tiempo presentan sobreexplotación de los recursos que contienen. Son problemas que de igual manera también afectan a las principales cuencas hidrográficas, que son convertidas (la mayoría de las veces) en el basurero de asentamientos humanos e industriales (de La Lanza y García, 2002).

Por otra parte, la calidad del agua de los sistemas acuáticos está en función de la región hidrológica a la que pertenece y de las sales disueltas que contenga. Se clasifican como embalses permanentes por que conservan un volumen remanente de agua constante al año. El tiempo de permanencia del agua de estos jagüeyes depende directamente de tres factores principales: precipitación, evaporación y escurrimiento superficial, así como de procedimientos secundarios como flujo de agua subterránea, pérdidas por filtración y captura de agua por la vegetación aledaña a los jagüeyes (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Sugunan, 1997; Hernández-Avilés *et al.*, 2007). Los microembalses cuentan con características limnéticas similares a las de los lagos naturales someros; la mayor profundidad no es mayor a 2.5 m y prácticamente no tienen estratificación de la temperatura o de los nutrientes, por lo que no hay barreras físicas, esta similitud entre las condiciones de estos sistemas y los cuerpos de aguas naturales ocasiona que los organismos que viven en los segundos, encuentren un sitio de dispersión y de refugio en los microembalses (López-Blanco y Zambrano-González, 2001). Estos pueden ocuparse como abrevaderos de animales, riego agrícola, en el caso de los permanentes para el criadero y producción de peces así como para actividades recreativas (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992).



Según Pichler, 1939 (citado en Williams, 2005 y en Hernández-Avilés *et al.* 2007) estos pequeños sistemas acuáticos por sus características térmicas pueden ubicarse dentro de la siguiente clasificación:

- ❖ Charco: son pequeños cuerpos de agua con profundidad mayor a 20 cm y que presentan un sobrecalentamiento del fondo, prácticamente sin estratificación durante el verano, aun cuando la variación de la temperatura sea mayor de 25 ° C.
- ❖ Charca: cuerpo de agua con profundidad mayor de 60 cm. Experimenta menor calentamiento en el fondo; la estratificación se rompe diariamente.
- ❖ Pequeño estanque: Por arriba de los 100 cm de profundidad, el sustrato absorbe poco calor; la estratificación es más estable; pero puede mezclarse diariamente.

La mayoría de estos reservorios de agua son eutróficos y se mantienen en ese estado, ya que no pueden compensar el proceso debido a que son someros y tienen una estrecha relación con el sedimento; además reciben en forma constante el aporte de nutrientes de la cuenca de captación, donde generalmente se llevan a cabo actividades agrícolas o bien se depositan excretas de animales que llegan a abrevar a estos sitios. Algunos de estos reservorios poseen una salida de agua (compuerta) la cual evita que se desborden estos embalses artificiales, ocupando el excedente de agua para uso de riego en los campos agrícolas aledaños. Debido al uso que se les da a estos cuerpos de agua se ubican entre los ecosistemas que tiene una producción primaria aceptable, la cual depende de muchos factores, entre los que se encuentran la disponibilidad de luz y nutrientes para la comunidad fitoplanctónica, la temperatura, etc. Estos factores, a su vez se ven modificados por los aportes pluviales y en algunos casos fluviales y la actividad pesquera, los cuales alternan su dominancia en función de las principales épocas climáticas que se presentan a lo largo del año. En estos ecosistemas es posible reconocer tres etapas de sucesión ecológica alternadas que deben ser consideradas en los estudios limnológicos. Estas son: fase de transición, fase de dilución y fase de concentración (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Hernández-Avilés *et al.* 2002; Hernández-Avilés *et al.* 2007).

Desgraciadamente estos ecosistemas están sujetos cada vez más a mayores presiones como consecuencia de las actividades humanas, ya que la sobrepoblación en las comunidades que se sirven de estos cuerpos de agua, genera un impacto negativo al realizar una explotación pesquera excesiva, la contaminación por agroquímicos, etc. Por lo tanto, es indispensable efectuar estudios enfocados a conocer las condiciones físicas y químicas que caracterizan a estos ambientes durante ciclos anuales, a fin de contribuir a su conocimiento ecológico y productivo y así, poder ver la relación entre las variables



físicas, químicas y biológicas que afectan directamente la producción primaria y el estado trófico de los sistemas (Barrera-Escorcia y Wong-Chang, 2007).

Los embalses artificiales al igual que los lagos naturales, están amenazados por la contaminación y la fertilización o eutrofización paulatina de sus aguas, con la consiguiente pérdida de calidad. Por ello, en la evaluación de la disponibilidad del agua, no sólo es necesario saber qué cantidad está a nuestro alcance, sino además, deben conocerse sus características físicas, químicas, de producción y sanitarias, para darle el uso adecuado. Entre los problemas principales que se presentan con relación al uso del agua en cualquier tipo de embalse se encuentran: proliferación excesiva de algas indeseables, disminución en la profundidad media, baja producción pesquera y problemas en cuanto a color, olor y sabor desagradables. (López-López y Soto-Galera, 1993; Moss, 1996; Carpenter *et al.*, 1998).

El creciente deterioro de los ecosistemas acuáticos ha demandado el desarrollo de sistemas y métodos, que permitan conocer su grado de alteración debido a causas naturales y/o antropogénicas. Entre los conceptos y aproximaciones metodológicas más recientes se encuentra el de integridad biótica, que conjuga elementos estructurales y funcionales de los ecosistemas acuáticos para conocer el estado aproximado de sus procesos ecológicos y evolutivos (Pérez-Munguía *et al.*, 2004).

Este concepto se desarrolló de manera principal para ecosistemas lóticos de agua dulce, que están entre los más afectados por las actividades humanas y poco a poco se ha ido incrementando su nivel de aplicación a otros ecosistemas acuáticos, así como a diferentes grupos de organismos (Pérez-Munguía *et al.*, 2004).

Los principios de integridad biótica prefieren el uso de variables sensibles a los impactos humanos sobre los sistemas acuáticos y no enfatizan el uso de especies indicadoras. De esta forma, los protocolos se han desarrollado empleando comunidades del perifiton, macro-invertebrados acuáticos, peces y más recientemente, comunidades vegetales y aves acuáticas (Pérez-Munguía *et al.*, 2004).

La eutrofización es la causa más común de deterioro de los sistemas acuáticos continentales (Hosper, 1997). Este proceso es la consecuencia del incremento de la carga de nutrientes de los sistemas producida por una carga excesiva de fósforo (P) y nitrógeno (N), lo que promueve la proliferación de plantas acuáticas, micro-algas, peces y desorganiza el normal funcionamiento de los ecosistemas acuáticos impidiendo que brinden los servicios que la sociedad necesita, (Moss, 1996; Carpenter *et al.*, 1998). En estos casos se produce un aumento de la producción de la materia orgánica, la cual puede



superar la capacidad de reciclaje del sistema y producir anoxia (Moss, 1996). Cuando estos nutrientes llegan al lago en grandes cantidades, generalmente conducen a los lagos hacia estados ricos (estado eutrófico) o muy ricos (estado hipereutrófico) en nutrientes, situaciones generalmente no deseadas por la gran mayoría de los usuarios (Quiroz, 2007).

El aumento de la carga de nutrientes determina una mayor biomasa de productores primarios y secundarios en el sistema, que se traduce en una notoria modificación de la transparencia y la coloración del agua, fundamentalmente como consecuencia del incremento de fitoplancton. Por otra parte, la excesiva generación de materia orgánica supera la capacidad de degradación del sistema, determinando su acumulación en el sedimento. Este hecho condiciona la distribución de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua. En los sistemas poco productivos la concentración de oxígeno disuelto está determinada principalmente por factores físicos (fundamentalmente por la temperatura y su influencia en la solubilidad de gases) por lo que la distribución del oxígeno varía en función de la temperatura. El aumento de la productividad promueve diferencias verticales en la concentración de oxígeno, registrándose valores elevados en la superficie producto de la actividad fotosintética del fitoplancton, y valores cercanos a cero (anoxia) en el fondo como resultado de la degradación de la materia orgánica (perfil clinógrafo) (Wetzel, 2001).

Desde el punto de vista de la calidad del agua, la concentración de oxígeno disuelto (OD) es un indicador excelente de la salud de un cuerpo de agua, ya que la mayoría de las formas de vida de un río necesitan de este para vivir. Por consiguiente, existe una alta correlación entre el OD y la biodiversidad de un cuerpo de agua (Butler y Davies, 2004). Por otro lado, en los diferentes sistemas acuáticos, el OD determina qué tipo de organismos, aeróbicos o anaerobios, son los causantes de los cambios biológicos que se presentan (Sawyer *et al*, 2001).

A su vez, la profusión de detritus genera una abundancia de descomponedores, la mayoría bacterias, cuyo crecimiento explosivo crea una demanda nueva de OD, que se consume en la respiración. El resultado es el agotamiento del recurso con la consiguiente sofocación de los diferentes taxa que se encuentran en el sistema acuático. Sin embargo, las bacterias aerobias estrictas prosperan y aprovechan el oxígeno cada vez que está disponible, por lo que mantienen al agua sin OD, en tanto que haya materia orgánica de la cual se alimenten. Por otra parte, las bacterias anaerobias aparecen en el fondo produciendo gases como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno, además, hay oxidación de materia orgánica y de otros compuestos, lo que demanda más OD (Moreno *et al.*, 2010).



La temperatura es otro factor importante ya que “gobierna las especies biológicas y sus grados de actividad”. La temperatura tiene una gran influencia en la mayoría de las reacciones químicas que ocurren en los sistemas naturales y es un factor importante que afecta la solubilidad de los gases. Por consiguiente un alto valor de este parámetro genera efectos sobre la diversidad de las especies biológicas, afecta las tasas de reacción y solubilidad de los gases y además afecta las propiedades físicas del agua. Por otro lado, la temperatura también influencia en el crecimiento óptimo de microorganismos dependiendo del tipo de microorganismo presente en el agua (Silvert, 1999).

El proceso de colmatación puede en algunos casos ser concomitante con un incremento gradual de la carga de nutrientes. Esta transformación, lenta en la historia geológica de los ecosistemas y denominada eutrofización natural (Lampert y Sommer, 1997), implica que la entrada de nutrientes desde la cuenca es relativamente constante a lo largo del tiempo, ocurriendo oscilaciones temporales como consecuencia de los ciclos climáticos, el desarrollo y descomposición de la cubierta vegetal y la erosión (Wetzel, 2001).

La eutrofización causa la proliferación del fitoplancton debido a una mayor abundancia de nutrientes. Si bien este proceso se manifiesta de diversas maneras, todas estas incluyen un aumento de la biomasa, seguido por cambios en las especies dominantes y disminución de la diversidad (Mazzeo *et al*, 2002).

A pesar de que sigue siendo un término difícil de definir de manera precisa ya que una descripción de la naturaleza trófica de cualquier lago, río, embalse o estuario se hace generalmente con referencia a una condición previa o a un estado de referencia de menor concentración de nutrientes, es un hecho que la eutrofización de un sistema acuático promueve circunstancias indeseables desde muchos puntos de vista: estético, turístico y especialmente, ecológico y de gestión de las aguas (derivada de un deterioro de su calidad) (Chalar, 2007).

Dentro de la materia orgánica suspendida en el cuerpo de agua (seston) se ubica al plancton, el cual está formado por el conjunto de organismos que viven suspendidos en el agua y cuya capacidad de desplazamiento es insuficiente para evitar ser arrastrados por las corrientes, pudiendo controlar únicamente su posición en la columna de agua (Fuhrman, 1991; Wetzel, 2001).

El fitoplancton en las zonas eutróficas se controla generalmente mediante la disponibilidad de nutrientes, que junto con la luz, son esenciales para su crecimiento. Si el suministro de nutrientes aumenta entonces la producción de biomasa (fitoplancton) debe ser proporcional a este crecimiento de nutrientes (Mason, 2002).



El fitoplancton como productor primario juega un papel importante tanto en la circulación de materia como en el flujo de energía de los ecosistemas acuáticos, su presencia controla a menudo el crecimiento, la capacidad reproductora y las características de las poblaciones de otros organismos acuáticos (Margalef 1983; Kuang *et al.*, 2004)

Por otra parte, la productividad primaria en ambientes acuáticos no está dada principalmente por el fitoplancton, aunque representa el primer eslabón de la trama trófica. Sin embargo, también es de primordial importancia la productividad de las bacterias y su actividad en la recirculación de los nutrientes (Margalef, 1983; Barcina *et al.*, 1992)

Para el estudio del fitoplancton es un requisito indispensable que en las investigaciones hidrológicas se integre el estudio de las comunidades micro-algales para determinar la calidad del agua, así como para pronosticar los posibles cambios que ocasionarán en los niveles superiores de las redes tróficas (Wetzel, 2001).

El fitoplancton tiene índices de crecimiento y reproducción muy elevados. En condiciones óptimas, su masa puede duplicarse en un día. Así, el fitoplancton alcanza su máxima densidad poblacional y este crecimiento alcanza su estado estable para finalmente entrar en decaimiento siguiendo el comportamiento logístico. El fitoplancton muerto se asienta y produce en el fondo depósitos espesos de detritos (Nebel y Wright, 1999).

Para el fitoplancton, al igual que las plantas terrestres, sus principales requerimientos son la luz y los nutrientes. Son consumidas por los herbívoros y afectadas negativamente por organismos patógenos, sustancias tóxicas selectivas y por cambios abruptos en el ambiente físico. El establecimiento y desarrollo de las distintas especies depende de las condiciones del ambiente, el número inicial de microalgas, las tasas de crecimiento y la capacidad de evitar las pérdidas por sedimentación o circulación del agua. De estas variables, la estructura física del ambiente y la disponibilidad de nutrientes son las más importantes para determinar cuáles especies de fitoplancton serán las dominantes (Reynolds, 2006). Las interacciones de estas variables sumadas al corto tiempo de vida y pequeño tamaño de estos organismos, hacen que las comunidades fitoplanctónicas sean muy heterogéneas en el tiempo y el espacio. Por estos factores esta comunidad presenta generalmente un alto número de especies coexistiendo (Hutchinson, 1961).

Para comprender las interacciones que afectan el desarrollo de un sistema acuático se disponen de herramientas estadísticas; el análisis multivariado es una de ellas que se ha venido utilizando en la caracterización de la calidad de cuerpos de agua y en la planeación del monitoreo de los parámetros de calidad del agua (Zeng y Rasmussen, 2005).



Son muchos los métodos que se han utilizado para este fin en los estudios, entre los cuales se encuentra el uso de técnicas tales como Componentes Principales, Análisis de Factores, Análisis de Clúster, Análisis Discriminante, Regresiones Lineales y análisis de correlación canónica o de correspondencia canónica (Singh *et al.*, 2005; Kuppusamy y Giridhar, 2006; Zeng y Rasmussen, 2005).

El análisis de clúster (agrupamiento) es una técnica usada para combinar las observaciones entre grupo o clúster, de tal manera que cada grupo o clúster sea homogéneo o compacto con respecto a una característica específica. Es decir que las observaciones dentro de cada grupo son similares entre ellas. Así mismo, cada grupo debe diferenciarse de los demás grupos con respecto a la misma característica, es decir que las observaciones de un grupo deberían ser diferentes de las observaciones que pertenecen a otros grupos.

Existen varias metodologías para realizar el análisis de clúster entre las que se encuentran el método del centroide, el del vecino más cercano, el del vecino más lejano, el método de acoplamiento promedio, y el método de Ward. Cada uno de estos métodos tiene un objetivo diferente y depende del investigador la elección de este. El objetivo del método de Ward es maximizar el agrupamiento a partir de una medida de homogeneidad y no a partir del cómputo de distancias entre los clúster como lo hacen otros métodos. Esta medida de homogeneidad es la suma de cuadrados dentro del grupo, por consiguiente el objetivo de esta metodología se traduce en la minimización de esta suma de cuadrados para obtener los resultados (Mira, 2006).

Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de cuerpos acuáticos en el estado de Morelos, la información sobre las características del tipo de agua que albergan es mínima a pesar de los estudios que se han realizado en ellos, por lo cual para tener un conocimiento más amplio de éstos, se requiere de realizar estudios hidrobiológicos a fin de conocer la información necesaria para obtener un mejor manejo y aprovechamiento de sus recursos acuáticos, en beneficio de la población que habita a su alrededor.



ANTECEDENTES

Se realizó una búsqueda de información referente a las características físicas, químicas y biológicas de los pequeños sistemas acuáticos de Morelos y hasta el momento se puede inferir que no existe suficiente conocimiento sobre aspectos limnológicos y biológicos de la mayoría de los microembalses o en su defecto, la información sólo se encuentra en trabajos de tesis de licenciatura o de grado. A continuación mencionaremos algunos trabajos revisados.

Ponce-Palafox y Arredondo-Figueroa, (1986), analizaron el comportamiento limnológico de un embalse temporal tropical, durante su fase de inundación desde julio de 1979 hasta marzo de 1980. Registraron un total de 46 variables agrupadas en cuatro compartimientos: climáticos, morfométricos, físico-químicos y biológicos. Mencionan que el comportamiento limnológico de la zona pelágica, depende en gran medida de las fluctuaciones en el volumen del agua almacenada y de la relación que esta tiene con las sustancias disueltas, la materia orgánica y la cantidad de organismos presentes en el fitoplancton.

Granados (1990) realizó un estudio sobre la productividad primaria, composición y variación temporal del zooplancton, así como la calidad del agua de la presa Emiliano Zapata, bordo Zacualpan y lago Coatetelco, Mor. En estos sistemas se reconocieron un total de 13 especies de zooplancton como resultado del análisis de productividad zooplanctónica, productividad fitoplanctónica y la conducta físico-química del agua. Los cuerpos de agua se clasificaron de la siguiente manera: Lago Coatetelco (ambiente eutrófico), Presa Emiliano Zapata (ambiente Mesotrófico) y bordo Zacualpan (ambiente eutrófico).

Porras *et al.* (1991) presentaron un inventario sobre el recurso acuático del Estado de Morelos, en este se reconocieron 130 cuerpos de agua en donde 68.5 % corresponden a embalses con superficies que van de 1 a 10 ha, estos son utilizados para irrigar zonas de cultivo, como abrevaderos para ganado y actividades piscícolas. Reportan una biota de 63 géneros de algas fitoplanctónicas siendo predominantes las clorofitas; una fauna de invertebrados acuáticos de 35 géneros y 27 especies de los cuales destacan los rotíferos, crustáceos e insectos; además de un registro ictiofaunístico de 12 especies con 8 autóctonos y 4 introducidos.



Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) llevaron a cabo una investigación en los bordos semipermanentes Chavarría y Michapa, localizados en un municipio del estado de Morelos, donde trabajaron en tres fases. Fase I monocultivo de *Oreochromis urolepis hornorum* (mojarra), fase II policultivo *Oreochromis urolepis hornorum* (machos), *Cyprinus carpio rubrofuscus* (carpa barrigona), *Hypophthalmichthys molitrix* (carpa plateada), *Aristichthys nobilis* (carpa cabezona), con densidades de carga de 0.4 org./m y fase III O. u. hornorum y C. c. *rubrofuscus* con densidades de carga de 6 org./m. Realizaron un análisis factorial donde las variables que se relacionan con el factor edáfico y la temperatura resultaron ser las más importantes para la determinación del comportamiento del bordo de Chavarría y los de auto-regulación del sistema del carbono en el bordo de Michapa. El rendimiento fue de 102 y 304 kg/ha/año para Michapa y Chavarría respectivamente.

Fraille *et al.* (1995) entre mayo de 1991 y abril de 1992, realizaron la evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (Río Tera, Zamora). Evaluaron el estado trófico con base a los criterios de la OCDE (1982) y el índice de Carlson (1974), y reportan los embalses como mesotróficos, siendo Valparaíso el que más se acerca a la oligotrofia, esto con base en la cantidad de fósforo, por otro lado los valores máximos de clorofila "a" señalan a Cernadilla como mesotrófico y Valparaíso como eutrófico, y de acuerdo a la profundidad media anual de visión del disco de Secchi ambos embalses fueron clasificados como mesotróficos. Los valores del índice de Carlson (1974) son inferiores a 50, por lo tanto se consideran como mesotróficos.

González y López (1997) realizaron un estudio en la Presa Emiliano Zapata (Morelos) en donde determinaron la morfometría y la batimetría del sistema, así como su composición química, física y biológica, con el fin de establecer la calidad del agua de este sistema. Como resultado obtuvieron que la calidad del agua fue óptima para la vida acuática, el riego y el abrevadero, así también reporta una gran diversidad de especies de fitoplancton, en cambio de zooplancton la diversidad es menor.

Bustamante *et al.* (2002) realizaron la evaluación del Embalse San Roque, Córdoba, Argentina. Las temperaturas superficiales registradas durante tres años en el centro del embalse oscilaron entre los 8 y 14 °C en invierno y los 20 y 24 °C en verano. En lo que respecta a los nutrimentos durante el período en el cual el embalse está mezclado se registró una concentración uniforme en toda la vertical no superando los 100 µg/L. La mayor variabilidad en la concentración se observó cuando el embalse está estratificado con mayores concentraciones en el fondo del embalse, coincidiendo con las características anóxicas circundantes. Los niveles en el fondo promedian los 400 µg/L con picos de hasta



500 $\mu\text{g/L}$. *Microcystis sp.*, *Anabaena sp.*, *Aulacoseira sp.*, *Melosira sp.*, *Closterium sp.* y *Ceratium hirundinella* representaron los componentes dominantes de la comunidad de fitoplancton del Embalse San Roque. El embalse mostró características eutróficas, recibiendo el aporte de nutrientes procedentes de la cuenca de drenaje. Como consecuencia de este proceso es común observar frecuentes floraciones algales, fuerte olor en el agua potable, anaerobiosis en fondo, baja transparencia en las aguas y mortandad de peces.

Gómez (2002) realizó un análisis de la morfometría, batimetría, calidad del agua (factores físicos, químicos y plancton) y aspectos biológico-pesqueros de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757), del lago Coatetelco, estado de Morelos, con el fin de caracterizar la producción de esta especie bajo las condiciones ambientales en este sistema acuático. Los resultados de morfometría y batimetría en mayo indican que es un cuerpo acuático pequeño ($Ao < 120$ ha) y somero (Z media=0.49m), por lo que se considera sistema productivo, con longitud máxima de 1,560m y volumen total de 579276.75m^3 . El lago se clasifica dentro de un estado hipertrófico por encontrarse dentro de los valores del índice del estado trófico de 70 a 100. Se reconocieron 4 divisiones de fitoplancton (Clorophyta, Cianophyta, Chromophyta y Euglenophyta). Referente al zooplancton se registraron la clase Crustácea, el suborden Calanoida, el suborden Cyclopoida y el Phylum Rotatoria. En cuanto a la fauna íctica en todos los meses se encontraron organismos *Oreochromis niloticus* en fase de desove y se detectaron dos periodos de máxima actividad reproductiva: enero - febrero y junio. Obteniendo un rendimiento para esta especie de 91.3 ton/año.

Dorantes y Zavala (2003) llevaron a cabo muestreos mensuales en la Presa Emiliano Zapata, el Lago El Rodeo y el Lago Coatetelco. La Presa Emiliano Zapata y el Lago El Rodeo se clasificaron como sistemas monomícticos cálidos y el Lago Coatetelco como cálido polimíctico continuo. Se analizaron los factores físicos y químicos de cada sistema mencionado. Respecto al fitoplancton de la Presa Emiliano Zapata y el Lago Coatetelco se determinó un total de 26 especies, en el Lago El Rodeo se identificaron 30 especies. El zooplancton estuvo constituido por copépodos, cladóceros y rotíferos; en la Presa Emiliano Zapata se registraron 7 especies, en el Lago el Rodeo y Coatetelco solo se determinaron 6 especies. La Presa Emiliano Zapata se clasificó como eutrófico durante la estación de secas e hipereutrófico durante las lluvias. El Lago Coatetelco se consideró como un sistema en estado eutrófico a hipereutrófico.



Quiroz-Castelán *et al.* (2004), realizaron un estudio en el Lago de Chapala para determinar las variaciones que presentan a través del tiempo los organismos fitoplanctónicos en un sistema acuático durante todo el año y analizan las variaciones de la calidad del agua y sus relaciones en tres zonas del lago. La mayor abundancia fitoplanctónica fue de 16 048 cel./mL en superficie y a un metro de profundidad de 8 309 cel./mL.

Díaz-Vargas *et al.* (2005), analizaron algunas condiciones físicas y químicas del agua y sedimento del Lago Zempoala, Morelos durante un ciclo anual. El oxígeno disuelto y el bióxido de carbono presentaron valores que indican procesos de descomposición, sobre todo en algunas áreas de la zona litoral y en el fondo, relacionando esto con la concentración de materia orgánica; se considera que el proceso continuo de eutrofización, provocado por diversas razones, permite observar claras diferencias entre la zona trofólítica y la trofógena en este lago. El sedimento se caracterizó como rico en materia orgánica, con zonas en donde el pH tiende a la acidez y presenta cantidades variantes de nutrientes, correspondiendo al grado de descomposición del detritus. Las condiciones y dinámica del sedimento, se ven reflejadas en el resto de la columna de agua, considerándolo un sistema productivo con tendencia a la eutrofización.

Fontúrbel (2005), realizó un estudio donde muestreo en cuatro localidades de la parte boliviana del Lago Titicaca, Se analizaron parámetros físico-químicos y biológicos y tomó muestras de las macrófitas flotantes (Pleuston), También obtuvo muestras de las macrófitas sumergidas (limnófitas) y estimaron la cobertura relativa de sustrato, así como el índice de diversidad de Shannon–Wiener (Smith y Smith, 2001). Para el análisis de fitoplancton recolectó muestras de agua de cada área de muestreo y realizó el análisis cualitativo y cuantitativo con ayuda de un microscopio compuesto. Los resultados mostraron un avance diferencial en el desarrollo del proceso de eutrofización en cada sitio: se clasificó un sitio como aguas de calidad mínima, un sitio como calidad baja y dos como calidad media. La conjunción de turbidez, DBO₅, nitrógeno y fósforo se manifiesta como un buen indicador del grado de avance del proceso de eutrofización, mientras que la evaluación de macrófitas y fitoplancton proporcionan datos valiosos sobre la pérdida de biodiversidad.



Ortiz (2006) actualizó el inventario de los cuerpos de agua (lenticos) del estado de Morelos en la parte centro poniente. Registró un total de 51 cuerpos de agua. Clasificó a los sistemas como hipereutrófico (un poco más del 50%) y en menor proporción en sistemas mesotróficos y mesotróficos-eutróficos. Reportó cinco divisiones de fitoplancton con un total de 90 especies; para el zooplancton señala un total de 19 especies, 13 géneros y 9 familias y para la íctiofauna menciona un total de 10 especies, 10 géneros y 7 familias.

Gómez-Márquez *et al.* (2007a) realizaron un estudio limnológico en el Lago Coatetelco, Morelos, donde encontraron que la profundidad y el volumen del embalse presentan cambios como consecuencia de las épocas de lluvias y estiaje. Con base en los registros térmicos que realizaron, se presentaron dos periodos, uno de mezcla que abarcó de octubre a febrero, en el cual se observa que el sistema se hace más homogéneo al presentar poca variación de la temperatura al nivel de la columna de agua y otro de estratificación, de marzo a septiembre. La concentración de oxígeno disuelto fue variable a lo largo del tiempo, en diciembre y enero se registraron condiciones de anoxia en las capas más profundas. Los valores de dureza total mostraron una estrecha relación con la temporada de lluvias y secas.

Gómez-Márquez *et al.* (2007b) llevaron a cabo un estudio limnológico en la presa Emiliano Zapata, Morelos, donde encontraron que la profundidad y el volumen del embalse presentan cambios como consecuencia de las épocas de lluvias y estiaje. A lo largo de nueve años de estudio en la presa se registraron 26 especies de fitoplancton. Con respecto a la comunidad del zooplancton, se registraron siete especies. En el caso de la íctiofauna se encuentran especies nativas e introducidas.

Ramírez (2008) llevo a cabo un estudio en la parte norte-oriente del estado de Morelos, en el periodo comprendido entre noviembre del 2005 a noviembre de 2007 abarcando un cuarto del territorio de Morelos. En el área estudiada se reportaron un total de 43 embalses siendo la mayoría bordos menores a una hectárea, se evaluaron los diferentes aspectos limnológicos (morfometría, batimetría, calidad del agua), composición del fitoplancton y zooplancton así como el estado de fauna íctica en época de lluvias y secas. Los sistemas en su mayoría pueden clasificarse de acuerdo a los nutrimentos como eutróficos con tendencias a la hipereutrófia. Se reportaron cinco divisiones de fitoplancton y un total de 147 especies. El zooplancton lo representaron los ordenes Diplostraca, Ploima y Copépoda (Ciclopoida y Calanoida) en total se reportaron 20 géneros y 31 especies. La íctiofauna se compone de tres familias, ocho géneros y ocho especies, la



más representativo fue *Oreochromis niloticus*, le siguen *Heterandria bimaculata* y *Poecillia sphenops*.

Rosas (2009) realizó un estudio en el estado de Morelos en los sistemas lenticos que se encuentran ubicados en la parte sur- oriente del estado la cual comprende siete municipios que cubren una cuarta parte del estado, tomando muestras de agua de marzo de 2007 a abril del 2008, se reportaron un total de 53 sistemas lenticos entre presas y bordos que se clasificaron con base a la presencia de agua durante las estaciones de seca y lluvias, de los cuales 33 son permanentes y 20 son temporales, ubicando a Tepalcingo con 15 embalses y Tlaltizapan con solo 2, a todos los embalses se les realizo: morfometría, batimetría, análisis físicos, químicos y biológicos, además del plancton e íctiofauna. De acuerdo a los nutrimentos la mayoría de los embalses se clasificaron como eutróficos con tendencias a la hipereutrófia. Se reportaron 214 especies agrupadas en 6 clases para el fitoplancton. En el zooplancton se registraron 38 especies, siendo la clase Eurotatoria la de mayor riqueza con 23 especies. La íctiofauna está representada por tres familias siete géneros y ocho especies, dentro de las cuales a *Poecillia sphenops* se le puede encontrar en 35 sistemas y a *Oreochromis niloticus* en 30.

Chalar (2007) realizó la evaluación del estado trófico de los embalses Canelón Grande y Paso Severino, de Montevideo, Uruguay, (diciembre 2006 - marzo de 2008). Se tomó muestra para evaluar la calidad del agua y el análisis cualitativo y cuantitativo de la comunidad fitoplanctónica. Para definir el estado trófico se utilizaron los índices del estado trófico calculados con base en diferentes parámetros. Compararon los datos obtenidos experimentalmente con unos valores fijos propuestos para cada rango con base en la OCDE (1982). El recuento de organismos se realizó en microscopio invertido según el método de Utermöhl (1958) para la identificación taxonómica utilizó diversas claves para el reconocimiento de los organismos. Con base en la clasificación trófica de límites fijos propuesta por la OCDE (1982), se encontró que los dos embalses se encuentran como hipereutróficos, Por otro lado, los valores promedio y los máximos de Clorofila *a* señalan al embalse de Canelón Grande como oligotrófico y a Paso Severino como mesotrófico.

Quiroz-Castelán *et al.* (2010), desarrollaron el trabajo durante un ciclo anual (Mayo 2008-Mayo 2009), y efectuaron los análisis del pH, conductividad, transparencia, total de sólidos disueltos, alcalinidad total, dureza total, bióxido de carbono, oxígeno disuelto, temperatura y cloruros. Estos parámetros presentaron diferencias significativas entre los muestreos. La temperatura fue adecuada para el desarrollo de los organismos acuáticos, y para el crecimiento de la tilapia. Los valores de pH muestran una tendencia a la alcalinidad, la conductividad presentó incrementos relacionados con la dinámica de este



cuerpo de agua referida a las etapas de concentración y decremento con la dilución. La variación de los sólidos disueltos está directamente relacionada con la conductividad y su tendencia anual fue constante. Los valores de transparencia estuvieron relacionados con la presencia de material orgánico e inorgánico. El oxígeno disuelto mostró concentraciones adecuadas para los peces en cultivo, con ausencia de bióxido de carbono la mayor parte del año. Los valores de alcalinidad total, dureza total y cloruros indican que fueron aguas duras, con un mayor grado de mineralización al final del ciclo de muestreo.

Espinosa (2011) realizó un análisis de calidad del agua que incluyó factores físicos, químicos y biológicos; se evaluó la morfometría y batimetría de cuatro sistemas denominados Los Planes ubicados en el municipio de Tlayacapan, estado de Morelos, México. Por las condiciones tróficas los sistemas se clasificaron como hipereutrófico a lo largo de todo el año, pese a que su dinámica era variante a lo largo del año los sistemas se han deteriorado con el paso del tiempo entrando a una etapa de permanente hipertrofia. Se identificaron 182 especies de fitoplancton agrupadas en: Bacillariophyta (35 especies), Chlorophyta (87 especies), Cyanophycota (20 especies), Euglenophycota (33 especies), Pirrophytocyta (1 especie) y Xantophyta (6 especies).

Hernández y Rivera (2011) realizaron un estudio en el municipio de Ayala, Estado de Morelos, con el objetivo de evaluar la producción primaria y la calidad del agua que se usa para el riego agrícola así como para la acuicultura (producción de *Oreochromis niloticus* y *Cherax quadricarinatus*) trabajaron dos microreservorios de agua, llamados Amate amarillo y La Palapa. Realizaron la batimetría y morfometría de estos sistemas que proporcionaron la información necesaria para establecer que el componente edáfico y los sedimentos tienen una estrecha relación en la columna de agua. Registraron valores altos para los indicadores que reflejaron una alta eutrofización del agua, calificándolos como agua duras para ambos sistemas, altamente productivos y con una elevada densidad de fitoplancton divididos en: Clorofitas, Cianofitas, Euglenofitas y Bacilariofitas. 57 especies para La Palapa, 59 especies para Amate Amarillo.



AREA DE ESTUDIO

La localidad de **Huitchila** está situada en el Municipio de Tepalcingo, en el Estado de Morelos. El municipio se ubica geográficamente entre los paralelos 18°39' latitud Norte y los 98°55' longitud Oeste a 1,140 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2002).

Limita al norte con Tenextepango y Xalostoc; al sur con Tepalcingo y el Limón; al este con Xalostoc y Atotonilco y al oeste con Ayala y Zacapalco (Fig.1).

Orografía

Las zonas accidentadas abarcan el 50 por ciento de este municipio que es altamente montañoso y tiene bastantes elevaciones, entre ellas destacan los cerros del Cacalote, del Jumil, y el Tesquican que llegan a los 1,500 metros de altura. La elevación más importantes del municipio se encuentra en los límites con el estado de Puebla y el municipio de Tlaquiltenango, y es el cerro Frío, que tiene una altura de 1,700 metros. En cota de los 1,450 metros se encuentran los cerros Margarita y Melonar, en los 1,400 metros el Cerro Olicornio; en los 1,350 metros están los cerros del Diablo y el del Mogote. Entre las elevaciones que se ubican en la cota de los 1,300 metros, destacan los Cerros de Pápalo, del Pericón y la Mesa de los Cuilotes; a 1,250 metros se destacan los cerros Cuachic, de la Zapatera, el de las Pilitas, y la Loma Larga de Tlacuatzingo; en los 1,250 metros se ubican los cerros de Mozochúc en la parte sur del municipio, limitando en el estado de Puebla. Las zonas planas se encuentran en la parte central. (INEGI, 2002).

Geología

En el estado de Morelos existen solamente afloramientos de rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas volcánicas son las más jóvenes y las más abundantes. Las estructuras geológicas más notables son las constituidas por los aparatos volcánicos y sus grandes espesores de lava. El estado de Morelos queda comprendido dentro de dos provincias geológicas: la del Eje Neo-volcánico y la de la Sierra Madre del Sur. Las rocas más antiguas en el Eje Neo-volcánico dentro del estado de Morelos son las ígneas extrusivas de composición intermedia (andesitas), que afloran al oeste de Huitzilac y datan probablemente del Terciario Medio; contemporáneo a estas rocas aflora al noroeste de Tepalcingo un pequeño cuerpo intrusivo. Sobre-yaciendo a las rocas intermedias afloran rocas sedimentarias clásticas (areniscas-conglomerado), así como un complejo volcánico



constituido por diferentes tipos de rocas ígneas, como son: riolitas, tobas, brechas volcánicas y basaltos. Es en esta provincia donde afloran las rocas más antiguas de Morelos, que son las del Cretácico Inferior; litológicamente están clasificadas como calizas de ambiente marino. Al norte de la entidad, los suelos tienen un origen predominantemente residual y volcánico, lo que los hace ácidos y poco fértiles, por lo que su uso agrícola es muy limitado, así tenemos los andosoles: mólico, húmico, órico y vítrico, que son suelos que se encuentran en áreas en donde ha habido actividad volcánica reciente; regosoles: eutrico y dístrico; cambisoles: eutrico y húmico; acrisoles: órtico y húmico; luvisoles principalmente crómico, aunque también se encuentra el órtico (INEGI, 2002).

Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen (modificado por García, 2004), la zona tiene un clima Awo (w) i g cálido sub-húmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual mayor de 22°C, precipitación media anual 800 a 1000 mm y un índice de P/T de 49.3.

Características y Uso del Suelo: Tepalcingo es un municipio eminentemente agrícola ya que utiliza 120.6 km² para uso agrícola, 19.6 km² en el uso pecuario y 256.2 km² para uso forestal, se puede señalar con este mismo dato que la tenencia de la tierra ejidal es de 305.8 km² y particular de 74.4 km².

La flora está constituida principalmente por Selva Baja Caducifolia de clima cálido, jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* D. Don.), tabachín (*Delonix regia*), cazaguante (*Ipomoea arborea*), ceiba (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn), bugambilia (*Bougainvillea sp.*), árboles como: mulato (*Bursera morelensis*), cuajote amarillo (*B. aptera*) y copalillo (*B. submoniliformis*).

El Bordo Huitchila, Municipio de Tepalcingo, se ubica en las siguientes coordenadas: 18° 65' LN y 98° 92' LO a 1155 metros sobre el nivel del mar, la zona tiene un clima Awo (w) i g cálido sub-húmedo con lluvias en verano, con precipitación media anual de 107.16 mm, una temperatura media anual de 26.06 ° C y una temperatura de 20.7 ° C en el mes más frío. La vegetación que prevalece es la Selva Baja Caducifolia y la geología corresponde a la Era Cenozoica, del periodo Cuaternario. Los tipos de suelo son el Vertisol pélico, y suelo secundario es Regosol con textura fina (García, 2004).

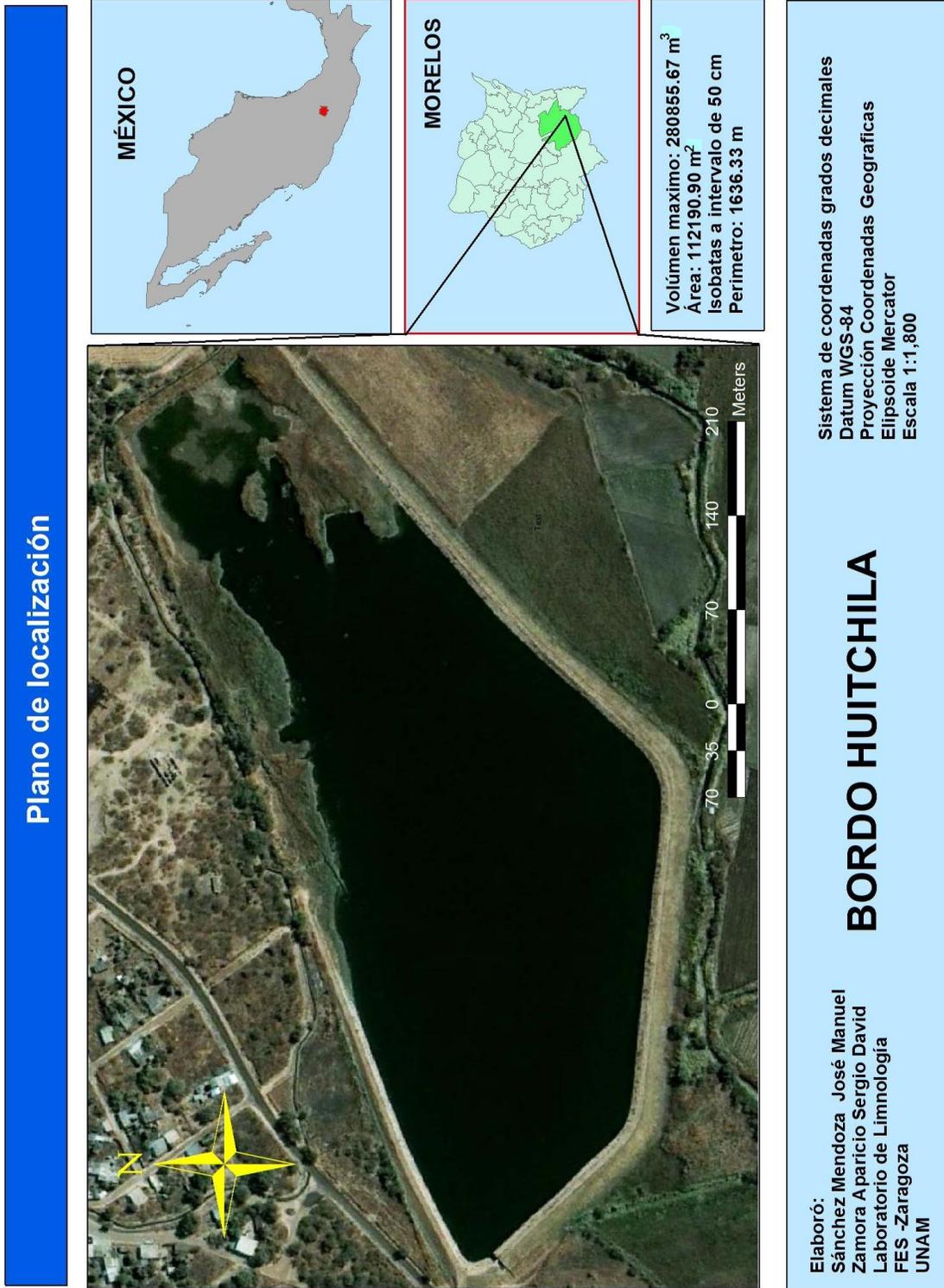


Figura 1. Bordo Huitchila, Municipio de Tepalcingo, Morelos, México (Fuente Google Earth, 2011)



OBJETIVO GENERAL

Analizar las características biológicas y la calidad de agua de un lago somero tropical del estado de Morelos

OBJETIVOS PARTICULARES

- ❖ Analizar el comportamiento de los parámetros físicos y químicos del agua del bordo.
- ❖ Determinar la producción del sistema acuático en cuanto a los nutrimentos presentes y a la variación de la biomasa fitoplanctónica.
- ❖ Obtener el estado trófico del bordo y su relación con las variables físicas, químicas y biológicas del sistema.
- ❖ Obtener la composición, abundancia e índice de diversidad de la comunidad fitoplanctónica y analizar su variación temporal.



MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó una salida mensual de septiembre 2010 a agosto 2011, para tomar muestras del bordo Huitchila, en superficie (0.30 m) y fondo (1 m), en dos sitios de monitoreo de acuerdo a las dimensiones del sistema.

Se obtuvo la visibilidad al disco de Secchi, se tomó la muestra de agua con una botella Van Dorn de dos litros de capacidad y se almacenó en botellas de polietileno de 1 litro de capacidad, las cuales se guardaron en hielo para su transportación y posterior análisis en el laboratorio. Asimismo, para la determinación del oxígeno disuelto se utilizó el oxímetro marca HANNA con sonda de 3 metros y con marcas cada 50 cm., y se tomaron aproximadamente 100 ml de agua en una botella de polietileno la cual se fijó con acetato de lugol para posteriormente determinar en el laboratorio el fitoplancton (Schowerbel, 1975).

Se midió la profundidad en cada estación para observar la variación en ella, al igual que se tomó la temperatura ambiental.

In situ, se determinaron los siguientes parámetros: (Tabla 1)

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos a evaluar *in situ*

PARAMETRO	METODO	OBSERVACIONES
pH	Medidor Multiparamétrico	Marca HANNA, modelo: HI991300
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	Medidor Multiparamétrico	Marca HANNA, modelo: HI991300
Conductividad	Medidor Multiparamétrico	Marca HANNA, modelo: HI991300
Dureza Total	Método Volumétrico	EDTA 0.01M
Dureza de Calcio	Método Volumétrico	EDTA 0.01M
Alcalinidad total	Método de Indicadores	H ₂ SO ₄ 0.02N
Oxígeno Disuelto	Oxímetro	Marca: HANNA Modelo: HI9146
Temperatura del H ₂ O	Oxímetro	Marca: HANNA Modelo: HI9146
Temperatura Ambiente	Termómetro	Marca: BRANNAN de inmersión de -1 a 51 °C
Profundidad	Disco de Secchi	
Visibilidad	Disco de Secchi	

(Pacheco-Meneses *et al.*, 1982; Cervantes, 1984; Arredondo-Figueroa, 1986)



Fase de Laboratorio

En el Laboratorio se llevaron a cabo las determinaciones de diversos parámetros descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros evaluados en el laboratorio

PARAMETRO	PRINCIPIO	METODO
Nitritos	Colorimétrico	Acido sulfanílico
Nitratos	Colorimétrico	Acido Fenoldisulfónico
Fosforo Total	Colorimétrico	Fosfomolibdato
Ortofosfatos	Colorimétrico	Fosfomolibdato
Silicatos	Colorimétrico	Molibdo-Silicato
Sulfatos	Turbiedad	Turbidimétrico
Amonio	Colorimétrico	Azul de Indofenol
Sólidos Totales	Gravimétrico	Gravimétrico
Clorofila "a"	Colorimétrico	Espectrofotómetro
Fitoplancton	Cuantitativo	Técnica de Uthärmol

(Pacheco-Meneses *et al.*, 1982; Cervantes, 1984; Arredondo-Figueroa, 1986)

FITOPLANCTON (DETERMINACIÓN)

Principio: por varias razones, el recuento del fitoplancton no se puede llevar a cabo con perfección con un microscopio normal. La muestra de plancton se contó en las llamadas cámaras tubulares, en cuyo fondo de cristal se sedimenta después de un tiempo determinado. Sin embargo, el agua sobrenadante no se puede decantar y permanece en la cámara. Por lo que se trabaja con el microscopio invertido de acuerdo al criterio de Uthärmol (Schöwerbel, 1975).

El recuento de la muestra de fitoplancton fijado con acetato de lugol se realizó con los siguientes pasos:

1. Agregar 1mL de muestra, llenado de la cámara y sedimentado por 24 hrs.
2. Se realizó una repetición para corroborar la densidad.
3. El recuento de las muestras (Sánchez-Rueda y Ponce-Márquez, 1996).

Las muestras de fitoplancton se determinaron con ayuda de manuales de micro-algas de Needham y Needham (1972), Ortega (1984); Krammer y Lange-Bertalot (1986), Krammer y Lange-Bertalot (1988), Ettl y Gärtner (1988), Dillard (1989), Krammer y Lange-Bertalot



(1991a), Krammer y Lange-Bertalot (1991b), Comas (1996) y John *et al.* (2002). Los resultados se expresaron en número de células por unidad de volumen y la determinación se realizó hasta el nivel taxonómico posible.

CLOROFILAS

Método para la determinación de la biomasa (clorofila "a") (APHA, AWWA y WPCF, 1992; Contreras, 1994).

Se filtraron entre 50 y 100 mL de la muestra de agua con un filtro millipore de 0.45 μm al vacío y se colocó el filtro en un tubo de centrifuga; se adicionaron de dos a tres ml de acetona al 90%, se maceró el filtro y se completó el volumen de acetona hasta 10 ml. Se colocaron en la oscuridad durante 2 horas a temperatura ambiente y se centrifugó durante 10 min a 4000 rpm.

Posteriormente se extrajo el sobrenadante con una pipeta Pasteur y se colocó en una celda, para llevar a cabo su lectura en el espectrofotómetro Spectronic 20. Las longitudes de onda a las cuales se leyeron las muestras fueron: 750, 665, 645 y 630 nm , que son las máxima absorbancia de la clorofila a, b y c respectivamente, estas lecturas se llevaron a cabo contra un blanco de acetona al 90%.

La concentración para cada clorofila en $\mu\text{g/L}$ se obtuvo a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila a} = 11.64E_{665} - 2.16E_{645} + 10E_{630}$$

$$\text{Clorofila b} = 21.03(\text{DO647}) - 5.43(\text{DO664}) - 2.66(\text{DO630})$$

$$\text{Clorofila c} = 24.52(\text{DO630}) - 7.60(\text{DO647}) - 1.67(\text{DO664})$$

Se restó la extracción a 750 nm de las extracciones a 665, 645 y 630; los valores obtenidos se multiplicaron por el volumen de la extracción en ml y se dividieron por el volumen de agua en litros.



CLASIFICACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO CON BASE EN EL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CARLSON (1977) Y CARLSON Y SIMPSON (1996) o TSI (Trophic State Index)

El índice de Carlson (1977) es uno de los índices más utilizados, puede variar entre 0 (oligotrófico) y 100 (híper-eutrófico). El índice puede determinarse a partir de la concentración de clorofila “a” y fósforo total, cuya relación con la transparencia se ha calculado previamente.

Las fórmulas que figuran a continuación resultan de una modificación realizada por Aizaki *et al* (1981) a la propuesta por Carlson y Simpson (1996).

$$\text{TSI (Disco de Secchi)} = 10x(2.46 + 3.76 - 1.57 \ln DS(m)) / \ln 2.5$$

$$\text{TSI (Clorofila mg/m}^3\text{)} = 10x(2.46 + \ln Cl(mg / m^3)) / \ln 2.5$$

$$\text{TSI (Fósforo total mg/m}^3\text{)} = 10x(2.46 + 6.68 + 1.15 \ln PT(mg / L)) / \ln 2.5$$

De acuerdo a los valores que alcanzan el TSI (Carlson y Simpson, 1996) se pueden diferenciar cuatro categorías: (Tabla 3)

Tabla 3. Clasificación de Estado Trófico

CARLSON Y SIMPSON (1996)	
Estado Trófico	TSI PROMEDIO
Oligotrófico	< 40
Mesotrófico	40-50
Eutrófico	50-70
Híper-eutrófico	>70

CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE EUTROFIA SEGÚN OCDE (1982)

Luego de un estudio de 5 años que abarcó 200 ambientes en 22 países de Europa occidental, EEUU, Japón y Australia el Comité de Eutrofización de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982) propuso una clasificación del grado de eutrofia de lagos y embalses, de acuerdo a los valores que alcanzan las variables clorofila, Secchi y fósforo.



En la tabla 4 se muestra la clasificación “cerrada” llamada así debido a que utiliza límites estrictos entre categorías.

Tabla 4. Grado de eutrofia que pueden alcanzar un cuerpo de agua
CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE EUTROFIA SEGÚN OCDE (1982)

Grado de eutrofia	Clorofila (mg/m ³)	Prof. Disco de Secchi (m)	P (mg/m ³)
Ultraoligotrófico	< 1	> 12	< 4
Oligotrófico	1-2,5	12-6	4-10
Mesotrófico	2,5-7,9	6-3	10-35
Eutrófico	8-25	3-1,5	35-100
Híper-eutrófico	> 25	< 1,5	> 100

Además de la categorización dada por OECD (2009), para el diagnóstico del estado trófico también se utilizó el propuesto por Carlson y Simpson (1996), que se calculó a partir de los valores de transparencia al disco de Secchi, clorofila “a” y de las concentraciones de fósforo obtenidas (Echaniz y Vignatti 2009).

RELACIÓN ENTRE LOS VALORES DE ÍNDICE DE DIVERSIDAD CON LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA (Tabla 5)

El creciente deterioro de los ecosistemas acuáticos ha venido demandando el desarrollo de sistemas y métodos, que permitan conocer su grado de alteración debido a causas naturales y/o antropogénicas. Entre los conceptos y aproximaciones metodológicas más recientes se encuentra el de integridad biótica, que conjuga elementos estructurales y funcionales de los ecosistemas acuáticos para conocer el estado aproximado de sus procesos ecológicos y evolutivos. Este concepto se desarrolló de manera principal para ecosistemas loticos de agua dulce, que están entre los más afectados por las actividades humanas y poco a poco se ha ido incrementando su nivel de aplicación a otros sistemas acuáticos (Pérez *et al*, 2004). La valoración biótica es una evaluación de las condiciones de un cuerpo de agua usando estudios y medidas directas de la biota residente en aguas superficiales (Barbour *et al.*, 1999).



A la biota que puede tolerar esos impactos se le ha denominado indicadora de alteraciones. Para el monitoreo de la biota en los sistemas acuáticos se han diseñado distintos índices; entre los más comunes están los índices de diversidad (Shannon-Wiener, Simpson, etc...), los índices de similitud y los índices bióticos (incluyendo los índices saprobicos). De los índices de diversidad, el más utilizado es el de Shannon-Wiener (H') el cual, para el caso de ambientes acuáticos, se ha hallado correlacionado con la calidad del agua en cuanto a la contaminación orgánica (Tabla 5).

Tabla 5. Relación entre los valores de índice de diversidad con la contaminación del agua (Wilhm y Dorris, 1968; citados en Dall, 1995).

VALOR DE ÍNDICE DE SHANNON Y WIENER	INTERPRETACIÓN
$H' > 3$	Aguas limpias
$H' = 2-3$	Aguas ligeramente contaminadas
$H' = 1-2$	Aguas medianamente contaminadas
$H' = 0-1$	Aguas fuertemente contaminadas



OLMSTEAD-TUCKEY

Se utilizó la prueba de asociación Olmsted-Tuckey ó Análisis Bidimensional para determinar el carácter de las especies como dominantes, ocasionales, constantes y especies raras, en función de la abundancia y la frecuencia de ocurrencia (Sokal y Rohlf, 1981; López-López, y Serna-Hernández, 1999).

La diversidad biológica representa un tema central de la teoría ecológica y ha sido objeto de amplio debate (Magurran, 1988). La falta de definición y de parámetros adecuados para su medición hasta principios de los 70's llevó incluso a declarar la falta de validez del concepto (Hurlbert, 1971). Actualmente el significado y la importancia de la biodiversidad no están en duda y se han desarrollado una gran cantidad de parámetros para medirla como un indicador del estado de los sistemas ecológicos, con aplicabilidad práctica para fines de conservación, manejo y monitoreo ambiental (Spellerberg, 1991).

El número de especies es la medida más frecuentemente utilizada, por varias razones (Gaston, 1996; Moreno, 2001). Primero, la riqueza de especies refleja distintos aspectos de la biodiversidad. Segundo, a pesar de que existen muchas aproximaciones para definir el concepto de especie, su significado es ampliamente entendido (Aguilera y Silva, 1997; Mayr, 1992). Tercero, al menos para ciertos grupos, las especies son fácilmente detectables y cuantificables. Y por último, aunque el conocimiento taxonómico no es completo (especialmente para grupos como los hongos, insectos y otros invertebrados en zonas tropicales) existen muchos datos disponibles sobre números de especies (Moreno, 2001).

Los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro. En cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades. Por ello, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, la separación de los componentes alfa, beta y gamma (Whittaker, 1972) puede ser de gran utilidad, principalmente para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas (Halffter, 1998). Es necesario tener réplicas de cada muestra para poder acompañar el valor de un índice con el de alguna medida de la dispersión de los datos (varianza, desviación estándar o coeficiente de variación), o estimar el valor mínimo y máximo hipotéticos del índice bajo las condiciones del muestreo (Spellerberg, 1991).



ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos fueron sometidos al Análisis Exploratorio de Datos (AED) (Salgado, 1992) para analizar su comportamiento. Además, se determinó si los datos cumplieron con los supuestos de homocedasticidad y normalidad por medio del paquete Statgraphics plus v. 5.1. Se aplicó el Análisis de Componentes Principales (ACP) el cual es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo fue reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible con el paquete estadístico Statgraphics plus 5.1. Asimismo, se aplicó el Análisis de Conglomerados o de Clúster para asociar el sistema en función del comportamiento de los parámetros con el paquete estadístico SPSS 15.0. Se aplicaron pruebas de *t*-student y Análisis de varianza (ANDEVA), con un nivel de confianza de 95%, para determinar si existían diferencias significativas entre los factores físicos, químicos y nutrimentos por estación, nivel y meses. En el caso que los datos no se comportaron normalmente se aplicaron pruebas de estadística no paramétrica, por ejemplo: Kruskal-Wallis, U de Mann-Whitney, etc. Se aplicó la prueba de *t*-student y el de correlación de Pearson a los datos que cumplieron con los supuestos establecidos. De los índices de diversidad, el más utilizado es el de Shannon-Wiener (H') el cual, para el caso de ambientes acuáticos, se ha hallado correlacionado con la calidad del agua en cuanto a la contaminación orgánica (Moreno, 2001; Pérez-Munguía *et al*, 2004).



RESULTADOS

El área de estudio se encuentra ubicada en una zona que está regida principalmente por dos épocas, lluvias y secas. Durante el periodo de lluvias, la precipitación tiene un efecto de mucha influencia en los sistemas hídricos, en la figura 2 se puede apreciar que en los meses de septiembre a octubre de 2010 y de junio a agosto de 2011 existió una fuerte precipitación lo que da un aumento en el volumen del sistema y que repercute directamente en las concentraciones de los parámetros físico, químicos, y biológicos. El periodo de secas que comprendió entre los meses de febrero a mayo de 2011 es considerado de secas cálidas, el volumen de agua se ve afectado por el aumento en la temperatura, la pérdida por evaporación así como por el uso del recurso para actividades agropecuarias y el periodo comprendido entre los meses de noviembre de 2010 a febrero de 2011 está considerado como el de secas frías, lo cual afecta al sistema con la consecuente concentración de los elementos del sistema. Por lo tanto, se puede decir que este cuerpo de agua está regido por un periodo de dilución y uno de concentración, lo cual resulta en una dinámica que afecta directamente a la calidad de agua y a su estado trófico.

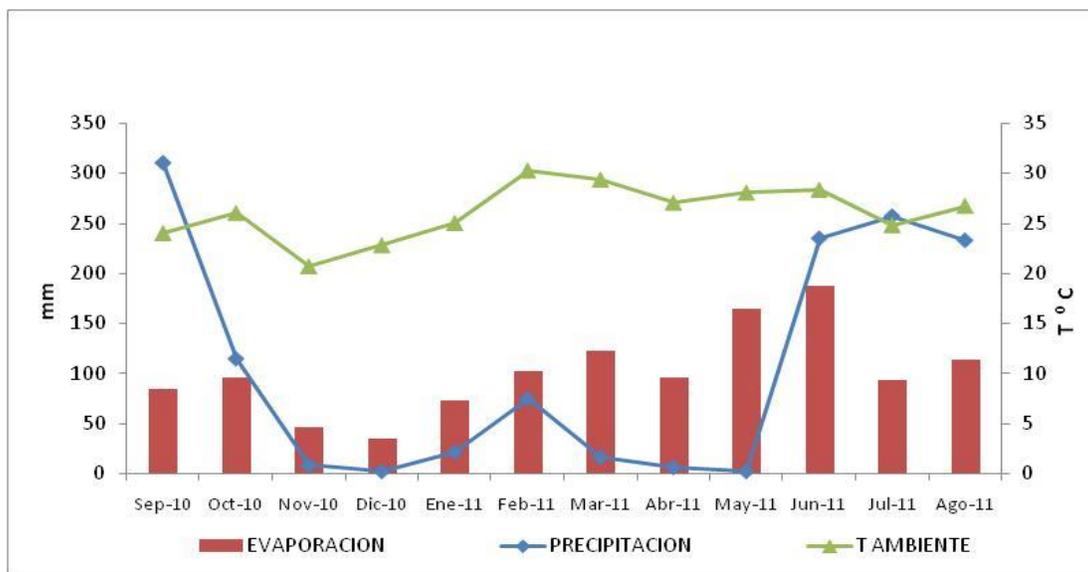


Fig.2. Nomograma para el periodo 2010-2011 obtenido del Servicio Meteorológico Nacional, estación Tlacualera, Municipio de Tepalcingo, Morelos.



MORFOMETRIA Y BATIMETRIA DEL SISTEMA HUITCHILA

El sistema Huitchila es un cuerpo de agua artificial construido por el hombre, con el fin de retener de agua para el uso agropecuario, además de ser utilizado para el desarrollo de actividades acuícolas. Con ayuda del programa ArcGIS se realizó el mapa batimétrico (Fig. 3) y se pudo determinar una longitud máxima (L) de 595.92 metros y una anchura máxima (b) de 250.04 metros. También se puede observar la entrada de agua en la parte superior y la salida de agua en la parte inferior izquierda para regular el nivel y un canal de desfogue para tener un desborde en época de lluvias cuando se ha rebasado el nivel de agua; asimismo, se pueden apreciar las distintas profundidades (isobatas) registradas cada 0.50 m. La batimetría de este sistema fue realizado a través de transectos en el mes de agosto de 2011 en la que se encontraba en su máximo nivel. Es un sistema relativamente somero con una profundidad máxima (Zm) de 5.95 metros y áreas (zonas grises) que se encuentran con una ligera capa de agua (< 0.30 m), también las áreas sin coloración son debidas a que solo se llenan en época de lluvias por lo que se puede decir que una gran parte del sistema tiene una alta relación con el sedimento, y de esta manera, la columna de agua es altamente susceptible a que exista una gran disponibilidad de nutrimentos; además, de ocupar una área superficial de 11.21 ha.

Tabla 6. Características morfométricas del bordo Huitchila

CARACTERISTICAS MORFOMETRICAS	
LOGITUD MAXIMA	595.92 m
ANCHURA MAXIMA	250.04 m
ANCHURA MEDIA	188.26 m
PERIMETRO	1636.33 m
ÁREA SUPERFICIAL	112190.9 m ²
VOLUMEN MAXIMO	280855.67 m ³
PROFUNDIDAD MEDIA \bar{z}	2.50
PROFUNDIDAD MAXIMA Zm	5.95
PROFUNDIDAD RELATIVA Zr	1.57
DESARROLLO DEL VOLUMEN Dv	1.26
DESARROLLO DE LINEA DE COSTA	1.37
RELACION \bar{z} :Zm	0.42

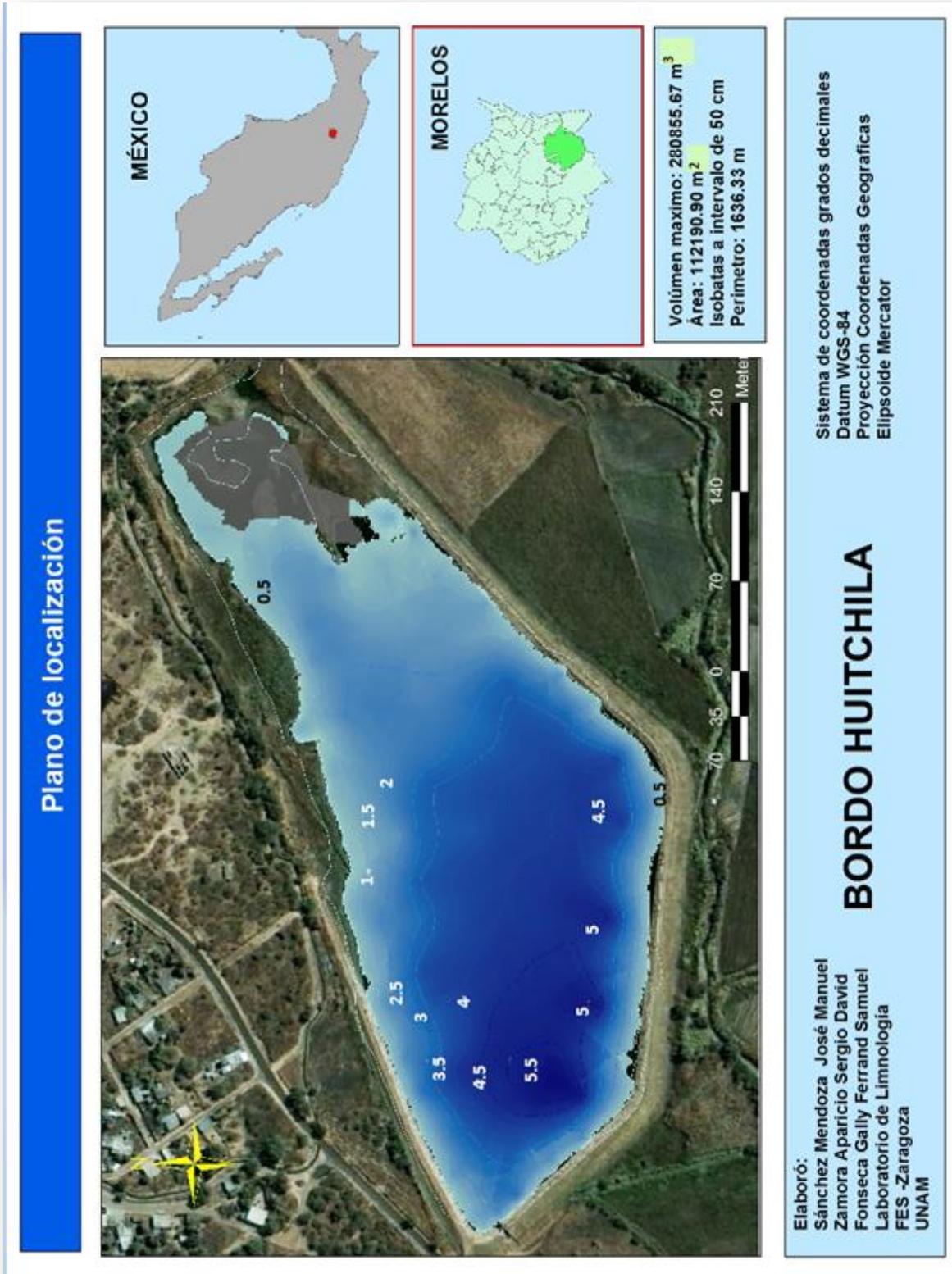


Fig. 3. Mapa batimétrico realizado el mes de agosto de 2011



PARAMETROS FISICOS, QUIMICOS Y BIOTICOS DE HUITCHILA

RELACION ENTRE PROFUNDIDAD Y TRANSPARENCIA

En la figura 4 se muestra la relación que hay entre la transparencia y la profundidad, la cual nos muestra que ha mayor profundidad en el sistema hay mas visibilidad, esto es debido a que la profundidad del sistema fue mayor en época de lluvias por el aporte de agua al sistema, este comportamiento se debe directamente al incremento en el volumen de agua, que ocasiona la dilución. Se realizo una prueba de t (t-student = -0.252146 valor-P = 0.803269) y no se obtuvieron diferencias entre las estaciones por lo que el comportamiento fue de manera homogénea en ambas estaciones.

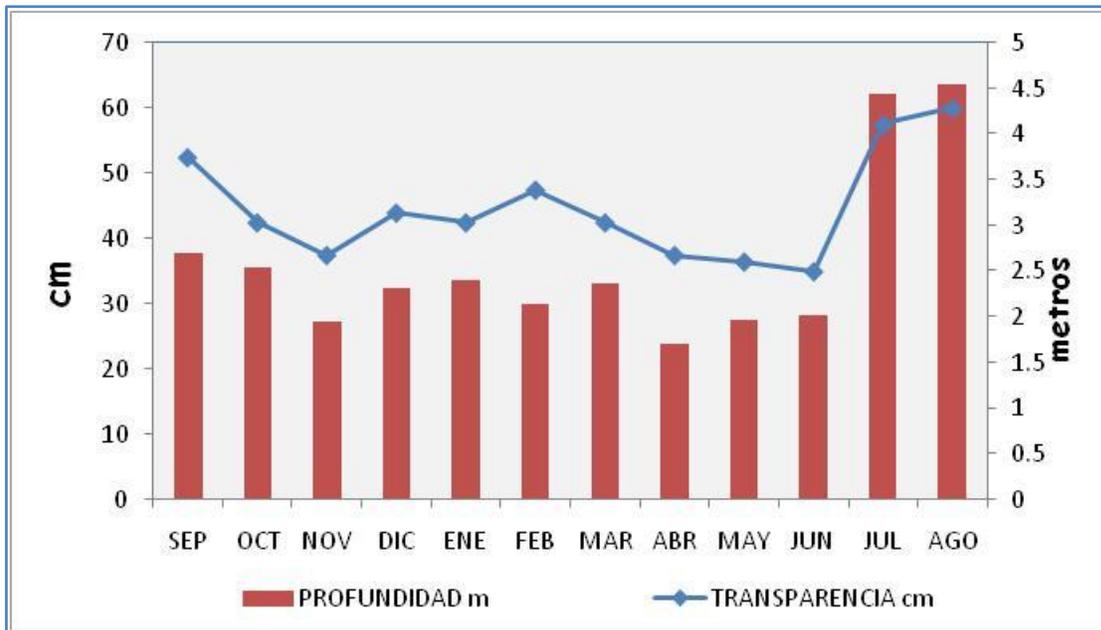


Fig. 4. Relación entre transparencia y la profundidad del agua

RELACION ENTRE TEMPERATURA Y OXÍGENO DISUELTO

En la figura 5 se muestra la relación que hay entre el oxígeno disuelto y la temperatura del agua la cual es inversa, con altas concentraciones durante la fase final de la época de secas e inicio de la de lluvias, asociado a la presencia de viento así como a la entrada de agua que propicio una mayor cantidad de oxigenación, comportamiento que fue muy parecido en las dos estaciones (t-student = 1.29988; P = 0.200117), por lo que la dinámica de estos parámetros fue homogénea en el sistema durante el estudio.

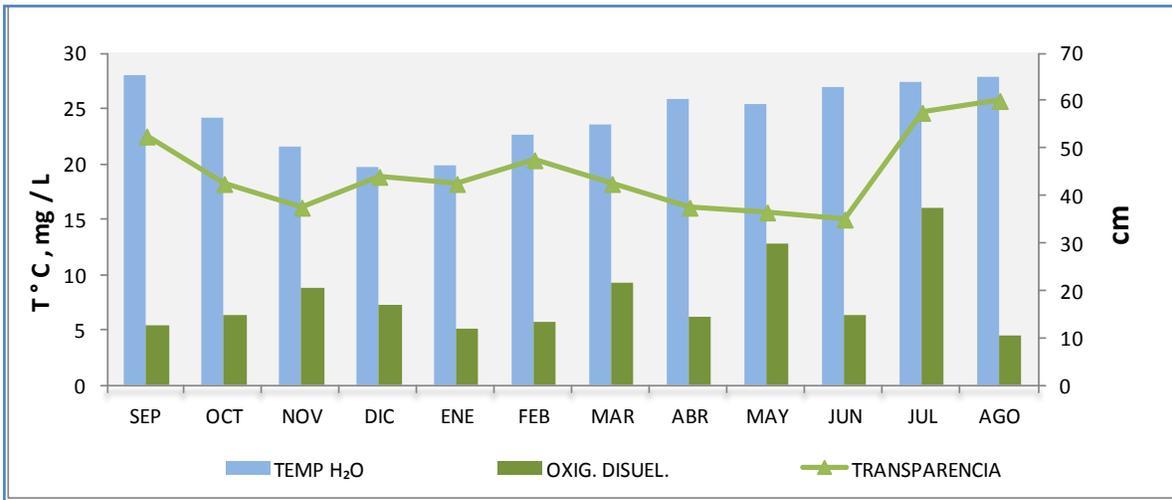


Fig. 5. Relación entre el oxígeno disuelto, transparencia y la temperatura del agua

ALCALINIDAD, DUREZA TOTAL Y pH

En la figura 6 se presenta la relación entre la alcalinidad, dureza y pH. Los valores obtenidos de dureza muestran que son aguas duras a muy duras con intervalos que van desde 258.6 a 586.59 mg/L; se realizó una prueba de t-student para determinar si había diferencias entre estaciones y se observó que para la alcalinidad total no hay diferencias (t-student = 5.29802; P = 0.32131), para la dureza total no se obtuvo diferencias estadísticas significativas (t-student = 24.6498; P = 0.3015) y lo mismo sucedió para el pH (t-student = 2.79562; P = 0.753284), por lo que se obtuvo un promedio entre estaciones. Respecto al intervalo registrado para los valores de pH (8.16 a 8.81), el agua del sistema se considera ligeramente alcalina. Los valores obtenidos durante el estudio son en promedio altos la mayor parte del tiempo, ya que el factor geológico influye de manera directa y dan los aportes de carbonatos necesarios para estas lecturas. Los incrementos de la alcalinidad durante la época de secas y el inicio de la de lluvias, van asociados con el incremento del pH.

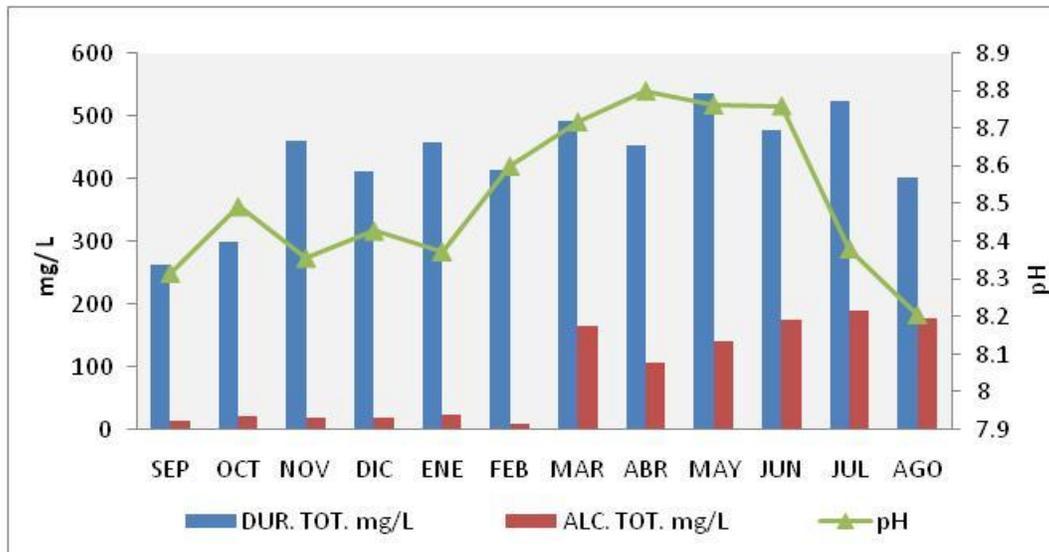


Fig. 6. Variación temporal de la alcalinidad total, dureza total y pH

FÓSFORO TOTAL, ORTOFOSFATOS Y SULFATOS

El fósforo es un elemento que se encuentra presente en la mayoría de los fertilizantes y ya que las zonas alrededor del sistema son usadas para la agricultura, este elemento se encontró disponible básicamente todo el tiempo (figura 7), pero los ortofosfatos al ser una sal más sencilla es más fácilmente utilizable por los organismos por lo que en la época de secas se vio altamente reducido debido a la falta de escurrimientos; los sulfatos tienen una gran relación con el fósforo total y los ortofosfatos, ya que la disponibilidad de ambos depende de la cantidad de oxígeno disuelto en el sistema e influye directamente en los estados de oxidación y reducción del fósforo y azufre presente pero no altera significativamente el pH.

Cabe destacar que el sistema presenta en el fondo sedimento color oscuro que es indicativo de la cantidad de materia orgánica presente. Se realizó la prueba de análisis de Kruskal-Wallis para el fósforo total y se obtuvo que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones ($F = 0.013$; $P = 0.9080$); para los ortofosfatos se obtuvo el mismo resultado ($F = 0.033$; $P = 0.8624$) y para los sulfatos se obtuvo un estadístico de $F = 0.0533$; $P = 0.8173$, que indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones con un nivel del 95.0% de confianza.

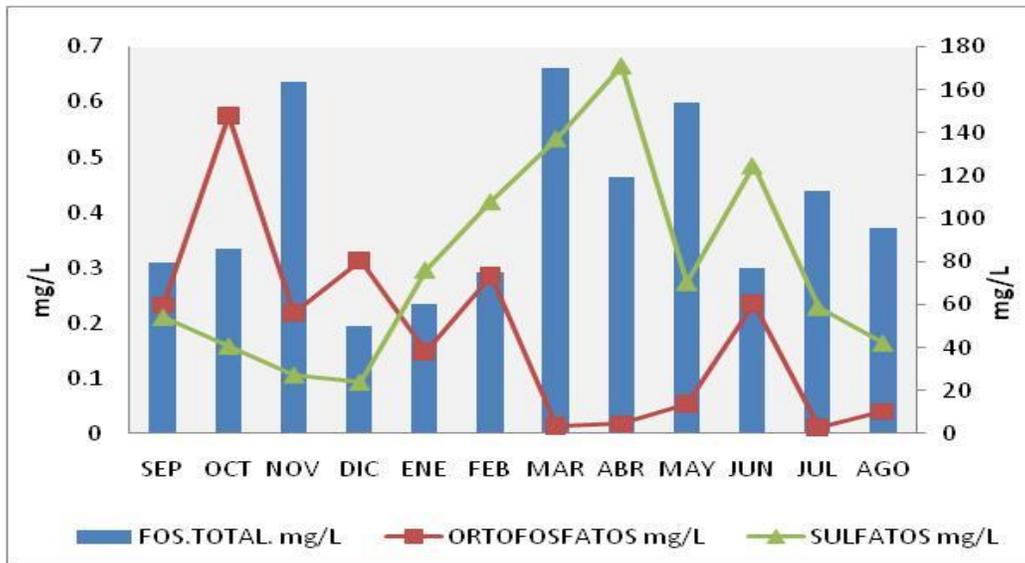


Fig. 7. Relación de los ortofosfatos, fósforo total y sulfatos, para el bordo Huitchila

AMONIO, NITRATOS Y NITRITOS

El amonio es un producto tóxico de desecho del metabolismo en los animales. En los peces e invertebrados acuáticos, se excreta directamente en el agua, además de también deberse a la descomposición de la materia orgánica y este parámetro se vio incrementado durante los meses de secas (Figura 8); los nitratos son la forma asimilable para los organismos algales, por lo que su presencia fue mínima durante el estudio, los nitritos también tuvieron valores muy reducidos con valores que oscilaron entre los 0.0017 y 0.0148 mg/L; se realizó el análisis de Kruskal-Wallis a los parámetros y se obtuvieron los siguientes resultados: Amonio ($F = 0.1875$; $P = 0.664937$); Nitratos $F = 2.0017$; $P = 0.1571$) y Nitritos ($F = 0.0834$; $P = 0.7726$), puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios de las estaciones con un nivel del 95 % de confianza.

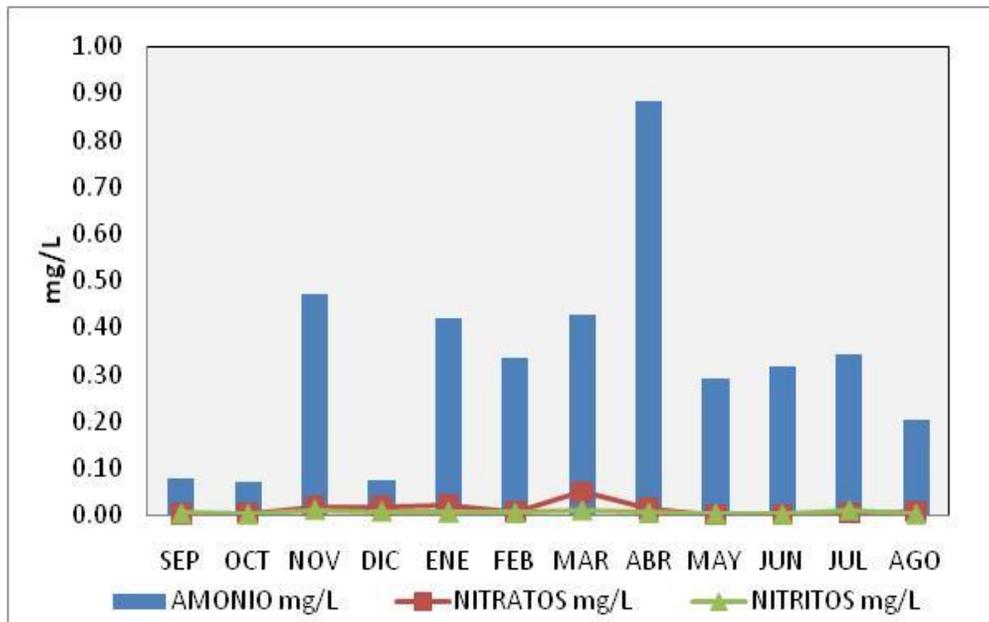


Fig. 8. Relación entre el amonio, nitratos y nitritos.

En la fig. 9 se observa que las concentraciones de sílice están asociadas con la asimilación de dicho elemento por parte de las diatomeas, ya que el comportamiento de este muestra que cuando se incrementa la cantidad de algas, los silicatos disminuyen y se produce la sedimentación de estas desde la zona trofógena, proceso que adquiere una velocidad mayor a la de reemplazamiento del sílice del sistema; se realizó una prueba de t-student para la concentración de silicatos y se obtuvo un valor 0.3356 por lo que no hay diferencias significativas en el sistema.

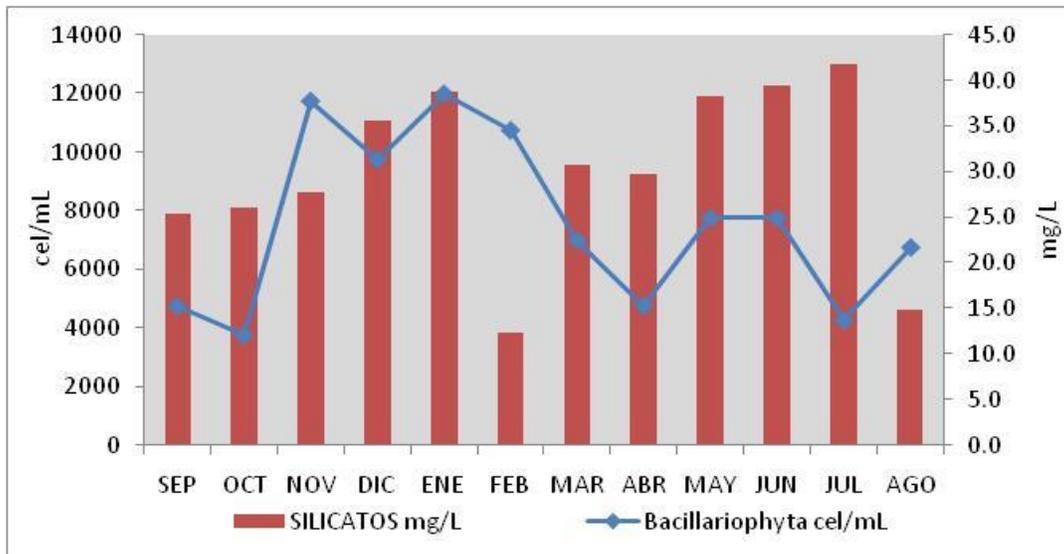


Fig. 9 Relación entre silicatos y Bacillariophyta.

En la tabla 7 se muestran los valores máximos, mínimos y promedio de los parámetros obtenidos, entre los que destacan la temperatura del agua máxima de 30.2 °C registrada en el mes de septiembre de 2010 y la mínima de 19.6 °C en los meses de diciembre de 2010 y enero de 2011; la concentración del oxígeno disuelto mostró su máximo en el mes de julio de 2011 y su mínimo en el mes de agosto de 2011; el valor más alto de precipitación se obtuvo en el mes de septiembre de 2010 y un valor de 3 mm en el mes de mayo de 2011. La transparencia al disco de Secchi fue muy similar entre las estaciones durante los doce meses, con mayor transparencia en la época de lluvias y menor en los meses de secas. Por último, con base en el Índice del Estado Trófico (IET), se puede caracterizar al sistema como eutrófico con tendencia a la hipereutrófia.



Tabla 7. Parámetros físicos, químicos, clorofila "a" y TSI (índice del estado trófico)

PARAMETROS	MAXIMA	PROMEDIO	MINIMA
TEMPERATURA H ₂ O (°C)	28.1	24.41	19.65
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	30.2	26.06	20.7
pH	8.81	8.51	8.16
CONDUCTIVIDAD (S)	1264.5	1029.1	699
OXIGENO DISUELTO (mg/L)	16.2	7.82	4.12
TRANSPARENCIA (cm)	65	44.6	35
ALCALINIDAD TOTAL (mg/L)	218.75	89.09	8.75
DUREZA TOTAL (mg/L)	586.59	433.5	258.6
DUREZA CALCICA(mg/L)	109.7	69.07	36.52
SULFATOS (mg/L)	181.06	77.63	21.36
NITRITOS (mg/L)	0.0148	0.0067	0.0017
ORTOFOSFATOS (mg/L)	0.90	0.24	0.009
SILICATOS (mg/L)	43.1	30.11	10.68
FOSFORO TOTAL (mg/L)	0.969	0.433	0.127
AMONIO (mg/L)	1.88	0.4	0.06
NITRATOS (mg/L)	0.05	0.01	0.0007
SOLIDOS TOTALES (ppm)	3.119	1.708	0.285
CLOROFILAS (µg/L)	36.207	20.977	10.994
INDICE DEL ESTADO TROFICO	79	74	70
PRECIPITACION (mm)	310	107.16	3



RELACION ENTRE EL FITOPLANCTON Y LA CLOROFILA "a"

En la figura 10 se puede apreciar la relación entre los organismos fitoplanctónicos y la clorofila "a", la cual muestra una correspondencia directa entre la abundancia del fitoplancton con la concentración registrada de clorofila "a", además la abundancia del fitoplancton se vio aumentada en los meses de secas cálidas y lluvias y reducida en la temporada de secas frías al igual que la clorofila "a", contrario al comportamiento de la temperatura del agua.

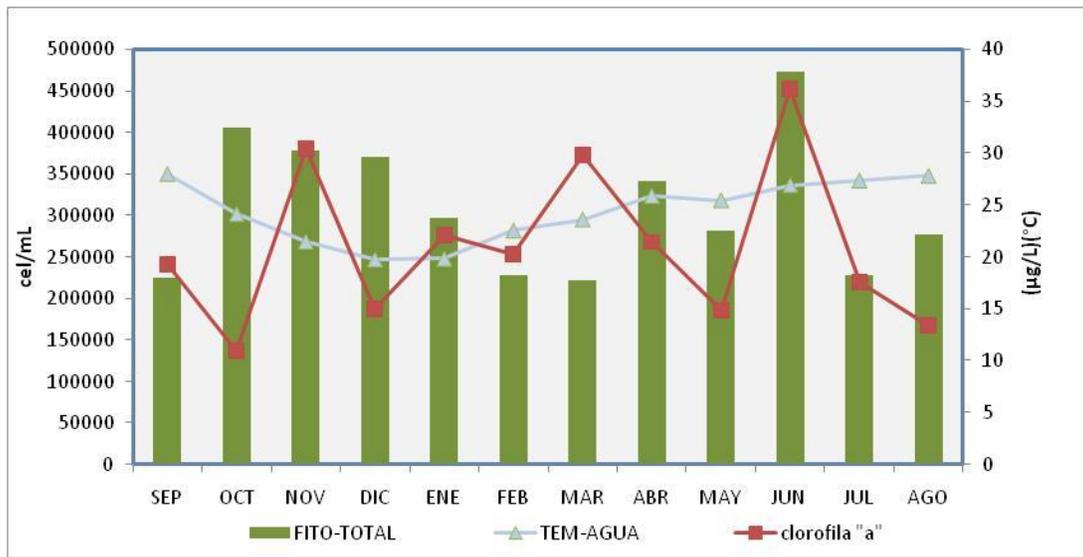


Fig. 10. Relacion entre la clorofila "a" y la abundancia del fitoplancton.

Se identificaron un total de 69 especies de fitoplancton representado por cinco divisiones (Figura 11): Chlorophyta con 68 % (26 especies), Cyanophyta con 29 % (18 especies), Bacillariophyta con 1 % (20 especies), Euglenophyta con 2% (4 especies) y Xanthophyta que aunque presenta el <1%, se encontró una especie que la representaba (*Goniochloris sculpta*).

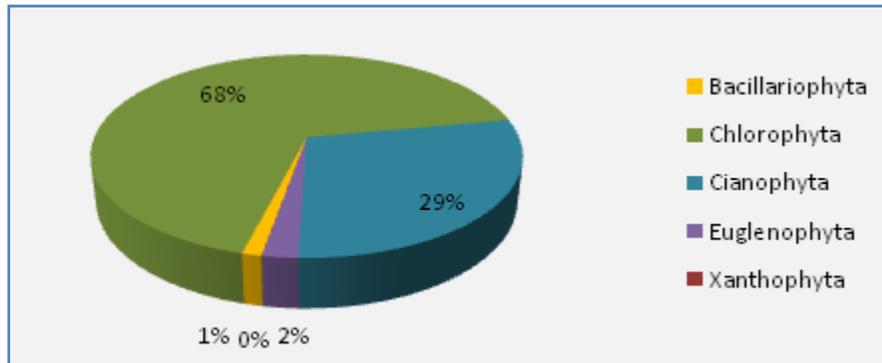


Fig. 11. Proporción de las principales divisiones fitoplanctónicas registradas en el sistema "Huitchila"

Las clorofitas son los organismos que aportan la mayor parte de la clorofila "a" presente en el sistema, la abundancia de estos organismos cambio a lo largo del estudio pero siempre se mantuvo como la división más abundante (figura 12). Se realizó la prueba para comparar la abundancia del fitoplancton y se obtuvo que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos estaciones (t-student = -0.217275 P-Valor = 0.8283).

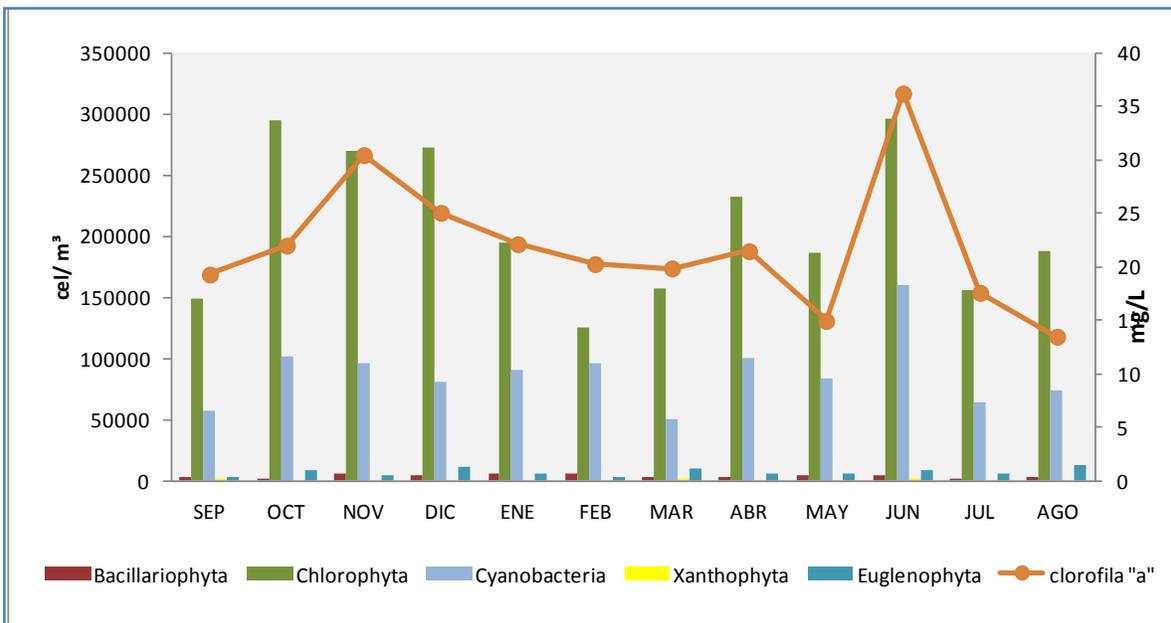


Fig. 12. Variación temporal de cada uno de los grupos fitoplanctónicos



Las especies con más abundancia que se registró en el sistema acuático son mencionadas en la figura 13.

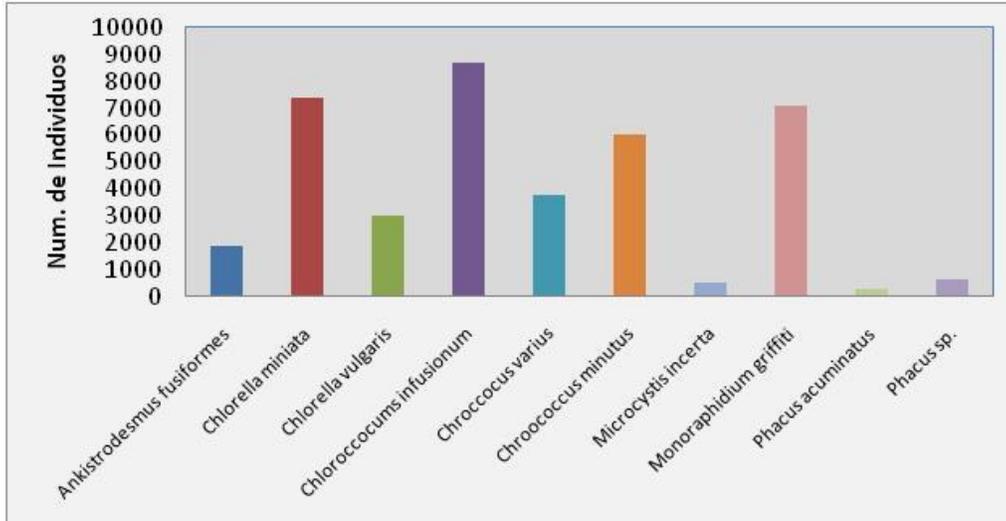


Fig.13. Especies que presentaron mayor abundancia durante el estudio

Asimismo se aprecia en las siguientes figuras el comportamiento de cada una de las especies de manera temporal.

En la figura 14 se observa la variación en las Bacilariofitas la cual está dada mayormente por las especies de *Fragilaria sp.* y *Navicula sp.*, teniendo su mayor representatividad en los meses de Noviembre y Diciembre.

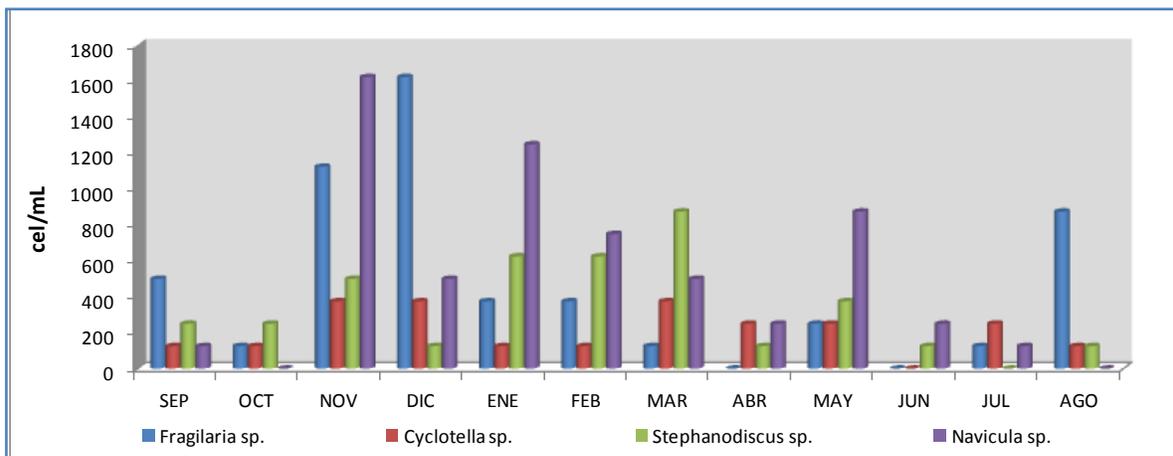




Fig. 14. Variación temporal de las principales especies de Bacillariophyta en “Huitchila”, Morelos

En la figura 15 la variación en las clorofitas está dada principalmente por *Chlorococums infusionum*, siendo el más representativo; sin embargo, también se puede apreciar que las demás especies tuvieron una fuerte presencia durante todo el estudio, presentando una tendencia a aumentar en época de lluvias y a disminuir en época de secas frías.

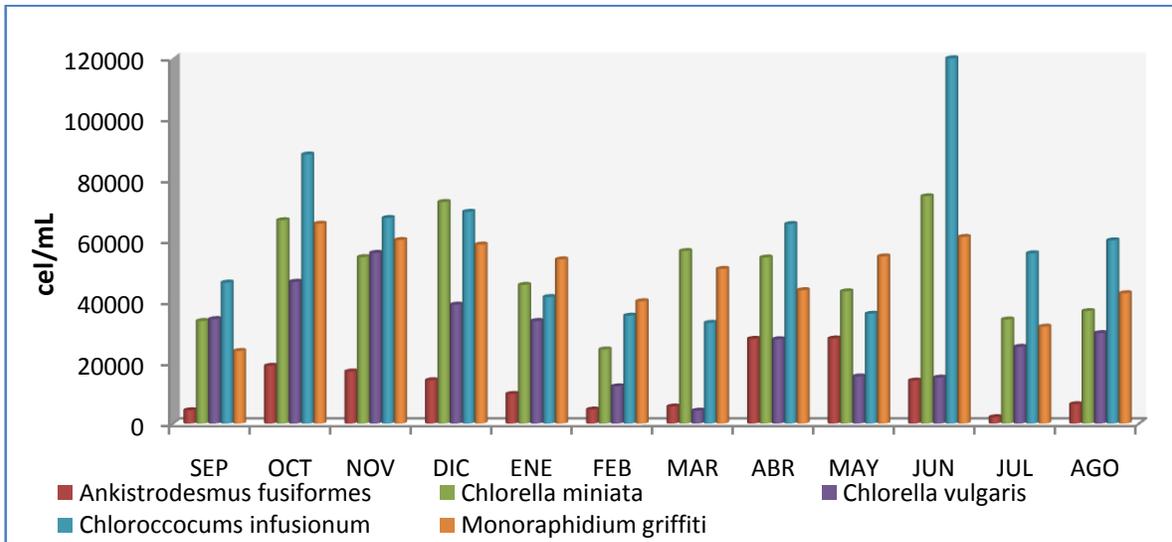


Fig. 15. Variación temporal de las principales especies de Chlorophyta en “Huitchila”, Morelos

En la figura 16 se muestra el comportamiento de la cianofitas en las que la especie más representativa fue *Chroococcus minutus*, seguido de *Chroococcus varius* y en menor abundancia *Merismopedia tenuisima*, *Microcystis aeruginosa* y *Microcystis incerta*.

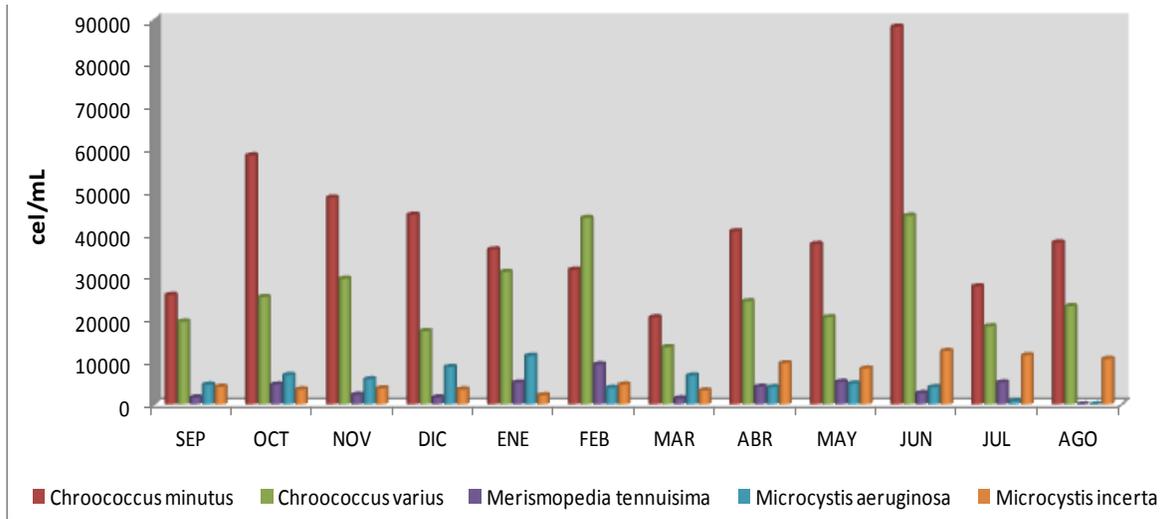


Fig. 16. Variación temporal de las principales especies de Cyanophycota en “Huitchila”, Morelos

En la figura 17 se muestra la variación para las euglenofitas y la especie de mayor representatividad fue *Phacus acuminatus* seguido de *Euglena sp.*

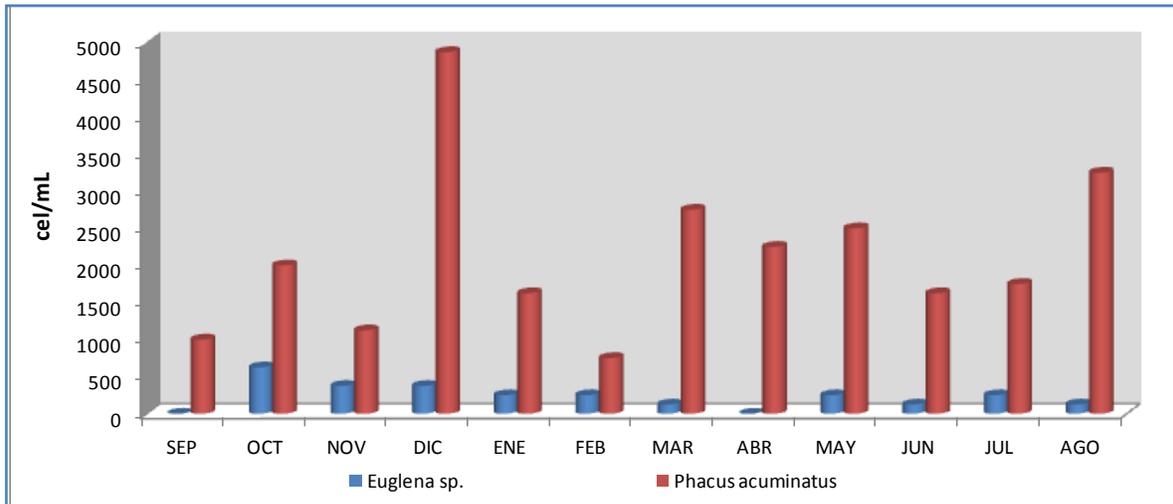


Fig. 17. Variación temporal de las principales especies de Euglenophyta en “Huitchila”, Morelos



ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD

Con respecto al índice de diversidad de Shannon-Wiener para el sistema (Fig. 18), este expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie y el logaritmo de S , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

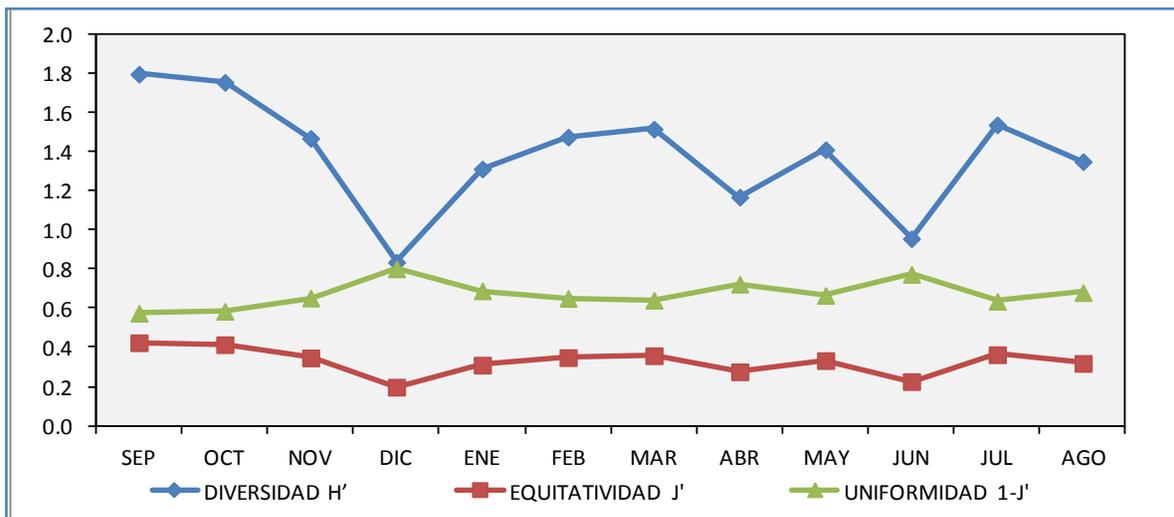


Fig. 18. Comportamiento temporal de los índices de Shannon-Wiener (Diversidad), Pielou (Equitatividad) y uniformidad del fitoplancton en el sistema Huitchila.

El valor promedio con \ln para el índice es 1.353 para E1 y de 1.413 para E2, para ambas estaciones el promedio anual es de **1.383**; por lo que la distribución de las especies es homogénea en el sistema, la tendencia fue observar valores más altos de diversidad durante el periodo de lluvias y baja en la época de secas frías.

Para el índice de equitatividad de Pielou (J') cuyo valor va de 0 a 1.0, de forma que 1.0 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988), se obtuvo un valor promedio anual de **0.32** lo que dice que las especies no son igualmente abundantes en el sistema; y para el valor de $1-J'$ (Uniformidad) se obtuvo un valor promedio anual de **0.67** lo que dice que las especies no están repartidas de manera uniforme en el sistema.



El índice de Simpson (Fig. 19) manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. En este caso el comportamiento se vio muy afectado, ya que la mayor parte del tiempo se varió con la tendencia a disminuir a través del estudio, principalmente durante la época de lluvias por el aporte de agua y el arrastre de materia orgánica, lo que pudo provocar que el índice disminuyera e indicara mayor similitud entre las estaciones, por el proceso de mezcla que se produce durante este época.

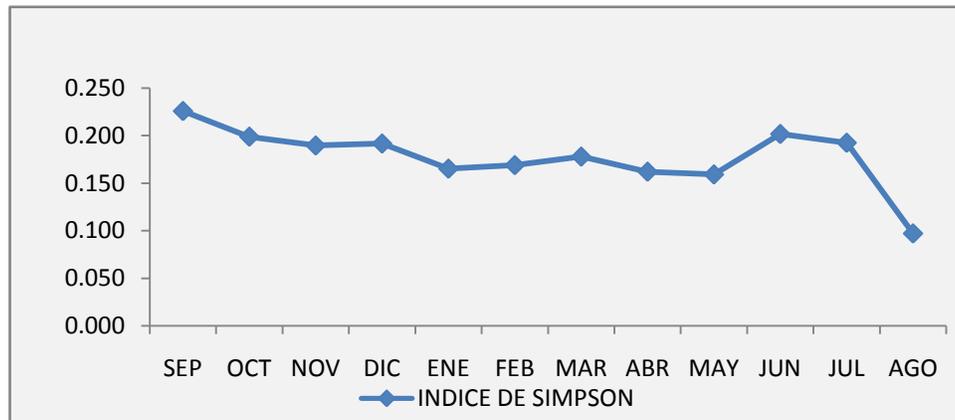


Fig. 19. Comportamiento temporal del índice de Simpson en Huitchila

Con base en los valores obtenidos con el Índice de Shannon-Wiener (Tabla 8) indica que son aguas medianamente contaminadas de acuerdo a Wilhm y Dorris (1968; citados en Dall, 1995) (Tabla 9), se realizó el análisis de Kruskal-Wallis a los parámetros y se obtuvo un valor-P = 0.817361, lo que indica que no hay diferencias entre las estaciones.



Tabla 8. Valores obtenidos del índice Shannon-Wiener para las dos estaciones

MES	ESTACION 1	ESTACION 2
SEP	1.737	1.859
OCT	1.811	1.701
NOV	1.078	1.861
DIC	0.828	0.844
ENE	1.571	1.055
FEB	1.925	1.026
MAR	1.919	1.115
ABR	1.357	0.981
MAY	0.928	1.896
JUN	1.062	0.852
JUL	1.231	1.846
AGO	0.783	1.918

Tabla 9. Relación entre los valores de índice de diversidad con la contaminación del agua
(Wilhm y Dorris, 1968 citados en Dall, 1995)

VALOR DE ÍNDICE DE SHANNON Y WIENER	INTERPRETACIÓN
$H' > 3$	Aguas limpias
$H' = 2-3$	Aguas ligeramente contaminadas
$H' = 1-2$	Aguas medianamente contaminadas
$H' = 0-1$	Aguas fuertemente contaminadas



LISTADO FICOLOGICO DEL SISTEMA "HUITCHILA"

En la tabla 10 se muestra la clasificación taxonómica de los organismos fitoplanctónicos registrados para el sistema Huitchila, donde se pueden observar las cinco divisiones reportadas, además de la clase, género y especie.

Tabla 10. Clasificación taxonómica de los organismos fitoplanctónicos registrados

DIVISION	CLASE	GENERO	ESPECIE - DESCRIPTOR
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cocconeis	<i>Cocconeis sp.</i> - Ehrenberg. (1838)
		Cymbella	<i>Cymbella sp. 2</i> - C. A. Agardh
			<i>Cymbella sp. 1</i> C. - A. Agardh
		Ephitemia	<i>Ephitemia sp.</i> - Kütz ,1849
		Fragilaria	<i>Fragilaria capucina</i> - Desmazière(1825)
			<i>Fragilaria sp. 1</i> - Lyngbye
			<i>Fragilaria sp. 2</i> - Lyngbye
		Gomphonema	<i>Gomphonema sp. 1</i> - Ehrenberg
			<i>Gomphonema sp. 2</i> - Ehrenberg, C.G. (1838)
		Navicula	<i>Navicula sp. 1</i> - Bory
	<i>Navicula sp. 2</i> - Bory		
	<i>Navicula sp. 3</i> - Bory		
	Nitzschia	<i>Nitzschia obtusa</i> - W. Smith	
		<i>Nitzschia sp.</i> - Hass	
	Pinnularia	<i>Pinnularia sp.</i> - Ehrenberg 1843	
	Surirella	<i>Surirella sp.</i> - Turpin	
Coscinodiscophyceae	Melosira	<i>Melosira sp.</i> - C. Agardh, 1824	
Coscinodiscophyceae	Cyclotella	<i>Cyclotella sp.</i> - (Kütz) de Brebisson	
Coscinodiscophyceae	Stephanodiscus	<i>Stephanodiscus sp.</i> - Ehrenberg 1846	
Fragilariophyceae	Synedra	<i>Synedra sp.</i> - Ehrenberg	



Continuación Tabla 10. Clasificación taxonómica de los organismos fitoplanctónicos registrados.

DIVISION	CLASE	GENERO	ESPECIE - DESCRIPTOR
Chlorophyta	Chlorophyceae	Actinastrum	<i>Actinastrum sp.</i> - Lagerheim, 1882
		Ankistrodesmus	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> - Corda, 1838
		Characium	<i>Characium obtusum</i> - A. Braun In Kuetzing, 1849
		Chlamydomona	<i>Chlamydomona incerta</i> - Pascher
		Chlorella	<i>Chlorella miniata</i> - (Naegeli) Oltmanns, 1904
			<i>Chlorella vulgaris</i> - Beijerinck, 1890
		Chlorococum	<i>Chlorococums infusionum</i> - (Schränk) Meneghini, 1842
		Closterium	<i>Closterium lunula</i> - (O. F. Mueller) J. Ralfs, 1848
			<i>Closterium turgidum</i> - Ehrenberg
		Coelastrum	<i>Coelastrum microporum</i> - Nageli, 1849
			<i>Coelastrum sp.</i> - Nageli, 1849
		Cosmarium	<i>Cosmarium sp.</i> - Ralfs, 1848
		Crucigenia	<i>Crucigenia fenestrata</i> - (Schaarschm) Schaarschm
			<i>Crucigenia quadrata</i> - Morren, 1850
		Desmococcus	<i>Desmococcus viridis</i> - F. Brand, 1925
		Kirchneriella	<i>Kirchneriella sp</i> - Schmidle, 1893
			<i>Kirchneriella lunaris</i> - (Kirchner) Moebius
			<i>Kirchneriella contorta</i> - (Schmidle) Bohlin, 1893
		Microspora	<i>Microspora amoena</i> - (Kuetzing) Rabenhorst
		Monoraphidium	<i>Monoraphidium griffithi</i> - (M. J. Berkeley) Komarkova-legn.
Oocystis	<i>Oocystis sp.</i> - Naegeli Ex A. Braun, 1855		
Ptotococcus	<i>Protococcus sp.</i> - C. A. Agardh, 1824		
spirogyra	<i>Spirogyra tenuissima</i> - (Hassall) Kützing 1849		
Staurastrum	<i>Staurastrum sp.</i> - Meyen Ex J. Ralfs, 1848		
Teraedron	<i>Tetraedron regulare</i> - kuetzing, 1845		
Tetraspora	<i>Tetraspora sp.</i> - Link Ex Descaux, 1909		



Continuación Tabla 10. Clasificación taxonómica de los organismos fitoplanctónicos registrados.

DIVISION	CLASE	GENERO	ESPECIE - DESCRIPTOR	
Cyanophyta	Cyanophyceae	Anabaena	<i>Anabaena aequalis</i> - Borge, 1907	
		Anabaenopsis	<i>Anabaenopsis elenkenii</i> - Miller, 1923	
		Aphanocapsa	<i>Aphanocapsa elachista</i> - West & G.S.West 1894	
	Cyanophyceae	Myrocystis		<i>Microcystis incerta</i> - (Lemmernann) Crow
				<i>Microcystis aeruginosa</i> - (Kützing) Lemmermann, 1907
		Chroococcus		<i>Chroococcus varius</i> - A. Brown
				<i>Chroococcus minutus</i> - (Kützing) Nägeli 1849
		Merismopedia		<i>Merismopedia elegans</i> - A. Br. In Kutz, 1849
				<i>Merismopedia glauca</i> - (Ehrenberg) Naegeli
				<i>Merismopedia tenuisima</i> - Lemmermann 1898
		Nostoc		<i>Nostoc caeruleum</i> - Lyngbye 1819
		Phormidium		<i>Phormidium fragile</i> - Kützing ex Gomont 1893
		Pleurocapsa		<i>Pleurocapsa</i> sp. - Thuret, 1885
	Rivularia		<i>Rivularia</i> sp. - Agardh, 1886 Ex Bornet and Flahault	
	Chlorophyceae	Scenedesmus		<i>Scenedesmus abundans</i> - (O. Kirchner) Chodat, 1913
				<i>Scenedesmus acuminatus</i> - (Lagerheim) Chodat 1902
			<i>Scenedesmus arcuatus</i> - Lagh. Chodat	
			<i>Scenedesmus falcatus</i> - Chodat 1894	
Euglenophyta	Euglenoidea	Euglena	<i>Euglena deses</i> - C.G. Ehrenberg, 1838	
			<i>Euglena spirogyra</i> - Ehrenberg, 1838	
	Euglenophyceae	Phacus	<i>Phacus acuminatus</i> - Skvortzow, 1928	
			<i>Phacus curvicauda</i> - Swirenko 1915	
Xanthophyta	Xanthophyceae	Goniocloris	<i>Goniochloris sculpta</i> - Geitler, 1928	



DIAGRAMA DE OLMSTEAD-TUCKEY DE LAS ESPECIES FITOPLANCTONICAS EN HUITCHILA

Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tuckey (figura 20), las especies se agruparon según su abundancia y frecuencia en cuatro categorías: Raras, Ocasionales, Constantes y Dominantes. Algunas de las especies raras fueron *Euglena spirogyra*, *Scenedesmus arcuatus* y *Chlamydomona incerta*.; como ocasionales tenemos a *Desmococcus viridis*, como constantes a *Cyclotella sp.*, *Fragilaria pinnata*. y *Stephanodiscus sp.*, y por último, las dominantes se encuentran representadas por *Chlorococum infusioformum*, *Chlorella miniata*, *Monoraphidium griffithii*, *Microcystis incerta*, *Phacus sp.*, *Kishneriella irregularis*. y *Ankistrodesmus fusiformes*.

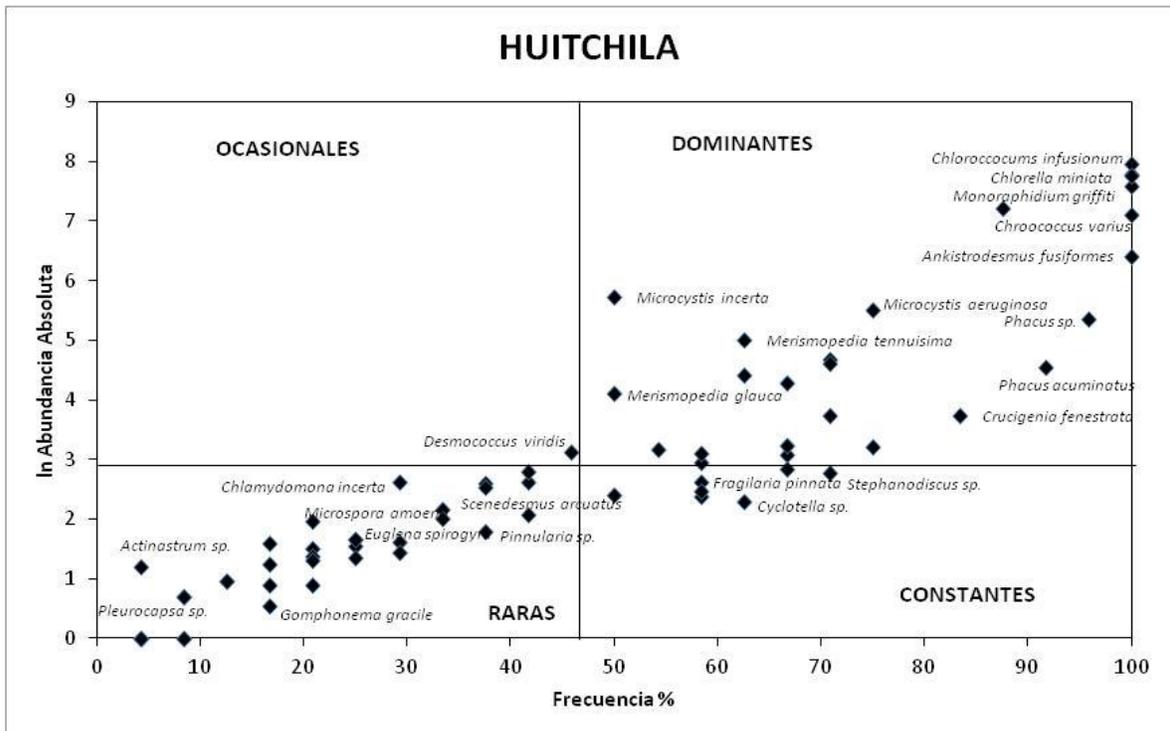


Fig. 20. Diagrama de asociación de Olmstead-Tuckey para el sistema "Huitchila"

Para que esta jerarquización sea más clara se anexa la Tabla 11, donde se enlistan las especies que comprenden la clasificación para el sistema "Huitchila".



Tabla 11. Composición y categoría (D=Dominantes, C= Constantes, O=Ocasionales y R=Raras) del fitoplancton del sistema "Huitchila"

ESPECIE	CATEGORIA	ESPECIE	CATEGORIA
<i>Anabaena aequalis</i>	D	<i>Characium obtusum</i>	R
<i>Ankistrodesmus fusiformes</i>	D	<i>Coelastrum sp.</i>	R
<i>Chlorella miniata</i>	D	<i>Cyclotella sp.</i>	R
<i>Chlorella vulgaris</i>	D	<i>Chlamydomona incerta</i>	R
<i>Chlorococccus infusionum</i>	D	<i>Coelastrum astroideum</i>	R
<i>Chroococcus minutus</i>	D	<i>Coelastrum microporum</i>	R
<i>Chroococcus varius</i>	D	<i>Cosmarium sp.</i>	R
<i>Closterium lunula</i>	D	<i>Crucigenia quadratta</i>	R
<i>Cocconeis placentula</i>	D	<i>Cymbella sp.</i>	R
<i>Crucigenia fenestrata</i>	D	<i>Cymbella sp.2</i>	R
<i>Fragilaria sp.</i>	D	<i>Ephitemia sp.</i>	R
<i>Kirchneriella irregularis</i>	D	<i>Euglena spirogyra</i>	R
<i>Kirchneriella lunaris</i>	D	<i>Fragilaria pinnata</i>	R
<i>Merismopedia elegans</i>	D	<i>Gomphonema abbreviatum</i>	R
<i>Merismopedia glauca</i>	D	<i>Gomphonema gracile</i>	R
<i>Merismopedia tenuisima</i>	D	<i>Goniocloris sculpta</i>	R
<i>Microcystis aeruginosa</i>	D	<i>Kishneriella contorta</i>	R
<i>Microcystis incerta</i>	D	<i>Melosira sp.</i>	R
<i>Monoraphidium griffiti</i>	D	<i>Microspora amoena</i>	R
<i>Navicula sp.</i>	D	<i>Navicula sp.3</i>	R
<i>Phacus acuminatus</i>	D	<i>Nitzschia sp.</i>	R
<i>Phacus sp.</i>	D	<i>Nitzschia obtusa</i>	R
<i>Phormidium fragile</i>	D	<i>Nostoc sp.</i>	R
<i>Protococcus sp.</i>	D	<i>Oocystis sp.</i>	R
<i>Rivularia sp.</i>	D	<i>Pinnularia sp.</i>	R
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	D	<i>Pleurocapsa sp.</i>	R
<i>Closterium turgidum</i>	C	<i>Scenedesmus arcuatus</i>	R
<i>Euglena sp.</i>	C	<i>Scenedesmus falcatus</i>	R
<i>Fragilaria sp.2</i>	C	<i>Spirogyra tenuissima</i>	R
<i>Navicula sp.2</i>	C	<i>Staurastrum sp.</i>	R
<i>Stephanodiscus sp.</i>	C	<i>Surirella campylodiscus</i>	R
<i>Desmococcus viridis</i>	O	<i>Synedra acus</i>	R
<i>Actinastrum sp.</i>	R	<i>Tetraedron regulare</i>	R
<i>Anabaenopsis elenkenii</i>	R	<i>Tetraspora sp.</i>	R
<i>Aphanocapsa elachista</i>	R		



INDICE DEL ESTADO TRÓFICO (IET) PARA EL SISTEMA “HUITCHILA”

En la Tabla 12 se muestra la variación anual en el índice del Estado Trófico en Huitchila, se observa que la visibilidad al disco de Secchi y la concentración en el fósforo total son los que más afectan el IET y los valores se encuentran en un valor promedio de 74.32, por lo que se puede decir que es un sistema estrófico con tendencias a ser hipereutrófico, los valores de la visibilidad al disco de Secchi aumentan ligeramente en los meses de secas y disminuyen en la época de lluvias.

Tabla 12. Variación del Índice del Estado Trófico de Huitchila

ESTADO TRÓFICO DE HUITCHILA				
	OECD			CARLSON Y SIMPONS
	DISCO DE SECCHI	CLOROFILA a	P TOTAL	Promedio TSI
SEP	69.29	59.63	86.81	71.91
OCT	72.33	54.12	88.04	71.50
NOV	74.13	64.11	97.29	78.51
DIC	71.83	57.20	80.14	69.73
ENE	72.33	60.98	82.80	72.04
FEB	70.73	60.12	86.03	72.29
MAR	72.33	63.92	97.80	78.02
ABR	74.13	60.68	92.69	75.84
MAY	74.52	57.13	96.38	76.01
JUN	75.13	65.81	86.40	75.78
JUL	67.97	58.72	91.91	72.87
AGO	67.36	56.12	89.49	70.99



CARACTERIZACION DEL SISTEMA HUITCHILA

Para caracterizar el sistema con base en la clasificación propuesta por Lewis (1983), se llevó a cabo un muestreo de 24 horas conocido como ciclo nictemeral, para evaluar a lo largo de la columna de agua la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto y así poder identificar si se presentaba una estratificación en el sistema durante este ciclo; este muestreo se realizó en época de secas como de lluvias obteniendo lo siguiente:

CICLO NICTEMERAL EN LA EPOCA DE SECAS

En la figura 21 se puede observar una estratificación que comienza a las 12:00 h, hora en la que la luz del sol penetra de manera directa en la columna de agua y que continúa hasta las 3:00 h; donde la diferencia de temperatura es de más de 1 grado centígrado a la profundidad de 0.5 y 1 m donde se presenta la termoclina en este tipo de cuerpos de agua ubicado en condiciones cálidas. Este sistema se ve afectado por ráfagas de viento debido a la zona en la que se encuentra formando secas que afectan la mezcla del sistema creando convección en el agua e interrumpiendo la estratificación por periodos cortos de tiempo, por lo que es clasificado como un cuerpo de agua cálido polimíctico continuo. Lewis, (1983) menciona que para esta clasificación un cuerpo de agua durante el día se estratifica y en la noche se realiza una mezcla por diferencias de temperatura.

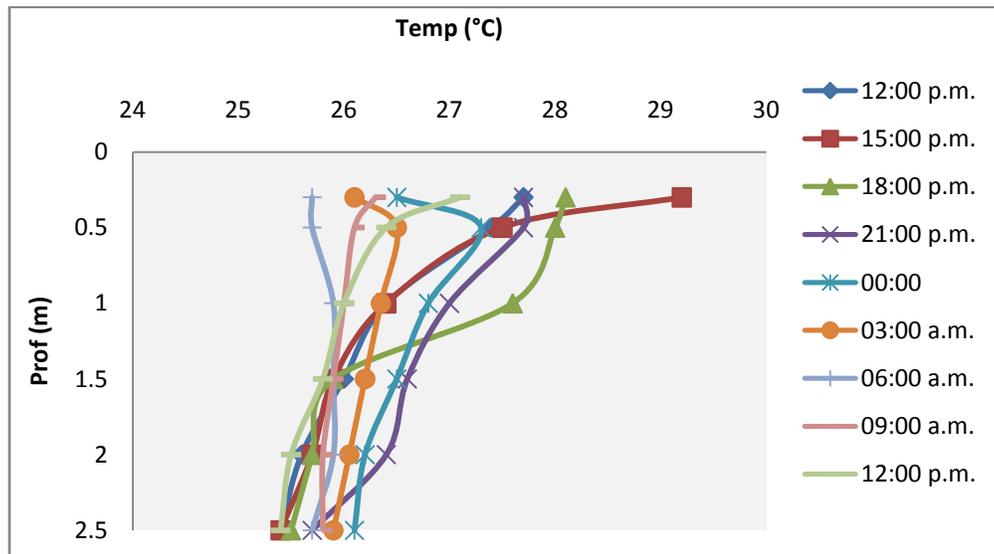


Fig. 21. Ciclo nictemeral de la temperatura del agua en el sistema Huitchila el 9 de abril de 2011



En la figura 22, la concentración del oxígeno disuelto mostró una curva de tipo clinógrada, en la que se observa como el oxígeno va disminuyendo de la superficie al fondo, llegando a formar curvas heterógradas positivas entre la 18:00 h y 21:00 h. Se observa también la disminución de la concentración de oxígeno de la superficie al fondo ocurriendo un máximo de 8.06 mg/L a las 12:00 h del día y una concentración mínima de 3.15 mg/L a las 12:00 de la noche, que es cuando la actividad fotosintética es nula durante la noche y la concentración del oxígeno se ve disminuido por el consumo de los organismos que dependen de él.

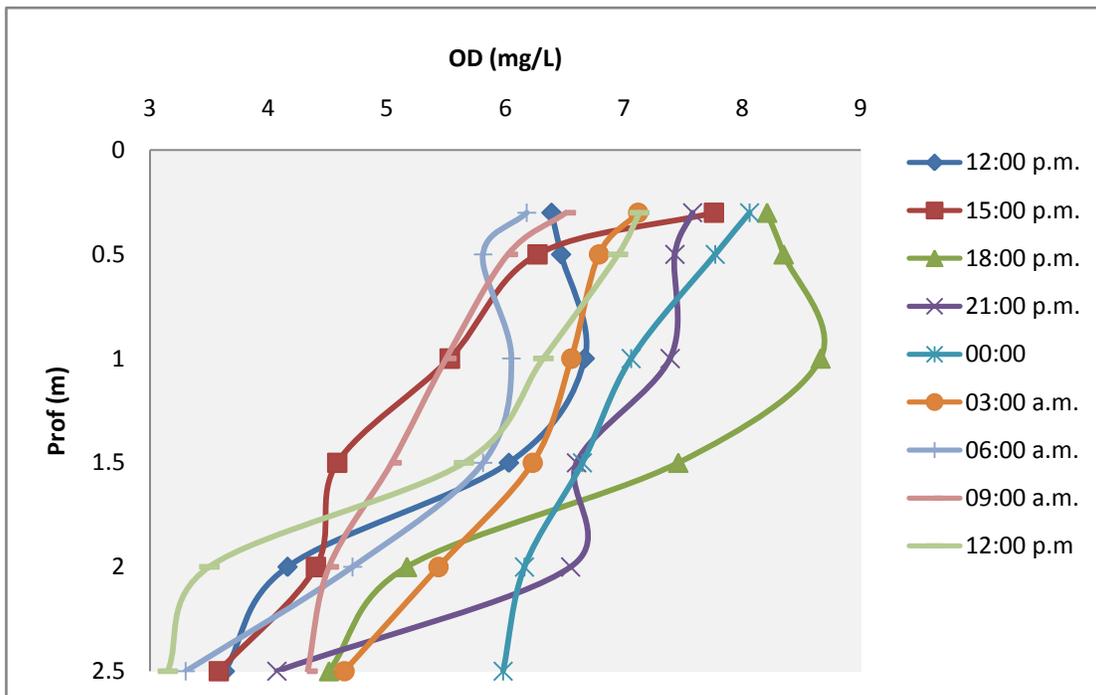


Fig. 22. Ciclo nictemeral del oxígeno disuelto en el sistema Huitchila, 9 de abril de 2011.



CICLO NICTEMERAL EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS

En la figura 23 se puede observar la estratificación que comienza a las 15:00 y termina a las 21:00 h, a partir de esta hora se inicia un periodo de mezcla, lo cual se debe a la disminución en la temperatura del agua durante la noche por la pérdida de calor para volver a aumentar y mostrar otra estratificación a las 9:00 h de la mañana siguiente; las lluvias tienen un papel importante en la estratificación, ya que fue el factor que interrumpió su formación.

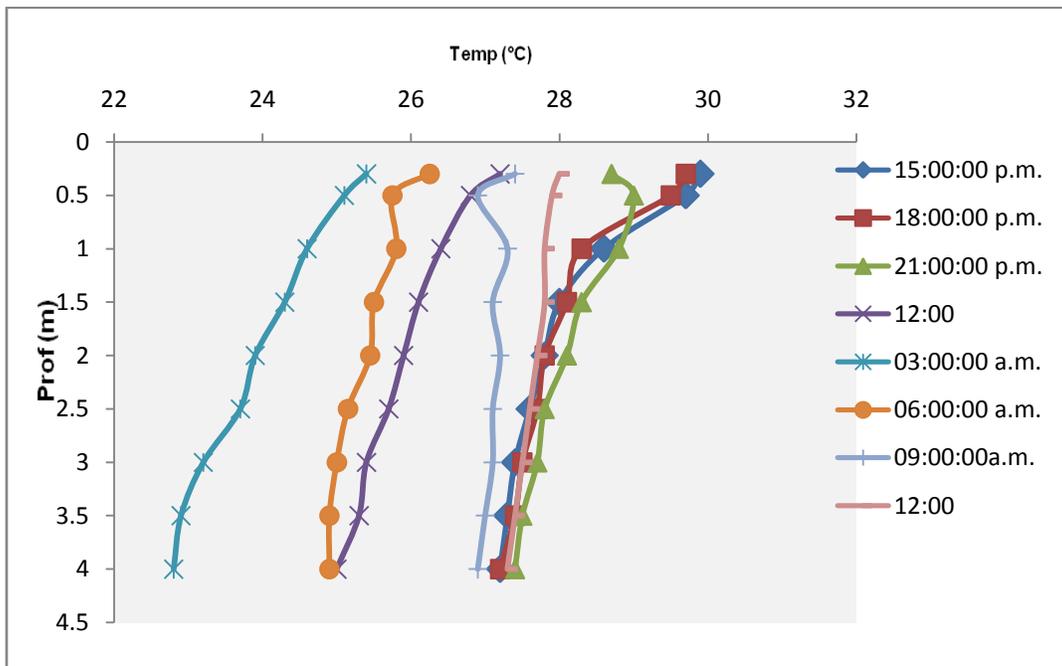


Fig. 23. Ciclo nictemeral de la temperatura en el sistema Huitchila, 26 de agosto de 2011.

En la figura 24 se observa que el oxígeno a las 15, 18 y 21:00 h presentó curvas heterógradas positivas, mientras que entre las 24, 3, 6, 9 y 12 h del día siguiente mostró curvas clinógradas, esto se da principalmente por el efecto de las lluvias que rompen el periodo de estratificación y realizan mezcla en el sistema recuperando su estratificación durante el mismo día, se obtuvo el máximo de oxígeno a las 9:00 h del día 27 con un valor máximo de 13.77 mg/L y un valor mínimo de 0.78 mg/L a las 12 h.

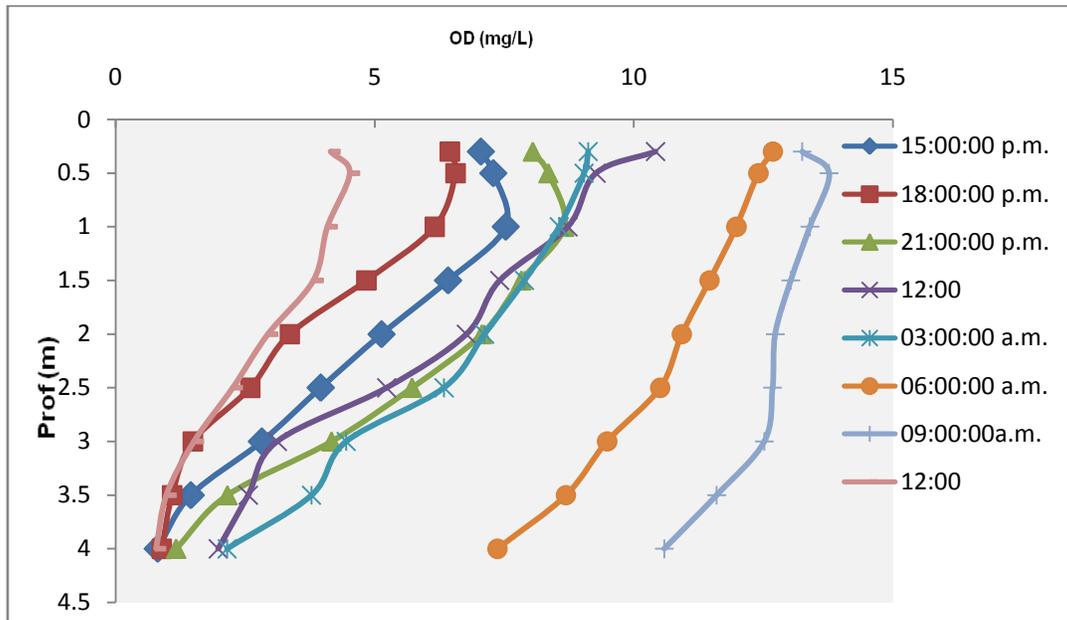


Fig. 24. Ciclo nictemeral del oxígeno disuelto el sistema Huitchila, 26 de agosto de 2011.

Si se hace una comparación de los dos ciclos realizados (secas y lluvias), se puede decir que el sistema registra estratificaciones en la época de secas interrumpiéndolas en las noches, y en la temporada de lluvias existe una pequeña termoclina de poca duración por lo que se considera un periodo de mezcla continuo. Por lo tanto, este sistema se comporta como un cuerpo de agua polimíctico cálido continuo en ambas épocas del año.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

A todos los datos físicos, químicos y abundancia del fitoplancton, se les aplicó el análisis estadístico multivariado denominado Análisis de Componentes Principales (ACP) que es una técnica estadística de síntesis de la información o de reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, el objetivo es reducir el número total de las variables perdiendo la menor cantidad de información posible, que expliquen la mayor variabilidad en los datos. En este caso, 6 componentes se han extraído (Tabla 13), puesto que los componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1.0. En conjunto ellos explican 89.436 % de la variabilidad en los datos originales.

Tabla 13. Análisis de Componentes principales para el sistema Huitchila

<i>Componente</i>		<i>Porcentaje de</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Número</i>	<i>Eigenvalor</i>	<i>Varianza</i>	<i>Acumulado</i>
1	5.68604	28.430	28.430
2	3.76019	18.801	47.231
3	2.78004	13.900	61.131
4	2.48744	12.437	73.569
5	1.93264	9.663	83.232
6	1.24088	6.204	89.436
7	0.804366	4.022	93.458
8	0.70269	3.513	96.971
9	0.315925	1.580	98.551
10	0.177857	0.889	99.440
11	0.11193	0.560	100.000
12	4.85763E-16	0.000	100.000
13	4.08737E-16	0.000	100.000
14	1.19363E-16	0.000	100.000
15	1.07086E-16	0.000	100.000
16	0.0	0.000	100.000
17	0.0	0.000	100.000
18	0.0	0.000	100.000
19	0.0	0.000	100.000
20	0.0	0.000	100.000



Posteriormente, se tomó en cuenta las variables que se ubican en cada uno de los componentes elegidos y el peso que presentaron como factor de influencia en la relación de las variables (Tabla 14).

En el primer componente esta la dureza (0.30), el pH (0.34) y los sulfatos (0.32) relacionados directamente con la evaporación (0.31), generada por el factor climático; en el segundo componente los nitratos (-0.33) que se ven afectados de manera inversa por la precipitación (0.46), es decir, a mayor precipitación menor concentración de nitratos; en el tercer componente la transparencia (0.29), alcalinidad (0.25), nitritos (0.43) y oxígeno disuelto (0.43) tuvieron una relación directa por efecto del factor climático, en el cuarto componente el fósforo total (0.34), el fitoplancton (0.44) y los silicatos (0.44) también están afectados de manera directa por el factor climático, en el quinto componente la conductividad (-0.52) y los sólidos totales disueltos (-0.53) tienen relación con el factor edáfico y climático y para el sexto componente los ortofosfatos (0.41) y la conductividad (-0.60) tienen una relación inversa pero también son afectados por el factor edáfico

Tabla 14. Pesos de cada una de las variables en los componentes obtenidos

	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>
	1	2	3	4	5	6
ALCALI TOTAL	0.296735	0.2245	0.259153	0.0596651	-0.108052	0.0420434
AMONIO	0.20319	-0.148899	-0.0436807	-0.127769	0.113507	-0.607857
CONDUCTIVIDAD	0.249868	-0.14638	0.0749784	-0.0118404	-0.527472	0.0364473
DUREZA TOTAL	0.307035	-0.148904	0.277831	0.154856	-0.0275608	0.173106
EVAPORACION	0.316478	0.268237	-0.139307	0.0432766	0.0174183	0.231358
FITO TOTAL	0.0337982	-0.0638371	-0.339667	0.44092	-0.187651	-0.165097
FOSFORO TOTAL	0.25327	0.174151	-0.11163	0.341441	0.00667351	0.0559378
NITRATOS	0.0711295	-0.337838	0.159191	-0.197527	0.0512036	0.0732315
NITRITOS	-0.0531328	-0.265793	0.434392	0.0133455	0.168954	-0.0985365
OD	0.104278	0.0357591	0.435095	0.249028	0.226	0.0800226
ORTOFOSFATOS	-0.200374	-0.175352	-0.322495	0.0547512	0.110778	0.419042
pH	0.340979	-0.0783956	-0.180893	0.0325556	0.223043	-0.113517
PRECIPITACION	-0.0933839	0.468399	0.043158	0.0129927	0.0392	0.015325
SILICATOS	0.110934	-0.0764235	0.128318	0.445836	0.301238	0.159469
SULFATOS	0.324363	-0.0373167	-0.136798	-0.22506	0.245257	-0.204001
TDS	0.244196	-0.13807	0.0626181	-0.0400454	-0.539862	0.0547738
TEMP AMBIENTE	0.288789	0.120673	-0.148464	-0.313425	0.0562315	0.25234
TRANSPARENCIA	-0.181577	0.266858	0.298006	-0.270258	-0.121381	0.0930539



En la figura 25 los componentes están divididos en cuatro cuadrantes, en el superior derecho se encuentran concentrados los nutrientes asociados a los parámetros ambientales ya que la alcalinidad y la concentración de fosforo se ve afectado de manera directa por la evaporación dada por el incremento de la temperatura por ser época de secas cálidas, en la parte superior izquierda se muestran los meses de lluvias y como al haber aumentado en la precipitación aumenta la transparencia en el sistema; en el inferior izquierdo la relación está dada por los meses de secas frías, los ortofosfatos y los compuestos nitrogenados están relacionados a los efectos edáficos debido al arrastre de material de las zonas aledañas que son dedicadas al cultivo y finalmente en el cuadrante inferior derecho se encuentran los componentes relacionados con el factor biológico como el fitoplancton, los silicatos y los compuestos nitrogenados definidos en la época de secas frías.

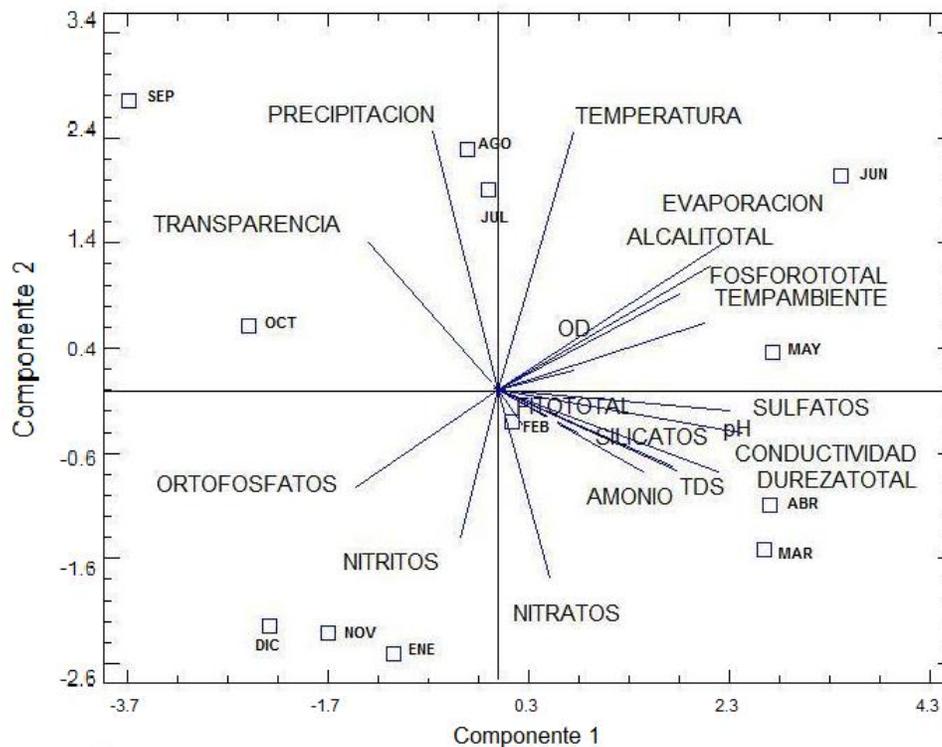


Fig. 25. Representación grafica de los pesos de los componentes.



Otro análisis que complementa al de los componentes principales es el de los Conglomerados o de Agrupamiento (Clúster), donde los muestreos se agrupan por similitud de acuerdo al Dendograma (figura 26) separándolos en dos grupos principales. En el primer grupo se ubican a los meses que corresponden a la época seca fría (NOV, DIC, ENE, FEB y MARZO), aunque el mes de marzo parece ser la etapa de transición entre la época seca fría y el inicio de la seca cálida. En el segundo grupo se encuentran ubicados los meses que corresponde a la época seca cálida y lluvias; este grupo está dividido a su vez en dos sub grupos; en uno de ellos se encuentran los meses de la época seca cálida (ABR, MAY y JUN) con valores mayores de temperatura y evaporación y en el otro, los meses donde se lleva a cabo la época de lluvias (SEP, OCT-2010, JUL y AGO-2011).

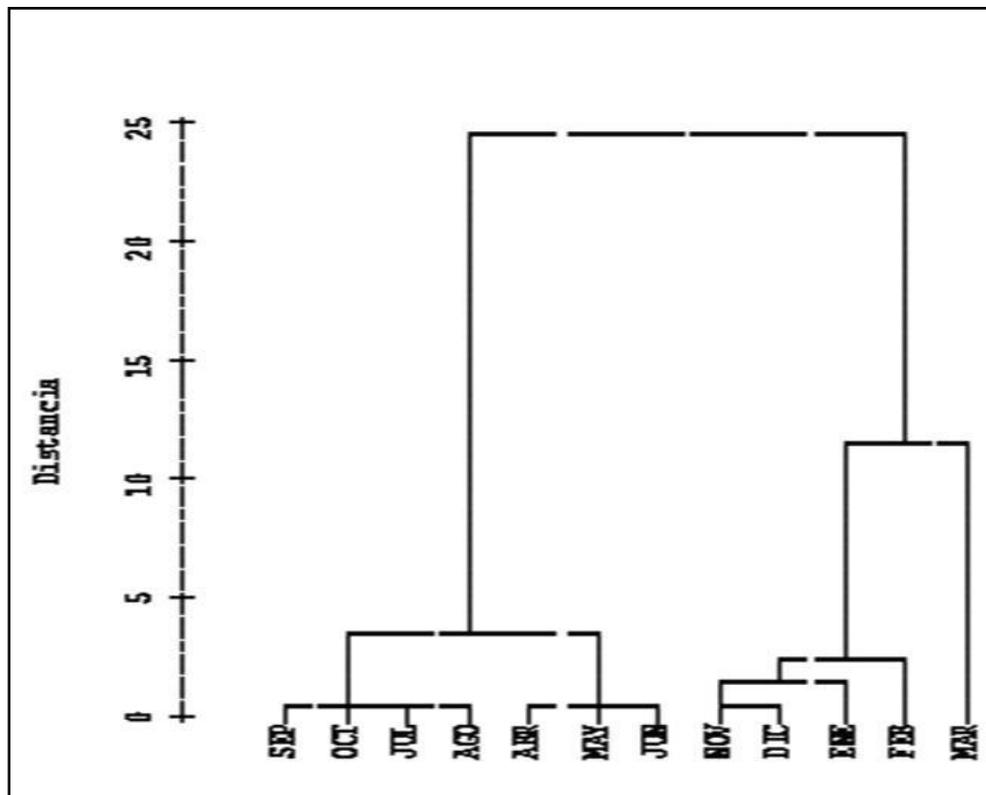


Fig. 26. Dendograma que muestra la asociación de los meses de muestreo para el sistema Huitchila



CORRELACION DE VARIABLES

Los pares de variables que con la prueba de Pearson mostraron correlaciones significativas se encuentran en la siguiente tabla, donde los valores en cada bloque de la tabla muestran un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas para Huitchila y un valor de R que muestra el grado de asociación entre cada par de variables, los valores de -1 a 1, donde los valores en negativo muestran una relación inversamente proporcional. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

Con respecto a la relación entre el fitoplancton total y los nutrimentos (Tabla 15), se observa que el fitoplancton presenta una correlación inversa entre la dureza total y el amonio, indicadores de la productividad del sistema acuático.

Tabla 15. Correlaciones de las variables físicas, químicas y biológicas para el sistema Huitchila

VARIABLES	Valor-p	R
AMONIO - DUR TOTAL	0.0212	0.6533
AMONIO - FITO TOTAL	0.8608	-0.0568
CONDUCTIVIDAD - FITO TOTAL	0.5855	0.1754
DUR TOTAL - FITO TOTAL	0.904	-0.0391
FITO TOTAL - ALC TOTAL	0.7724	-0.0936
FOSF TOTAL - DUR TOTAL	0.0842	0.5184
NITRATOS - AMONIO	0.3652	0.2873
NITRITOS - FITO TOTAL	0.3006	-0.3263
OD - DUR TOTAL	0.0284	0.6293
ORTOFOSFATOS - ALC TOTAL	0.0034	-0.7701
pH - FOSF TOTAL	0.0933	0.506
SILICATOS - ALC TOTAL	0.3545	0.2935
SILICATOS - FOSF TOTAL	0.2222	0.3807
ALC TOTAL - pH	0.3661	0.2868



DISCUSION

El uso del agua está en función de los siguientes factores: el nivel de desarrollo económico, el tamaño de la población y las peculiaridades fisiográficas (clima principalmente) del territorio en cuestión (Shicklomanov, 1998). En los últimos años se ha acelerado la construcción de presas y bordos de diferentes tamaños y usos, no solamente sobre corrientes permanentes, sino también sobre cualquier caudal que permita embalsar el agua para satisfacer las necesidades de la población, como puede ser para el riego de cultivos, la generación de energía eléctrica, el control de avenidas, el abastecimiento de agua potable y otros fines (Arredondo-Figueroa *et al.* 1992; García-Calderón *et al.*, 2002).

A estos sistemas lénticos o embalses artificiales se les puede considerar como presas o bordos, en donde la mayor diferencia que existe en uno y otro, es que la presa cuenta con una estructura denominada cortina de agua, tiene mayor tamaño que el bordo y generalmente son más profundas (Wetzel, 1981); mientras que en el bordo presenta una cortina rústica construida de tierra o mampostería, generalmente está constituido por aguas turbias debido a los sólidos en suspensión y a la materia orgánica (Hernández-Avilés *et al.*, 2002).

Como se sabe, el funcionamiento y la dinámica de un cuerpo de agua están regidos por tres componentes, el edáfico, climático y morfométrico (Hernández-Avilés *et al.* 2002). La morfometría constituye el área, la forma y la profundidad del sistema lacustre, además de ser uno de los componentes que actúa de manera directa sobre los parámetros físicos, químicos y los organismos (Wetzel, 1981).

Tebbutt (2002) menciona que para obtener una imagen completa de las características del embalse, es necesario realizar el análisis de la calidad del agua para determinar sus características físicas, químicas y biológicas, es por esto que se evaluaron 19 parámetros en el sistema abarcando la dimensión abiótica que atiende las tres áreas: morfométrico, edáfico y climático y la dimensión biótica.

El bordo Huitchila se puede clasificar como micro-reservorio por ser un sistema artificial que ocupa un área pequeña de extensión (11.21 ha) y se le puede considerar embalse somero con profundidad máxima de 5.95 metros y profundidad promedio de 3.2 metros, tal como lo menciona Hernández-Avilés *et al.*, (2007).



El cuerpo de agua conocido como Huitchila se localiza en una zona marcada por la temporada de secas y lluvias (figura 2) que tienen influencia directa con el proceso de concentración y dilución de los nutrientes del sistema (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992). Mazarí-Hiriart *et al.*, (2007) mencionan que para los sistemas marcados estacionalmente, se presenta un proceso de concentración de nutrientes; en los resultados obtenidos se pudo constatar esto, ya que en varios parámetros (como el amonio, dureza, alcalinidad, conductividad, nitratos y fósforo) se produjo una concentración durante la época de secas cálidas.

Como se observó, el agua del sistema Huitchila tiene su mayor uso para el riego, lo cual da como consecuencia un impacto de considerable valor a las condiciones ambientales de este sistema. De manera general se puede decir que este sistema es somero y de poca profundidad durante el año, aumentando de manera importante en época de lluvias y reduciendo su nivel y profundidad durante la etapa de concentración. Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, (1992) mencionan que el uso de estos sistemas, también denominados jagüeyes, bordos, estanques “rústicos” o microreservorios, se ha diversificado al ser empleados también como abrevaderos para el ganado y para actividades de desarrollo de acuicultura.

Por su comportamiento térmico, Hernández-Avilés y García (2007) mencionan que los cuerpos de agua tropicales como el sistema Huitchila, puede ser clasificado como polimícticos cálidos y que en estos embalses existe entre la superficie y un metro de profundidad del agua una pequeña diferencia de temperatura de 1.5 °C, característica que fue registrada en este cuerpo acuático. Para este caso, Lewis (1983) establece una subdivisión de los cuerpos de agua polimícticos cálidos: polimícticos cálidos discontinuos y continuos, por lo cual el sistema Huitchila se encuentra dentro de los polimícticos cálidos continuos. Hernández-Avilés y García-Calderón (2007b) también mencionan que los cuerpos de agua someros circulan continuamente a lo largo del año incluso en periodos diarios o semanales y encontrarse en latitudes tropicales, ya que México se encuentra en una franja latitudinal del trópico al sub-trópico.

Este cuerpo de agua posee áreas en las que crece abundante vegetación de macrófitas en la zona litoral, lo cual es citado y apoyado por Wetzel (2001). Cabe destacar que el sistema Huitchila está rodeado por campos agrícolas y vegetación que alteran la productividad del sistema lacustre, ya que dicho reservorio recibe grandes aportaciones de nutrientes en relación a su volumen, lo que incrementa su capacidad productiva, que se da principalmente en la época de lluvias, y por ser poco profundo, la columna de agua presenta una alta relación con el sedimento.



Guerrero (1991) y Hernández-Avilés *et al.* (2002) comentan que uno de los factores que determina principalmente el comportamiento de este tipo de sistemas acuáticos es edáfico, el cual se relaciona con los procesos de mineralización y acarreo de materiales alóctonos a la cuenca; además, de acuerdo a Díaz (2007), se presenta una alta evaporación del agua y por acción del viento, se genera un incremento en la turbiedad por remoción de los sedimentos la cual disminuye ligeramente en lluvias e incrementan gradualmente para la temporada de secas frías y cálidas factores como la conductividad, alcalinidad total, dureza total, sólidos totales disueltos y sólidos totales.

En condiciones naturales, la concentración de nutrimentos depende del suelo y la vegetación circundante y un cuerpo acuático puede ser estable y permanecer sin cambios por largos periodos de tiempo. Sin embargo, si cambian las condiciones este equilibrio se modifica y las causas de este tipo de cambios pueden ser los incendios forestales, las inundaciones persistentes y los aportes de animales por medio de las heces y orina (Rheinheimer, 1991), particularmente de las aves, las cuales pueden aportar grandes cantidades de excremento y en el caso de estos sistemas acuáticos (bordos) los aportes de materia orgánica animal provienen principalmente del ganado vacuno, caprino y equino, actividad que en esta zona se da en buena proporción.

Hernández-Avilés *et al.* (2002) mencionan que en la fase de dilución, la concentración del oxígeno se incrementa por efecto de la lluvia y en la etapa de concentración se reduce debido a los procesos de descomposición en la zona adyacente a los sedimentos, donde se incrementa el bióxido de carbono como producto final de la degradación de la materia orgánica; además, de la aportación de los sólidos en suspensión (biogénicos y arcillas), ya que cuando son excesivos reducen la penetración de la luz y por consiguiente limitan la fotosíntesis de las plantas e incrementándose la tasa de descomposición de la materia orgánica hasta llegar a agotarlo en el hipolimnion (González, 1988; Guerrero, 1991; Hernández-Avilés y García, 2007).

Asimismo, la concentración del oxígeno disuelto mostró variaciones estacionales que fueron resultado de las condiciones ambientales y biológicas (4.12 a 16.2 mg/L), ya que en aguas dulces su concentración debe ser de 5.0 mg/L ó 3.5 mg/L (de la Lanza, 1990), por lo cual el sistema se puede considerar que presenta buena oxigenación.

Díaz-Pardo *et al.* (1986) mencionan que un factor importante que determina en cierto grado el comportamiento de la temperatura en la columna de agua es la relación entre temperatura del cuerpo de agua y la del aire, que se manifiestan en el intercambio de calor entre ambas fases. En el sistema la temperatura ambiente osciló entre 20.7 y 30.2 °C, la temperatura más baja se registró en el mes de noviembre y la más alta en febrero,



en cuanto a los meses de julio, agosto y septiembre la temperatura ambiente fue menor que la del agua; sin embargo, se pudo observar que la temperatura del agua presenta un comportamiento general similar al que presenta la temperatura del ambiente. La temperatura ambiente puede ser menor a la del agua debido a que el agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza en romper los puentes de hidrógeno y por su alta capacidad calorífica amortigua la pérdida de calor. La temperatura del agua desciende más lentamente que la de otros líquidos a medida que va liberando energía al enfriarse. Esta propiedad permite al citoplasma acuoso servir de protección para las moléculas orgánicas en los cambios bruscos de temperatura, (Sadava *et al.*, 2009). Otro factor que puede afectar la temperatura ambiental es el viento, el cual se manifiesta constantemente sobre el cuerpo de agua.

Este sistema se caracteriza por presentar periodos de mezcla continuos debido a que es un cuerpo somero favorecido por la acción del viento y por la actividad pesquera, por lo que presenta una remoción constante de materiales y nutrimentos del fondo y como consecuencia una menor transparencia.

Esta transparencia no solo afecta a los organismos del plancton, sino también a los peces los cuales son animales poiquilotermos (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio), altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura) y los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, ya que mientras mayor sea la temperatura, mayor la tasa metabólica y por lo tanto, mayor consumo de oxígeno (Iturra, 2008)

La transparencia del agua tiene dos tipos de efectos: uno sobre el medio y se debe a la dispersión de la luz y el otro actúa de manera mecánica directamente sobre los peces. Al impedir la libre penetración de los rayos solares, la transparencia limita la productividad natural del estanque, lo que a su vez reduce la disponibilidad de alimento (Alamilla, 2009). En este estudio la transparencia fue alta en época de secas y a principios de la época de lluvias y como se trata de un sistema somero, tiene gran afectación en la productividad y en el desarrollo de los organismos.

En cuanto al pH, alcalinidad y dureza total, Navarrete-Salgado *et al.*, (2000) mencionan que los valores obtenidos de dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, pH, temperatura y visibilidad están dentro de los límites de tolerancia para el crecimiento de la tilapia (*Oreochromis*). Con base en esto el sistema Huitchila puede considerarse como ambiente adecuado para el desarrollo de vida acuática, debido a que la mayoría de los organismos toleran cambios de pH dentro del intervalo de 6 a 9 que normalmente se presenta en los ambientes acuáticos (de la Lanza, 1998). Prácticamente la totalidad de sus bases están en



forma de bicarbonatos, así como también tienen relación directa con el pH, las concentraciones de CO_2 , HCO_3^- y CO_3^{2-} , son los principales compuestos químicos que rigen el sistema tampón del reservorio (Boyd, 1979).

El hecho de que en el sistema la concentración de la dureza total en forma de carbonato de calcio no afecte el pH haciéndolo más alcalino (valores por encima de 10), puede deberse a que el CO_2 necesario para mantener en solución tales cantidades tan grandes de carbonato de calcio se está perdiendo en los procesos fotosintéticos de las algas y esto provoca una precipitación masiva de carbonato de calcio; esto se ve reflejado en las rocas que quedaban al descubierto alrededor del sistema cuando el nivel del agua disminuía, ya que presentaban una capa de color blanco probablemente por la sedimentación del carbonato de calcio; además de que los suelos en las zonas aledañas son utilizadas para la siembra de caña y para el desarrollo de este tipo de actividad agrícola se deben de mantener los suelos con un valor de pH de tipo alcalino por lo que en ellos se vierten cantidades de cal que en época de lluvias son arrastrados al sistema.

Las concentraciones de carbonato de calcio y magnesio en el sistema hacen considerarlo como de aguas duras, además de tener una correlación positiva con los principales grupos fitoplanctónicos, las clorofitas y cianofitas. Quiroz-Castelán *et al.* (2004) mencionan que los niveles de fósforo y otros elementos esenciales incrementan con la alcalinidad, por lo que se le puede considerar como un indicador de productividad, por lo que las concentraciones de 200 mg/L de CO_3^{2-} son consideradas óptimas para cultivos piscícolas, resultados que concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo ya que se obtuvo un valor mínimo de 258.6 mg/L y un máximo de 586.59 mg/L.

Relativo a los nutrientes Lara *et al.* (1996) citan que la relación N:P es de 15:1, si disminuye, la escasez de nitrógeno puede limitar la producción primaria como es el caso del sistema Huitchila, pues la concentración de fósforo está por arriba de la del nitrógeno, dando una relación promedio de 0.45:1. En estas condiciones las cianofíceas con heterocistos pueden obtener alguna ventaja para su crecimiento gracias a su capacidad para fijar el N_2 atmosférico. Romero (1999) menciona que la química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento.

Lara *et al.* (1996) señalan que el amonio y los nitritos son los primeros productos de la degradación orgánica efectuada por las bacterias sobre la urea. Las algas ingieren el nitrógeno preferentemente como amonio, a pesar de que su concentración en aguas naturales es baja, en el caso de Huitchila la concentración promedio fue de 0.4083 mg/L, muy por debajo de los presentados por de la Lanza (1990) que plantea que raramente excede a 10 mg/L y en forma frecuente es de 1 mg/L, pero el nitrato es más importante



para su nutrición debido a su abundancia, ya que posterior a la oxidación de los nitritos por las nitrobacterias se forman los nitratos, que sirven como fertilizantes para las plantas (Romero, 1999). En este sentido de la Lanza (1990) indica que los nitritos por ser una especie química intermedia, su concentración suele ser baja, menos de 0.2 mg/L, situación que en este caso es real ya que el valor promedio es de 0.0067 mg/L y un máximo de 0.0148 mg/L, aunque los nitratos también están bajos con un valor promedio de 0.0127 mg/L y un valor máximo de 0.0508 mg/L. Sin embargo, Lara *et al.* (1996) citan que el nitrógeno en forma de amoníaco puede ser nitrificado a nitratos y la nitrificación es más rápida a pH de 7 a 8 (Arredondo y Ponce, 1998) que son los valores que prevalecen en el sistema, ya que fueron en promedio de 8.51 y es por esto que probablemente, el amonio se encuentre en tan bajas concentraciones con valores promedio de 0.4083 mg/L.

Con respecto al fósforo, este puede limitar la productividad primaria de las aguas naturales (Barrera-Escorcia y Wong-Chang, 2007), ya que es ingerido por las células como ortofosfatos ó fósforo reactivo disuelto, pero es una forma lábil que precipita rápidamente formando fosfatos insolubles de calcio y de hierro dependiendo del pH del sistema. Arredondo y Ponce (1998) señalan que por lo general los lodos alcalinos o ácidos absorben más rápido el fósforo, que los ligeramente ácidos o neutros.

Lara *et al.* (1996) citan que el desmesurado aporte de sustancias contaminantes a los sistemas acuáticos, producto de la urbanización y el desarrollo industrial, ha elevado considerablemente los niveles de fósforo originando una creciente eutrofización, que no siempre ha favorecido la producción biótica, sino más bien el crecimiento de especies indeseables, provocando problemas de salud y deterioro del paisaje, ya que como advierte Romero (1999) la descarga de 1 mg de fósforo en un lago, puede permitir la formación de más de 100 g de biomasa fitoplanctónica. Por lo tanto, el proceso de eutrofización es un elemento de gran interés, ya que López-López y Serna-Hernández (1999) mencionan que la eutrofización y azolve en los embalses artificiales se presentan con rapidez, por los múltiples usos al que son sometidos y al manejo inadecuado, de manera que su tiempo de vida útil varía de 10 a 100 años.

Según Hernández-Avilés *et al.* (2002), la concentración de fósforo y nitrógeno se puede elevar por el acarreo de materiales a la cuenca en el periodo de inundación y por la liberación de estos micronutrientes de la materia orgánica a lo largo del año. Guerrero (1991) menciona que los fertilizantes contienen fósforo y nitrógeno que al ser arrastrados a esteros y lagunas provocan un crecimiento desmedido de las especies acuáticas, alterando el equilibrio ecológico. Por otra parte, Ramírez (2008) señala que la temporada



de lluvias es la temporada con mayor concentración de estos elementos, excepto el amonio que tiene su mayor concentración en secas.

En el sistema Huitchila la concentración promedio de sulfatos fue de 77.63 mg/L; según de la Lanza (1990) en el caso de los sulfatos en agua dulce debe tener una concentración de 0.22 mg/L. Si se toma esto en cuenta, Huitchila difiere por mucho con esta concentración ya que es mucho muy baja, con distintas concentraciones en diferentes temporadas en el sistema, las máximas concentraciones se obtuvieron en época de secas.

La concentración promedio de silicatos fue de 30.11 mg/L y su concentración más alta se sitúa en la temporada de secas frías (enero) con 43.1 mg/L y el inicio de la época de lluvias (junio, seguramente por el arrastre) pero se registró una fuerte caída en mes de agosto (probablemente por la dilución) con 10.68 mg/L; es por esto que este elemento está considerado con una fuerte relación con los factores ambientales, pues su incremento está vinculado a los arrastres que se realizan en época de lluvias y entrada de agua; con respecto a las bacilariofitas, estos organismos contienen sílice en su estructura, construidas a partir de la deshidratación y polimerización del ácido silicio. La accesibilidad del sílice tiene entonces una gran influencia sobre la sucesión y la productividad según Wetzel (1981; 2001). Margalef (1983) señala que el aumento de las diatomeas en distintas épocas del año acaba con la reserva de silicio del sistema de la capa trofогénica, por esto existe una baja de este elemento en la época de secas y un aumento en la población de diatomeas, como se puede observar en la Fig. 9.

En cuanto a la clorofila "a", el sistema mantiene una concentración relacionada a la presencia del fitoplancton y López-López y Serna-Hernández (1999) señalan que en latitudes tropicales, como es el caso de nuestra área de estudio, donde la luz y la temperatura son relativamente constantes, las variaciones estacionales del plancton dependen del efecto de las lluvias, la sequía e incluso de la mezcla. El fitoplancton está sujeto a una fuerte influencia estacional y en las zonas tropicales se pueden observar grandes contrastes entre las asociaciones de especies en la época de lluvias y de secas y por lo tanto, la biomasa del fitoplancton parece guardar relación con el aumento y el descenso del nivel de las aguas de un embalse (González *et al.* 2004). Para este caso en la época de lluvias en términos volumétricos, la relación de la abundancia fitoplanctónica con la clorofila fue de 4×10^5 org/L correspondiente a 18.28 $\mu\text{g/L}$, para la época de secas frías fue de 5×10^5 org/L correspondiente a 22.12 $\mu\text{g/L}$ y para la época de secas cálidas fue de 9×10^5 org/L correspondiente a 36.2 $\mu\text{g/L}$, lo cual muestra una tendencia a disminuir de la clorofila en época de lluvias probablemente por el arrastre del fitoplancton en la superficie y el aporte de materia del componente edáfico, y un aumento en época de



secas ya que no hay aporte de material y no existe un arrastre superficial del fitoplancton, ya que en esta temporada la liberación del agua para riego es por medio de una salida en la parte inferior izquierda del cuerpo de agua.

Ortiz (2006) reportó que con base en el índice del estado trófico propuesto por Carlson y Simpson (1996), el 88 % de los sistemas que estudió en el estado de Morelos fueron clasificados como eutróficos con tendencias hipereutróficas, ya que registra en temporada de lluvias que los sistemas son productivos y en la época de estiaje o secas, tienen baja productividad, así como lo mencionado por Hernández-Avilés *et al.* (2007). Asimismo, en el sistema Huitchila esto fue observado ya que se registraron valores de IET de 70 en época de secas y 79 en época de lluvias, los cuales son cercanos a 100, que se encuentran en el intervalo de eutróficos a hipereutróficos.

Chacón *et al.* (2000) mencionan que la hipereutrofización es un estado perturbado e inestable del ecosistema acuático, en el cual se desarrollan fluctuaciones extremas de la calidad del agua, produciendo altas tasas de productividad y baja diversidad de los florecimientos algales, pues como menciona Granados-Ramírez *et al.* (2007) se considera de forma general que el estado trófico de cualquier ambiente acuático es un factor que puede causar cambios en la composición de especies, tanto en sistemas temporales como en permanentes. Estos sistemas generan sustancias tóxicas, producen gases y experimentan una reducción en el oxígeno que puede provocar la muerte masiva de peces.

En lo que respecta a la producción y calidad del agua de los sistemas someros, Quiroz *et al.* (2005) citan que el fitoplancton es un excelente indicador de la calidad del agua y el principal productor primario, ya que es el primero en la cadena trófica y propicia una elevada disponibilidad de alimento a los demás niveles tróficos; además, de que es el principal productor de oxígeno disuelto y por ello se consideró como indicador de la calidad del agua, ya que algunas especies son muy sensibles a ciertos nutrimentos o sustancias. Es importante lo que se dice al respecto de esto, ya que en la temporada de secas disminuye el nivel de los sistemas, y con ello la penetración de luz debido a la turbidez biológica causada por la materia orgánica particulada en suspensión, la cual está constituida principalmente por los organismos fitoplanctónicos más que las arcillas, lo que le da una coloración verde a los sistemas y la producción primaria disminuye, clasificándose a los sistemas como hipereutróficos en la época de secas y como eutrófico en la época de dilución, comportamiento similar a lo reportado por Arredondo-Figueroa y Flores-Nava (1992) y Hernández-Avilés *et al.* (2007).



De acuerdo a Moreno (2003) es requisito indispensable que en las investigaciones hidrobiológicas se integre el estudio de las comunidades microalgales para determinar la calidad del agua y en este caso los organismos más representativos del fitoplancton (especies con mas abundancia y frecuencia durante el periodo de estudio) en este sistema de clima cálido fueron la división Chlorophyta, con las especies *Ankistrodesmus fusiformes*, *Chlorella miniata*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorococums infusionum* y *Monoraphidium griffiti*; siguiendo en orden descendente están las Cianophycota entre las que destacan *Chroococcus minutus*, *Chroococcus varius*, *Merismopedia tenuisima*, *Microcystis aeruginosa* y *Microcystis incerta*; características de los lagos productivos (Hernández-Avilés *et al.*, 2002).

En un análisis por división, las clorofíceas tuvieron una mayor diversidad relativa durante el estudio, probablemente a que las concentraciones moderadas de N: P permitieron a este grupo de algas condiciones adecuadas de desarrollo (Harper, 1992; Delincé, 1992). También la presencia de *Chlorella miniata* que es considerada como un organismo oportunista, indica una presencia de fertilización del sistema (Margalef, 1983) y esto se presenta cuando el ganado defeca dentro del lago al momento de utilizarlo como abrevadero. En el caso de las desmideaceas (*Closterium sp.*, *Cosmarium sp.* y *Staurastrum sp.*) se presentan cuando el agua es rica en calcio; así como en sistemas en donde existen bastantes cloruros (Margalef, 1983). Ortiz (2006), Ramírez (2008) y Rosas (2009), mencionan que la división Chlorophyta predomina en cuerpos lenticos del estado de Morelos, ya que las condiciones presentes en el sistema fueron propicias para su óptimo desarrollo, debido a que la mayoría de sus especies son características de ambientes eutróficos, se desarrollan con mayor facilidad en los sistemas someros, son cosmopolitas, oportunista, soportan fuertes variaciones ambientales y son de amplia distribución. Los géneros *Tetraedron*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus* y *Monoraphidium* son representativos de los sistemas someros eutróficos, muchas de sus especies aparecen en lugares hipereutróficos por ser organismos oportunistas y pueden aparecer en cualquier época del año, como se observo en este sistema (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

Las cianofitas fueron la segunda división más abundante dentro del fitoplancton, debido probablemente al proceso de circulación presente en el lago debido al efecto del viento, lo que permitió que los nutrimentos necesarios, debido a la remoción de los sedimentos por la turbulencia, propiciaran la permanencia de las algas en la superficie o porque este tipo de algas pueden controlar su posición en la columna de agua por medio de sus vacuolas (Paine, 1986). Otro factor que probablemente ayudó a la presencia de las cianofitas fue la temperatura y la razón de N:P que de acuerdo a Delincé (1992) su temperatura óptima de desarrollo debe ser mayor a 25 ° C y una razón de N: P menor de



29:1, en este cuerpo de agua fue menor al valor citado de N:P (con una relación de 18.:1) pero el valor de la temperatura del agua se mantuvo durante más de la mitad del periodo de estudio dentro del valor citado. Quiroz-Castelán *et al.* (2004) reportan que las cianofitas están muy relacionadas con la alcalinidad y la dureza, situación que se registró en este sistema con una buena relación entre la alcalinidad y la dureza; además, esta división se multiplica especialmente en condiciones marginales o cambiantes y cuando las condiciones se hacen más normales o generalizadas, son desfasadas fácilmente por la competencia con otras divisiones. Un ejemplo de esto es *Microcystis*, que son numerosas en este tipo de sistemas, por su modo de vida y por los pigmentos fotosintéticos que poseen (ficobilinas y carotenoides), aprovechan mejor la luz e impiden el paso de la misma a estratos inferiores de la masa de agua impidiendo un desarrollo masivo de muchas clorofitas (Peinador, 1999). Por lo cual se puede decir que las cianofitas son un indicador de la calidad del agua, en específico *Chroococcus* que predominó durante este estudio.

Para las Bacillariophyta se encontró una abundancia relativamente baja en comparación con las anteriores divisiones, como lo descrito por Espinosa (2011); ya que aunque tienen un buen desarrollo a temperaturas bajas y a cualquier concentración de nitrógeno y fósforo (Harper, 1992), y una buena concentración de sílice (43.10 mg/L), muy probablemente la mayoría de estas algas se encuentren con mayor abundancia en el sedimento, pero por el efecto del viento, estas se presentaron en la columna de agua por la remoción del sedimento, pero estuvo presente durante todo el periodo que duro este estudio con un máximo (11980 cel/m³) en época de secas frías y un mínimo (3744 cel/m³) en lluvia.

Para las Euglenofitas, que tienen un hábitat más o menos ideal en agua ricas en materia orgánica, situación que se presenta en este tipo de bordos por la actividad ganadera, tuvieron un número reducido de especies (*Euglena sp.*, *Euglena spirogyra*, *Phacus sp.* y *Phacus acuminatus*), pero estas pueden variar de manera considerable si las condiciones son favorables (González de Infante, 1988). Ramírez (2008) menciona un marcado aumento de la abundancia de la división Euglenofita en época de lluvias, excepto por algunos sistemas donde se presentaron con mayor abundancia en época de secas, como lo reportado por Hernández y Rivera (2011); en el caso de Huitchila se vio un aumento en la meses de lluvias y un aumento en el mes de diciembre que es época de secas frías por lo que se pudo comprobar.

Para las Xantofíceas solo se presentó una especie, *Goniochloris sculpta*, ya que este tipo de algas está limitado a cierto tipo de aguas, ya que tienen como preferencia aguas turbias, y se sospecha una afinidad por los metales, si se tiene en cuenta la frecuente



incrustación de sus membranas por compuestos de hierro y magnesio (Margalef, 1983). En este estudio, las Xantófitas son las menos abundantes, presentándose ocasionalmente en el año.

Para que el fitoplancton se desarrolle de una mejor manera necesita contar con factores físicos y químicos, siendo los principales: la luz, temperatura, cantidad de elementos químicos, relación entre la acidez y la alcalinidad y gases disueltos como el oxígeno y el bióxido de carbono (Cifuentes-Lemus *et al.* 1997).

La luz es el factor físico fundamental para el desarrollo del fitoplancton, ya que, como se ha visto la producción del alimento o fotosíntesis que se lleva cabo depende totalmente de la energía solar. En el caso de la transparencia, que mide su atenuación a lo largo de la columna de agua, se verá modificada por los materiales disueltos y los sólidos en suspensión (de la Lanza, 1990). La transparencia promedio del sistema fue de 44.65 cm.

Para jerarquizar la dominancia de las especies se construyó el diagrama de Olmstead-Tuckey y en este sistema el grupo que englobó al mayor porcentaje de especies es el de las especies raras (37 especies), indicando esto, que son especies con pocos individuos y baja frecuencia de aparición.

Para este estudio las especies más frecuentes en el grupo de las dominantes fueron *Chlorococcoms infusionum* y *Monoraphidium griffiti*, especies que para Espinoza (2011) también presentaron esta característica, mientras que la especie más abundante registrada por Ortiz (2006) fueron *Kircheriella lunaris*; en este sistema también hay representantes de las otras divisiones entre las especies más dominantes como son *Microcystis aeruginosa* y *M. incerta* de la división Cyanophyta; *Cocconeis placentula* de la división Bacillariophyta y *Phacus sp.* de la división Euglenophyta.

Con base en los resultados de la calidad del agua, este sistema presenta características físicas, químicas y biológicas típicas de los cuerpos de agua tropicales de esta zona del estado de Morelos. El sistema Huitchila está sujeto principalmente a condiciones naturales, siendo utilizada para el uso de abrevaderos, algo de riego y pesca no intensiva. Sin embargo la condición trófica que sostiene el sistema tiene potencial para ser empleado para el cultivo y pesca más intensivos. Es un sistema con buena oxigenación, alcalino, con aguas moderadamente duras, demanda de nutrimentos y buena abundancia de fitoplancton.

Para el bordo Huitchila, Rosas (2009) reporta que es un sistema poco profundo, de aguas cálidas, con producción baja de clorofilas y un valor de pH entre 8.51 (secas) y 8.54



(lluvias) por lo que lo considera de aguas relativamente alcalinas y valores de nutrimentos por debajo de los límites permisibles de calidad (norma NOM-127-SSA1-1996, DOF. 1996), con valores de IET que lo clasifican como eutrófico con tendencias a hipereutrófia en épocas de lluvia; en periodo de secas el fitoplancton se vio representado por dos divisiones, Chlorophyta con 66% y Cyanophyta con el 34% y para el periodo de lluvias solo mantuvo la división Cyanophyta con el 94% y aparece la Bacillariophyta con el 6%; algunas características se vieron diferentes durante el estudio ya que para el pH el valor osciló entre 8.2 (lluvias) y 8.8 (secas), la dureza incrementó al igual que para los nutrimentos, pero aún se mantienen en los límites permisibles de calidad (norma NOM-127-SSA1-1996, DOF. 1996).

El fitoplancton constituye una herramienta fundamental para el diagnóstico de la eutrofización, no solo porque proporciona una respuesta inicial al enriquecimiento de nutrientes, sino porque también abarca cambios taxonómicos y de composición (Paches, 2010). Un alto porcentaje de las aguas interiores del mundo está sometido al efecto más o menos intenso de las actividades antropogénicas (González, 1988).

Con frecuencia, los productos de desecho que resultan de las diferentes actividades (domesticas, agrícolas e industriales) se incorporaron en último término en ríos y lagos cuyas aguas experimentan cambios físicos y químicos y, por consiguiente, afectan también las comunidades que en ellos viven. De esta manera la incorporación excesiva de nutrientes a los sistemas acuáticos influye directamente sobre el fitoplancton, por cuanto modifica su composición específica y eleva su producción (González, 1988).

De igual manera, los ciclos nictemerales llevados a cabo en el sistema Huitchila fueron de gran ayuda para comprender qué situación de mezcla y estratificación se lleva cabo a través de la columna de agua, así como para poder caracterizarlo desde el punto de vista térmico y clasificarlo como cálido polimíctico continuo (Lewis, 1983). Quiroz-Castelán *et al.* (2010) citan que los estudios nictemerales son particularmente importantes en los trópicos para conocer las variaciones ecológicas en ciclo diurno y no solo estacionales; así mismo, también sirven para la aplicación de planes de manejo en diferentes ambientes. Además menciona que la mezcla en un lago es provocada en gran parte por la acción del viento, lo que produce la transferencia de calor de la superficie a las capas de agua más bajas y que la estratificación es producida por la temperatura ambiental y la incidencia de luz solar, situación que se produjo en Huitchila tanto en el periodo de secas como de lluvias, al ser un sistema que se encuentra expuesto, el notorio efecto del viento en ciertas horas del día que causaba que se rompiera la estratificación y después, el calentamiento y la incidencia solar durante la mañana y tarde volvieron a generar la



estratificación; las lluvias jugaron un papel importante en la estratificación ya que fue el factor que interrumpió la formación de la estratificación en este.

La caracterización del sistema con el Índice del Estado Trófico (IET) ubican a este sistema como eutrófico con tendencia a la hipertrofia, ya que en el sistema la visibilidad al disco de Secchi, fósforo total y clorofila "a", son los que indican que el IET promedio del sistema esté registrando valores cercanos al 100 % que según Carlson y Simpson (1996), se encuentran en el intervalo de eutróficos e hipereutróficos, ya que los valores de visibilidad al disco de Secchi estuvieron entre los 0.35 m y 0.65 m, dejando en claro que para un sistema eutrófico con tendencias a la hipereutrófia la visibilidad oscila entre los 0.5m y 1.5 m.

Algunos de los índices más reconocidos sobre diversidad se basan principalmente en el concepto de equidad. Al respecto se pueden encontrar discusiones profundas en Peet (1975), Camargo (1995), y Hill (1997). En cuanto al índice de diversidad alfa, se empleo el índice de Shannon-Wiener y el de Simpson que de acuerdo a Peet (1974) que clasificó estos índices de abundancia en índices de equidad, porque son aquellos que toman en cuenta el valor de importancia de cada especie, e índices de heterogeneidad, aquellos que además del valor de importancia de cada especie consideran también el número total de especies en la comunidad.

Para el valor del índice de Shannon-Wiener, Fontúrbel (2005) obtuvo valores entre 1.5 y 2.4, indicando que es un sistema en el que la probabilidad de encontrar un individuo específico en la muestra es alta; Flores (1994) menciona que en los sistemas eutróficos el fitoplancton muestra una diversidad baja y que de acuerdo a sus resultados los valores de H' oscilaron entre 0.03 y 1.3; mientras que los datos reportados por Umaña y Collado (1990) obtuvieron valores de H' que oscilaron entre 0.82 y 2.36; ellos consideran que la diversidad de especies es baja en comparación con el fitoplancton de lagos y embalses de latitudes más altas y, que se hallan dentro del ámbito de valores reportados para lagos tropicales; para este sistema se obtuvo un valor anual de 1.383, lo que significa que hay una baja probabilidad de encontrar a un determinado individuo en el sistema, por lo que no se puede asumir que todas las especies están representadas en una muestra.

Para el Índice de Simpson se obtuvo un valor de $\lambda=0.178$, este es un índice basado en la dominancia, es decir, son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad, está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes y subestima a las especies raras, ya que le da más importancia a la abundancia, este valor refleja que nuestra comunidad es muy diversa.



El índice de Pielou (J') mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada, va de 0 a 1, de forma que uno corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988); en este caso se obtuvo un valor de 0.32 lo que nos indica que las especies no son igualmente abundantes, información que se pudo constatar con el diagrama de Olmstead-Tuckey en el cual se pudo observar que existen especies raras y dominantes casi en la misma proporción (26 y 34 especies respectivamente), además de algunas constantes; y para la Uniformidad ($1-J'$) se obtuvo un valor de 0.67 que dice que las especies no están repartidas de manera uniforme en el sistema.

La valoración biótica es una evaluación de las condiciones de un cuerpo de agua usando estudios y medidas directas de la biota residente en aguas superficiales (Barbour *et al.*, 1999). Las técnicas desarrolladas para estas evaluaciones son conocidas como “protocolos rápidos de evaluación biótica” y fueron concebidas como estrategias con buen balance costo beneficio, científicamente validas y orientadas a: 1) facilitar el análisis de múltiples sitios en campo; 2) obtener resultados rápidos para la toma de decisiones; 3) proveer reportes científicos de fácil acceso para el público y 4) promover procedimientos ambientalmente sanos; en este caso el índice de Shannon-Wiener indica que son aguas mediamente contaminadas.

Para la comunidad del fitoplancton, Hernández y Rivera (2011) reportan un total de 59 géneros para el sistema Amate Amarillo y 57 géneros para el sistema La Palapa, Espinosa (2011) reporta 180 especies en los sistemas Los Planes; en el sistema Huitchila se tiene un total de 69 especies, el número máximo que se registró para este estudio fue de 33 especies para el mes de Septiembre y el menor de 26 especies en Noviembre. Asimismo, de manera general el índice de diversidad de Shannon-Wiener así como la equitatividad mostraron una tendencia a disminuir a lo largo del estudio con los valores máximos en Septiembre y los menores en Diciembre. La uniformidad se comportó de manera inversa a los índices anteriormente mencionados con mínimos en Septiembre (cuando se registró la mayor diversidad y equitatividad) y máximos en noviembre cuando el número de especies declinó en el lago.

Para realizar el análisis estadístico se optó por un modelo multivariado, el de Componentes principales (ACP) debido a la cantidad de variables que se tomaron en cuenta para la caracterización físico-química y biológica del sistema. Esta técnica sintetiza la información para tener la menor cantidad posible de datos. De acuerdo a Dallas (2000) se obtienen componentes que resultan eficientes para interpretar en forma adecuada la información contenida en las variables originales; ya que este análisis comprende un



procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas componentes principales.

El ACP mostró que el comportamiento que se da en el sistema Huitchila es dependiente de las épocas del año, ya que las variables se agrupan en función de ellas de tal manera que las lluvias tienen un efecto notorio en el sistema por el aporte de agua, donde hay un incremento en los nutrientes y la producción del sistema aumenta, dándole la clasificación de eutróficos con tendencias a la hipereutrófia, mientras que en la época de secas se nota la demanda de nutrientes y el aumento de los organismos productores (fitoplancton) clasificando a Huitchila con alta tendencia a la hipereutrófia, información similar a lo reportado por Ortiz (2006), Ramírez (2008), Rosas (2009), Espinosa (2011) y Hernández y Rivera (2011) .

González-Villela y Banderas-Tabaray (2002) encontraron algo similar en los resultados del análisis multivariado, en un lago (El Sol) tropical de alta montaña en Toluca, Estado de México; los pesos que obtuvieron los parámetros dividieron a los meses en dos grupos principales, ellos reportaron que los compartimentos hidrológicos y biológicos del lago El Sol fueron controlados por los factores meteorológicos, los cuales están directamente relacionados con la entrada de energía radiante y mecánica.

En el caso de los parámetros evaluados se determinó el promedio que estos presentaron en cada una de las temporadas obtenidas mediante el análisis de agrupamiento (conglomerados) dividiendo para el caso de Huitchila en dos temporadas: lluvias y secas (esta a su vez en secas frías y secas cálidas) similar a lo reportado por Espinosa (2011); a diferencia del trabajo de Ramírez (2008), que toma en cuenta que los sistemas presentan dos distintas dinámicas dividiéndolo solo en temporada de secas y lluvias.

En los sistemas acuáticos en los que se realizan actividades relacionadas con la explotación pesquera, es importante realizar estudios para conocer la morfometría y batimetría de la cuenca lacustre con el fin de entender e interpretar mejor los movimientos de la masa de agua, la física del sistema, los procesos hidrológicos y ecológicos responsables de la productividad primaria (Gómez, 2002).

La morfometría constituye el área, la forma y la profundidad de un sistema lacustre, además de que es uno de los componentes que actúa de manera directa sobre los parámetros físicos, químicos, los nutrientes y los organismos (Wetzel, 1981), la mayoría de los lagos se desvían mucho de la forma circular presentando formas subcirculares y elípticas, con valores de desarrollo de línea de costa (D_L) aproximadamente de 2, del



sistema Huitchila el valor de D_L es de 1.37 lo que implica que está lejos de presentar una forma circular y más bien tiende a ser alargada; Hernani y Ramírez (2002) mencionan que mientras más alargada sea la forma, aumenta el valor de D_L y el efecto del viento en el agua es mayor, de acuerdo a lo mencionado por Hernández y Rivera (2011) en el bordo la Palapa que tiene una forma triangular este efecto es muy notorio no así en el bordo Amate Amarillo.

Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008) mencionan que el valor de relación $\bar{z} : Z_m$ en un cono ideal es de 0.33 y los cuerpos de agua que se aproximan a una forma de parábola elíptica tienen un valor de 0.5, considerando esto, la relación obtenida para el bordo Huitchila es de 0.42 por lo que tiene una forma de cubeta más cercana al de una depresión cónica, algo similar a lo reportado por Gómez (2002) en el lago Coatetelco con valores de 0.44 (Noviembre) y 0.52 (Mayo).

Otro buen indicador de la depresión que ocupa el embalse es el desarrollo del volumen (D_v) (Wetzel, 2001; Ramón y Moyá, 1982, Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008) donde valores próximos a la unidad son un reflejo de una forma cónica de la depresión que ocupa, el valor registrado para Huitchila es de 1.26 mostrando una tendencia de tipo cóncava y con un valor superior a la unidad lo hacen distar de un cono perfecto, algo similar a la encontrado por Gómez, (2002, con valores de 1.57 para mayo y 1.31 para noviembre); y Hernández y Rivera, (2011, con valores de 1.10 para Amate Amarillo y 1.31 para la Palapa).

Los valores del volumen y el área superficial del bordo Huitchila, además de las graficas de nutrimentos, muestran una etapa de concentración y una de dilución de los nutrimentos durante el periodo de estudio, probablemente debido a la falta de lluvias, asociada a las elevadas tasas de evaporación y de filtración de la zona y a la extracción del liquido para el uso agrícola, situación similar a la encontrada por Hernández y Rivera (2011).

La profundidad relativa (Z_r) es un parámetro que expresa la profundidad máxima como porcentaje del diámetro promedio de la superficie del lago y es indicador de la estabilidad de la columna de agua (Wetzel, 1975); según Hernani y Ramírez (2002) y Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008) los lagos y embalses con área superficial grande y poca profundidad presentan valores de Z_r menores al 1 %; y valores mayores al 2% permiten predecir que un sistema tiene tendencias a presentar estratificación y estabilidad fuerte así como una alta resistencia al efecto del viento (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 2002; Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008); para el bordo Huitchila el valor obtenido es de 1.57 % lo cual sugiere que el bordo presenta una buena estabilidad en la estratificación de la columna de agua a pesar de encontrarse en una zona en la que la



acción del viento en el sistema tiene efectos, no así lo mencionado por Hernández y Rivera (2011) que obtuvieron un valor de 1.28% para El Bordo la Palapa y de 0.64% para Amate Amarillo que son sistemas de agua con poca estabilidad y poca resistencia al viento; así como lo descrito por Gómez (2002) para el lago Coatetelco con una profundidad relativa de 0.077 %.

Ponce-Palafox y Arredondo-Figueroa (1986), mencionaron en su escrito que la morfometría del sistema influye más en la dinámica de las variables físicas y químicas; propuesta que no se pudo constatar en el presente trabajo, ya que la morfometría no se tomó en cuenta en el análisis multivariado, por lo que con los datos obtenidos se determinó que el factor edáfico y el clima tienen relación con la producción del sistema además, como se muestra en la figura 3 donde la zona gris es una zona de inundación y de protección a los peces que ahí se desarrollan y que están al alcance de los organismos principalmente en época de lluvias, mientras que en época de secas se desarrollan las macrófitas que sirven de alimento.

Con relación a la actividad pesquera que se tiene en el sistema Huitchila, los valores de dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbiedad obtenidos en este estudio, están dentro de los límites de tolerancia para el crecimiento de *Oreochromis niloticus* de acuerdo a lo mencionado por Navarrete-Salgado *et al.* (2000) quienes trabajaron con bordos rurales poco profundos para el policultivo de carpas y tilapia.

Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) mencionan que los sistemas polimícticos favorecen la producción de peces por la remoción constante de los materiales y nutrimentos. Particularmente la clasificación térmica del cálido polimíctico continuo se le dio al sistema Huitchila con base en el ciclo nictemeral, ya que la estratificación que presentó el agua del sistema a ciertas horas del día indica que no existe una mezcla continua característica de los lagos cálidos polimícticos, tal y como lo menciona Lewis (1983). De esta manera, se puede mencionar que Huitchila es un cuerpo de agua adecuado para realizar el cultivo de peces y que más aun se debe analizar la oportunidad de un policultivo piscícola como estrategia, ya que de acuerdo a Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992), esta estrategia es la más adecuada para sistemas que tienen las características anteriormente mencionadas, porque presentan un alto potencial de soportar altas densidades de carga de peces omnívoros o detritívoros (*Oreochromis niloticus*) y bajas concentraciones de especies planctófagas (por ejemplo: *Heterandria bimaculada* y *Poecillia sphenops*) que sean resistentes a las condiciones variables de este medio, o tal vez un cultivo intensivo de la langosta de agua dulce o de pinzas rojas (*Cherax*



quadricarinatus), que de acuerdo a Rosas (2009) todas estas especies se encuentran en este sistema.

Se debe tener en cuenta que la mayor parte del año el agua se utiliza para efectos agrícolas por parte de los ejidatarios, sin interesarles al parecer, si el cultivo de peces es necesario para cubrir la necesidad alimenticia o que puede servir de apoyo como una entrada económica para los agricultores, que también podrían dedicarse a esta actividad piscícola.



CONCLUSIONES

.-En el Bordo Huitchila el componente edáfico (sedimento) y el componente climático son los principales responsables en la dinámica.

.-Se caracterizó como cálido polimíctico continuo, ya que presentó una estratificación térmica durante el día y un periodo de mezcla durante la noche.

.-En el sistema se presentaron concentraciones óptimas de oxígeno disuelto, ya que se registraron curvas clinógradas típicas de cuerpos eutróficos.

.-Se trata de un sistema somero, que se encuentra dentro de la clasificación de Carlson y Simpson como eutrófico (con tendencias a la hipertrofia).

.-Se identificaron un total de 69 especies de fitoplancton representado por cinco divisiones, la Chlorophyta fue la que tuvo mayor abundancia y frecuencia a lo largo del estudio con 26 especies, Bacillariophyta con 20 especies y mayor presencia en época de secas frías, Cianophyta con 18 especies en tercer lugar con presencia en todo el periodo de estudio pero mayor abundancia en época de lluvias, y le siguen Euglenophyta con 4 especies y presencia en casi todo el periodo, y la Xanthophyta con 1 especie cuya presencia fue de manera esporádica.

.-Se obtuvo un índice de diversidad con valor de $H=1.383$, que nos dice que las especies están ampliamente distribuidas en el sistema; además de indicar que son aguas medianamente contaminadas de materia orgánica, ya que la mayor cantidad de especies pertenece a las clorofitas las cuales son organismos oportunistas e indicadores de fertilización de las aguas por el uso de químicos para el campo y de la presencia de ganado en el sistema por su uso como abrevadero, lo cual origina que este defaque en el agua.

.-Con base en el análisis de agrupamiento (Clúster) se dividió al sistema en tres temporadas: secas frías, secas cálidas y temporada de lluvias.

**BIBLIOGRAFÍA**

- ✚ **AGUILAR, V.** (2003). Aguas continentales y diversidad biológica de México: un recuento actual. Biodiversitas, Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) 8: 1-15.
- ✚ **AGUILERA, M.M. y J.F. SILVA.** (1997). Especies y biodiversidad. Interciencia, 22: 299-306.
- ✚ **AGUIRRE R., MEJIA R. y M. MÚNERA.** (2007). Variación nictemeral de la calidad del agua en las lagunas de estabilización del municipio de La Ceja, Antioquia., Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, numero 040: 22-40.
- ✚ **AIZAKI, M. OTSUKI, O. FUKUSHIMA, M. HOSOMI, M. y MURAOKA.** (1981). Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. Verh. Internat. Verein Limnol. 21: 675-681.
- ✚ **ALAMILLA, H.** (2009). Cultivo de Tilapia (en línea). ZOE tecno-campo. Disponible en <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/tilapia/tilapia.htm> (consultado, 20/marzo/2011).
- ✚ **APHA, AWWA y WPCF.** (1992) Standard Methods for Examination of Water and Sewage and Wastewater. 18ª ed. EE.UU. 1100 p.
- ✚ **ARREDONDO, J.L. y P.J.T. PONCE** (1998). Calidad del agua en acuicultura, conceptos y aplicaciones. AGT editor, México. 222 p.
- ✚ **ARREDONDO-FIGUEROA, J.L. y C. AGUILAR-DÍAZ.** (1987). Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas realizadas en los lagos mexicanos, con especial énfasis en su ictiofauna. p. 91-133. *En* S. Gómez-Aguirre y V. Arenas (Eds). Contribuciones en Hidrobiología. Memoria de la Reunión "Alejandro Villalobos". UNAM, México.
- ✚ **ARREDONDO-FIGUEROA, J.L.** (1986). Piscicultura, Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva. Secretaría de Pesca, México. 182 p.
- ✚ **ARREDONDO-FIGUEROA, J.L. y A. FLORES-NAVA.** (1992). "Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura", Hidrobiológica, Vol. 3/4: 1-10.
- ✚ **BAEV, P.V. y L.D. PENEV.** (1995). BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis. Versión 5.1. Pensoft, SofiaMoscow, 57 p.



- ✚ **BARBOUR, M.T., J. GERRITSEN; B.D. ZINDER y J.B. STRIBLING.** (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Segunda edición. EPA 841-B41-99-002 U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C. 63-77.
- ✚ **BARCINA, L., B. AYO, M. UNANVE, L. EGEA y J. LRIBERRI.** (1992). Comparison of rates of flagellate bacterivory and bacterial production in marine coastal system. *Appl. Environ. Microbiol.*, 58 (12): 3850-3856.
- ✚ **BARRERA-ESCORCIA, G. y I. WONG-CHANG.** (2007). Eutrofización y calidad del agua 609-633. En Arredondo-Figueroa, J.L., G. Díaz-Zavaleta y J.T. Ponce-Palafox (compiladores). *Limnología de presas mexicanas*, 1ª edición, editorial AGT Editor S.A. México D.F.
- ✚ **BOYD, C.** (1979). *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama, USA. 369 p.
- ✚ **BUSTAMANTE M.A., S. MORILLO, M.I. RODRÍGUEZ, M. GRANERO, M. RUIZ, I. FREYER, F. BUSSO, E. BONFANTI y A. GIRBAL.** (2002). Estudios para la evaluación de la eutrofización del embalse San Roque mediante la observación, medición y aplicación de herramientas numéricas, Seminario Taller “Calidad de Agua en los embalses de Córdoba”, Instituto nacional del Agua, Córdoba, Argentina. 17 p.
- ✚ **BUTLER, D. y J. DAVIES.** (2004). “Urban Drainage”. Second Edition, Spon Press. 543 p.
- ✚ **CAMARGO, J. A.** (1995). On measuring species evenness and other associated parameters of community structure. *Oikos*, 74: 538-542.
- ✚ **CARLSON, R.E.** (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
- ✚ **CARLSON, R.E. y J. SIMPSON,** (1996). “A Coordinator’s Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods”. North American Lake Management Society. 96 p.
- ✚ **CARPENTER, S.R., N.F. CARACO, D.L. CORRELL, R.W. HOWARTH, A.N. SHARPLEY y V.H. SMITH.** (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8: 559-568.
- ✚ **CERVANTES, S.A.** (1984). “Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos”. México, UNAM. 103 p.



- ✚ **CHACON-TORRES, A., C. ROSAS-MONGE y J. ALVARADO-DIAZ.** (2000). The effects of hypereutrofication in a tropical Mexican lake. 89-101. En: Munawar, M., S.G. Lawrence, L.F. Munawar y D.F. Malley (Eds.). Aquatic ecosystems of México: Status and Scope. Ecovision World Monograph Series. The Netherlands.
- ✚ **CHALAR, G.** (2007). Dinámica de la Eutrofización a Diferentes Escalas Temporales: Embalse Salto Grande (Argentina-Uruguay). Cianobacterias planctónicas del Uruguay p. 87-101. En: J. Galicia Tundisi, T. Matsumura Tundisi y C. Sidagis Galli (eds.). São Carlos, SP, Brasil.
- ✚ **CIFUENTES-LEMUS, J. L., M. P. TORRES-GARCÍA y M. FRÍAS-MONDRAGÓN.** (1997). El océano y sus recursos X. Pesquerías, 2ª Edición. Fondo de Cultura Económica, México, D. F. 228p Disponible en Bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia
- ✚ **COMAS, G. A.** (1996). “Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba”. GebruderBorntraeger-Stuttgart. 192 p.
- ✚ **CONAGUA.** (2010). Estadísticas del Agua en México, edición 2010. Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT, México. 258 p.
- ✚ **CONTRERAS, E.F.** (1994). “Manual de técnicas Hidrobiológicas”. Editorial Trillas. UNAM. México. 149 p.
- ✚ **DALL, P.C.** (1995). Commonly used methods for assessment of water quality. 49-70. En: Toman, M.J. y F. Steinman (eds.) *Biological Assessment of stream water quality*. Special Issue TEMPUS S_JEP 4724. University of Ljubljana.
- ✚ **DALLAS, E.J.** (2000). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Intenational Thompson Editores e Internacional Thompson Publishin Company. 566 p.
- ✚ **de la LANZA, E.G.** (1990). Algunos conceptos sobre hidrobiología y calidad del agua. 181-199. En De la Lanza E.G. y, Arredondo-Figueroa J.L. (editores). La acuicultura en México: de los conceptos a la producción. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- ✚ **de la LANZA, E.G., S.P. HERNÁNDEZ y J.L.P. CARBAJAL.** (2000). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores), Ed. Plaza y Valdez, México. 176 P.
- ✚ **de la LANZA, E.G. y J.L. C. GARCÍA.** (2002). Lagos y Presas de México. AGT Editor, México 680 p.



- ✚ **DELINCE, G.** (1992). The ecology of the fish pond system. With special reference to Africa. Kluwer Academic Publishers, 230 p.
- ✚ **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION (DOF).** (1994). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México, D.F. 21 p.
- ✚ **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION (DOF).** (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de las aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México, D.F. 25 p.
- ✚ **DÍAZ, Z.G.** (2007). Análisis de algunos estudios limnológicos realizados en cuerpos de agua mexicanos. 348-368. En Arredondo F.J.L., Z. G. Díaz, P.J.T. Ponce (Editores). Limnología de presas mexicanas: aspectos teóricos y prácticos, AGT editores y UAM, México, D.F.
- ✚ **DÍAZ-PARDO, E., C. GUERRA, Y G. VÁZQUEZ,** (1986). Estudio bioecológico de la Laguna de Atezca, Hidalgo, México-I. Análisis limnológicos. An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx. 30: 171-189.
- ✚ **DÍAZ-VARGAS, M., E. ELIZALDE-ARRIAGA, H. QUIRÓZ-CASTELÁN, J. GARCÍA-RODRÍGUEZ y E.I. MOLINA-ESTUDILLO.** (2005). Caracterización de Algunos Parámetros Físico Químicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México. Revista Acta Universitaria, Vol. 15 no. 2: 57-63.
- ✚ **DILLARD, G.E.** (1989). "Freshwater Algae of the Southeastern United States". GebruderBorntraeger-Stuttgart. Germany. 200 p.
- ✚ **DORANTES, G.E. y M.B. ZAVALA.** (2003). Estudio de la calidad de agua de tres cuerpos acuáticos en el estado de Morelos, Tesis de Licenciatura. FES ZARAGOZA, UNAM, México. 92 p.
- ✚ **ECHANIZ, S y, A. VIGNATTI** (2009). Determinación del estado trófico y de la capacidad de carga del embalse casa de piedra. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam. Uruguay. Bioscriba, Vol. 2. 14 p.
- ✚ **ELOSEGUI, A. y J. POZO.** (1994). Variaciones Nictemerales de las características Físico-Químicas de un río Cantábrico, Limnetica Vol 10(2): 15-25.



- ✚ **ESPINOSA, G.T.** (2011). Calidad del agua y fitoplancton de los sistemas “Los Planes” Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 122 p.
- ✚ **ESTEVES, F.A., R.L. BOZELLI, A.F. CAMARGO, F. ROLAND y S.M. THOMAZ.** (1988). Variação diária (24 horas) de temperatura, O₂ disueldido, pH e alcalinidade em duas Lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro e sus implicações no metabolismo destes ecossistemas. *Acta Limnol. Bras.* 11: 99-127.
- ✚ **ETTL, H. Y G. GÄRTNER.** (1988). “Chlorophyta II”. GebruderBorntraeger-Stuttgart. Germany. 436 p.
- ✚ **FLORES, M.O.** (1994). Crecimiento de *Oreochromis niloticus* en estanques con diferente fertilización, en un clima templado. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México, 56 p.
- ✚ **FONTÚRBEL, R. F.** (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*, diciembre, año/vol. 4, numero 1-2, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 135-141.
- ✚ **FRAILE, H., E. ORIVE, y J. POZO.** (1995). Evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (Río Tera, Zamora), *Limnetica*, Volumen 11(2): 29 -37.
- ✚ **FRENCH, R.H., J.J. COOPER y S. VIGG.** (1982). Secchi disc relationships. *Water Res. Bull.* 18: 121-123.
- ✚ **FUHRMAN, L.** (1991). Bacterioplankton roles in cycling of organic matter: a microbial food web uptake: 1-22. *En: Brookhaven National Laboratory Symposium*, Plenum Press, Universidad de Concepción, Casilla 156-C, Concepción, Chile.
- ✚ **GARCIA-CALDERON, J.L., G.E. De la LANZA, A.L.A. IBAÑEZ.** (2002). Las aguas epicontinentales de México y sus pesquerías: 23-56. *En Cruz S.L.E., E.A.R. Bermúdez, E.M. Cabrera, R.M.Z. Gutiérrez y P.A.V. Pérez (2002). Pesquerías en tres cuerpos de agua continentales de México. Instituto Nacional de la Pesca. Octubre. SAGARPA. México, D.F.*
- ✚ **GARCÍA, E.** (2004). Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 5ª edición, Serie Libros, Núm. 6, México, 96 p.
- ✚ **GASTON, K.J.** (1996). Species richness: measure and measurement. 77-113. *En: Biodiversity, biology of numbers and difference.* K. J. Gaston (Ed.) Blackwell Science, Cambridge.



- ✚ **GOCKE, K., E. LAMAN, G. ROJAS y J. ROMERO.** (1981). Morphometric and basic limnological data of Laguna Grande de Chirripó, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 29: 165-174.
- ✚ **GÓMEZ, M.J.L.** (2002). Estudio Limnológico-Pesquero del Lago de Coatetelco, Morelos, México. Tesis de Doctorado. Posgrado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 181 p.
- ✚ **GÓMEZ-MÁRQUEZ, J.L., B. PEÑA-MENDOZA, I.H. SALGADO-UGARTE y J.S. HERNANDEZ-AVILÉS.** (2003). Zooplankton a eutrophic shallow tropical lake, México. *Journal of Freshwater Ecology* 18(4): 659-660.
- ✚ **GÓMEZ-MÁRQUEZ, J.L., B. PEÑA-MENDOZA, J.L. ARREDONDO-FIGUEROA, I.H. SALGADO-UGARTE y E.A. GUERRA-HERNÁNDEZ.** (2007a). “Lago Coatetelco, Morelos”: 171-183. En: De La Lanza-Espino. y S. Hernández-Pulido (compiladores). “Las aguas interiores de México: Conceptos y Casos”. Editorial AGT Editor S.A. México D.F.
- ✚ **GÓMEZ-MÁRQUEZ, J.L., B. PEÑA-MENDOZA, I.H. SALGADO-UGARTE, O. FLORES-MALDONADO y J.L. GUZMÁN-SANTIAGO,** (2007b). “Presa Emiliano Zapata, Morelos”: 449-463. En: De La Lanza-Espino. y S. Hernández-Pulido. (compiladores). “Las aguas interiores de México: Conceptos y Casos”. Editorial AGT Editor S.A., México D.F.
- ✚ **GÓMEZ-MÁRQUEZ, J.L., B. PEÑA-MENDOZA, R. A. RAMÍREZ-RAZO, M. P. ROSAS-HERNÁNDEZ, J. L. GUZMÁN-SANTIAGO, A. ORTÍZ-RIVERA y A. ZAVALA-MONTERO** (2008). “Composición y abundancia del Zooplancton en el lago El Rodeo, Morelos febrero 2001 a febrero 2002”: 86-100. En: Sánchez J. A., M. G. Hidalgo, S. L. W. Arriaga y W. M. S. Contreras (Compiladores). “Perspectivas en Zoología Mexicana”. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
- ✚ **GONZÁLEZ, de I. A.** (1988). El plancton de las aguas continentales. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Serie de Biología. Monografía 33. Washington. D.C. EEUU. 130 p.
- ✚ **GONZALEZ. J.E., M. ORTIZ, H.C. PEÑA y M.L. MATOS.** (2004). Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela: Abundancia, biomasa y producción primaria). *INTERCIENCIA*, 29 (10): 548-55.
- ✚ **GONZALEZ, R.J.M. y G.A. LOPEZ,** (1997) Aspectos hidrobiológicos de la presa “Emiliano Zapata”, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM, México. 81 p.
- ✚ **GONZALEZ-VILLELA, R. y A. BANDERAS-TABARAY.** (2002). Multivariate analysis of the primary production in a tropical high mountain lake in México. *Journal of Freshwater Ecology*, 17 (1): 75-83.



- ✚ **GRANADOS, R.J.G.** (1990). El comportamiento del zooplancton en tres ambientes acuáticos epicontinentales del Estado de Morelos, México, Tesis de Maestría en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México. 64 p.
- ✚ **GRANADOS, R.J.G., C. ÁLVAREZ-DEL ANGEL, M. MARTINEZ-ALANIZ, M. ROMERO-AGUILAR, L.M. ARTEAGA-NUÑEZ y J. I. ZAVALA-ARAGON.** (2007). Variación poblacional de los rotíferos (clase: Monogononta) de tres cuerpos de agua de la subcuenca del río Cuautla, Morelos, México (ciclo enero-diciembre 2003). *Scientie naturae* 9(2): 4-21.
- ✚ **GREGOR, J. y B. MARSÁLEK.** (2004). Freshwater Phytoplankton Quantification by Chlorophyll a: A Comparative Study of *in vitro*, *in vivo* and *in situ* Methods. *Water Res.* 38: 517-522.
- ✚ **GUERRERO, M.** (1991). La ciencia desde México. SEP y FCE, Vol. 2. México. 102 p.
- ✚ **HALFFTER, G.** (1998). A strategy for measuring landscape biodiversity. *Biology International*, 36: 3-17.
- ✚ **HARPER, D.** (1992). Eutrophication of freshwater. Principles, problems and reclamation. Chapman and Hall, 327 p.
- ✚ **HERNÁNDEZ-AVILÉS, J. S. y B. PEÑA-MENDOZA.** (1992). “Rendimientos piscícolas en dos bordos semipermanentes en el estado de Morelos, México”, *Hidrobiológica*, núm. 3-4, pp. 11-23.
- ✚ **HERNANDEZ-AVILÉS, J.S., S.M del C.GALINDO y P.J LOERA.** (2002) Bordos o microembalses: 599-618. En De la Lanza E.G. y C.J.L. García (Editores) *Lagos y presas de México*. AGT Editor. México
- ✚ **HERNÁNDEZ-AVILÉS, J.S. y J.L.C. GARCÍA.** (2007). Diferencias limnológicas entre lagos y presas: 63-74. En F.J.L. Arredondo, G.Z. Díaz y J.T.P. Ponce (Compiladores). *Limnología de presas mexicanas. Aspectos teóricos y prácticos*. AGT Editor, S.A. y UAM-Iztapalapa, México.
- ✚ **HERNÁNDEZ-AVILÉS, J.S., J.L. GARCÍA-CALDERÓN, M.C. GALINDO-SANTIAGO y J. LOERA-PEREZ.** (2007). Microembalses: una alternativa de la limnicultura: 597-620. En: de la Lanza, E.G. (Compiladora). *Las lagunas interiores de México: Conceptos y casos*. AGT Editor, S.A. México.
- ✚ **HERNÁNDEZ, G. G.N. y C. O.A. RIVERA** (2011). Producción y calidad del agua de los reservorios “Amate Amarillo y La Palapa”, Morelos. Informe de Investigación de LIB’S V Y VI. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. 118p.



- ✚ **HERNANI, A. y J.J. RAMÍREZ.** (2002). Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse tropical de alta montaña: Represa La Fe, El Retiro, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* Vol. 26, No. 101: 511-518.
- ✚ **HILL, M. O.** (1997). An evenness statistic based on the abundance-weighted variance of species proportions. *Oikos*, **79**: 413- 416.
- ✚ **HOSPER, H.** (1997). Clearing lakes. An ecosystem approach to the restoration and management of lakes in the Netherlands. Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA). Leystad. 168 p.
- ✚ **HURLBERT, S.H.** (1971). The non concept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, **52**: 577-586.
- ✚ **HUTCHINSON, G.E.** (1961). The paradox of plankton. *Am. Nat.* **882**: 137-145.
- ✚ **INEGI.** (2002). “Conjunto de Datos Geográficos”. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 461 p.
- ✚ **ITURRA, J.** (2008). Manual de crianza de tilapia. Editorial, Nicovita. Perú. 49 p.
- ✚ **JOHN M.D., A.B. WHITTON y J.A. BROOK.** (2002). “The Freshwater Algal flora of the British isles”. 1ª Published. The Natural History Museum and the British Physiological Society. United Kingdom. 702 p.
- ✚ **KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT.** (1986). “Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae”. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 874 p.
- ✚ **KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT.** (1988). “Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae”. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 592 p.
- ✚ **KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT.** (1991a). “Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilareaceae, Eunotiaceae”. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 574 p.
- ✚ **KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT.** (1991b). “Bacillariophyceae 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis”. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 432p.
- ✚ **KUANG, Q., Y. BI, Y. XIA y Z. HU.** (2004). Phytoplankton community and algal growth potential in Taipinghu Reservoir, Anhui Province, China. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* **9**: 119-124.



- ✚ **KUPPUSAMY, M.R., y V.V. GIRIDHAR.** (2006). "Factor analysis of water quality characteristics including trace metal speciation in the coastal environment system of Chennai Ennore.", *Environmental International*, Vol. 32: 174-179
- ✚ **LAMPERT, W. y U. SOMMER.** (1997). *Limnoecology; The ecology of lakes and streams.* Oxford University Press, New York. 324 p.
- ✚ **LARA, V.M.A., R.J.L. MORENO y M.E.J. AMARO.** (1996). *Fitoplancton, conceptos básicos y técnicas de laboratorio*, UAM Iztapalapa, México. 226 p.
- ✚ **LEWIS, W.M., Jr.** (1983). A Revised classification of lakes base don mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1779-1787.
- ✚ **LOPEZ-BLANCO, J. y L. ZAMBRANO-GONZALEZ.** (2001). *Propiedades Limnéticas de Sistemas Dulceacuícolas Pequeños en Acambay, México: Correlación de datos de campo con imágenes de video con color*, UNAM, *Investigaciones Geográficas*, No. 044: 64-84.
- ✚ **LÓPEZ-LÓPEZ, E. y J. A. SERNA-HERNÁNDEZ.** (1999). Variación estacional del zooplancton del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México y su relación con el fitoplancton y factores ambientales. *Revista de Biología Tropical.* 47 (4): 643-657.
- ✚ **LÓPEZ-LÓPEZ, E. y E. SOTO-GALERA.** (1993). Diagnóstico de eutroficación del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM*, 20 (1): 33-42.
- ✚ **LUJAN DE FABRICIUS, A.** (2000). *Las Algas, Indicadores de la Calidad del Agua.* de Ciencias Exactas, Dpto. de Ciencias Naturales, Argentina. 4 p.
- ✚ **MAGURRAN, A.E.** (1988). *Ecological diversity and its measurement.* Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- ✚ **MARGALEF, R.** (1981). *Ecología.* Editorial Planeta. Barcelona. 252 p.
- ✚ **MARGALEF, R.** (1983). *Limnología.* Editorial Omega. Barcelona España, 1010 p.
- ✚ **MASON, C.** (2002). *Biology of freshwater pollution.* Lenntech Water treatment & purification Holding B.V., 4a Ed., Reino Unido. 387 p.
- ✚ **MAYR, E.** (1992). A local flora and the biological species concept. *American Journal of Botany*, 79: 222-238.



- ✚ **MAZARI-HIRIART, M., G. PEREZ-ORTIZ y A.C. ESPINOSA-GARCIA.** (2007). Impacto de la interrupción del caudal ecológico sobre la calidad del agua. Instituto de ecología, UNAM, México. 17 p.
- ✚ **MAZZEO N., J. CLEMENTE, G.J. GARCÍA-RODRIGUEZ, C. KRUK, D. LARREA, M. MEERHOFF, F. QUINTANS, L. RODRIGUEZ-GALLEGO Y F. SCASSO.** (2002). Eutrofización: Causas, consecuencias y manejo, Grupo de ecología y Rehabilitación de Sistemas Acuáticos Someros, Sección Limnología, departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica, Uruguay. 40-55 p.
- ✚ **MIRA, O.L.C.** (2006). Análisis estadístico multivariado de los parámetros de calidad del agua en vertimientos urbanos en la Ciudad de Bogotá, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Bogotá, D.C., 105 p.
- ✚ **MONTOYA, M. y R. AGUIRRE.** (2009). Cambios nictemerales de variables físicas y químicas en la Ciénaga de Patícos, complejo cenagoso de Ayapel, Colombia. Revista Biología Tropical. (Int. J. Trop. Biol.) 57 (3): 635-646.
- ✚ **MORENO, C.E.** (2001). Métodos para medir la Biodiversidad, Manuales y Tesis SEA, vol. 1., Zaragoza, 84 p.
- ✚ **MORENO, J.L.** (2003). Fitoplancton: 13-40. En: De la Lanza, E.G. (editor). Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de calidad del agua, AGT editores, México.
- ✚ **MORENO, F. D., M. J. QUINTERO, C. A. LÓPEZ.** (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Contactos 78, México: 25-33.
- ✚ **MOSS, B.** (1996). A land a wash with nutrients- the problem of eutrophication. Chemistry and Industry. Junio 3(11): 407-411.
- ✚ **MOSS, B.** (1998). Ecology of freshwater, man and medium, past to future. Blackwell Science, Oxford, 557 p.
- ✚ **MOYÁ, G. y G. RAMÓN.** (1987). Disco de Secchi y clorofila «a» en dos embalses de aguas mineralizadas. Limnetic 3: 165-170.
- ✚ **NAMIHIRA-SANTILLÁN, P.E., G. BARRERA-ESCORCIA y A.Z. MÁRQUEZ-GARCÍA.** (2002). Contaminación por bacterias fecales en el Lago de Huayamilpas México D.F., Hidrobiológica 12: 129-136.
- ✚ **NAVARRETE-SALGADO, N.A., G. ELIAS-FERNANDEZ, G. CONTRERAS-RIVERO y M. ROJAS-BUSTAMANTE.** (2000). Policultivo y tilapia en bordos rurales del Estado de México. Hidrobiologica, Vol. 10, No. 1:35-40.



- ✚ **NEBEL, B. J. y WRIGHT, R. T.** (1999). Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible. 6th ed. México: Pearson-Prentice Hall. 698 p.
- ✚ **NEEDHAM, J.G. y NEEDHAM, P.R.** (1972). Los seres vivos de las aguas dulces. Editorial Reverte. California, Estados Unidos. 131 p.
- ✚ **OCDE**, (1982). Eutrophisation des eaux. Methodes de surveillance d`evaluation et de lutte. Paris. 164 p.
- ✚ **ORTIZ, R.A.** (2006). Estudio de los sistemas acuáticos (lenticos) del Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 152 p.
- ✚ **ORTEGA, G.M.M.** (1984). Catálogo de Algas continentales recientes de México. 1ª Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Coordinación de la investigación científica Instituto de Biología. México D.F. 307 p.
- ✚ **PACHECO-MENESES, A., M. GALVÁN-GARCÍA, M. DEL P. LEAL HERNÁNDEZ, J. LUGO QUINTAR, J. GALLINA ÁLVAREZ, R. ROMERO RAMOS.** (1982), Técnicas de Análisis Físicoquímicos para Aguas, 5ª Edición, Dirección General de usos del agua y prevención de la contaminación. SARH. México. 319 p.
- ✚ **PAINE, I.A.** (1986). The ecology of tropical Lakes and rivers. Jonh Wiley and sons. 301 p.
- ✚ **PACHES, G.M.** (2010). Un sistema de indicadores ecológicos para la Directiva Marco del Agua basado en la composición de la comunidad fitoplanctónica, Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, España. 198 p.
- ✚ **PEINADOR, M.** (1999). Lasa cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica. Revista de Biología Tropical. 47 (3). 381-391.
- ✚ **PEET, R.K.** (1974). The measurement of species diversity. Annual Review of Ecology and Systematics, 5: 285-307.
- ✚ **PÉREZ-MUNGUÍA, R., R. PINEDA-LÓPEZ y M. MEDINA-NAVA.** (2004). Integridad biótica de ambientes acuáticos. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. México. 41 p.
- ✚ **PERIÓDICO de la OCDE.** (2009). Sobre el Desarrollo .Cooperación al Desarrollo - Reporte 2009. 10 (1): 7 p.
- ✚ **PIELOU, E. C.** (1975). Ecological diversity. John Wiley and Sons, Inc., New York. 165 p.



- ✚ **PICHLER, W.** (1939) Unsere derzeitige Kenntnis van der Thermik Kleiner Gewässer Thermische Kleingewässertypen. Int. Rev. Gesamtgen Hydrobiol. 38: 231-242.
- ✚ **PORRAS, D.D., O. CASTREJÓN Y O.D. HERNÁNDEZ.** (1991). “Recursos Acuáticos del Estado de Morelos (Embalses)”. Universidad. Ciencia y Tecnología. UAEM 1(4): 19-36.
- ✚ **PONCE-PALAFIX, J.T. y J.L. ARREDONDO-FIGUEROA.** (1986). Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal tropical, por medio de la aplicación de modelos multivariados. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, 13(2): 47-66.
- ✚ **QUIROZ, R.F.** (2000). La eutrofización de las aguas continentales de Argentina, Área de Sistemas de Producción Acuática, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 47 p.
- ✚ **QUIROZ, R.F.** (2007). Manejo y Recuperación de Lagos Urbanos, Documento de Trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática N° 6, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 16 p.
- ✚ **QUIROZ-CASTELÁN, H., L. MORA-ZÚÑIGA, I. MOLINA-ASTUDILLO y J. GARCÍA RODRÍGUEZ.** (2004). Variación de los organismos fitoplanctónicos y la calidad del agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México, Acta Universitaria, 14, número 001: 47-58.
- ✚ **QUIROZ-CASTELÁN, H., J. GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. MOLINA-ASTUDILLO, M. DÍAZ-VARGAS y P. TRUJILLO-JIMÉNEZ.** (2010). Condiciones abióticas de la presa “El Abrevadero”, utilizada para el cultivo extensivo de *Oreochromis niloticus* en Morelos, México, Revista Electrónica de Veterinaria, Volumen 11 Número 07. 19 p.
- ✚ **RAMÍREZ, R.R.A.** (2008). Análisis del recurso acuático (sistemas lenticos) de Morelos en la parte norte-oriente. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM.174 p.
- ✚ **RAMON, G. y G. MOYA.** (1982) características Morfológicas y Morfométricas de los embalses Cuber y Gorg Blau (Mallorca). Bol. Soc. Hist. Nat. Belears 26: 145-150.
- ✚ **REYNOLDS, C.S.** (2006). The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press. New York. 535 p.
- ✚ **RHEINHEIMER, G.** (1991). Aquatic Microbiology. 4ª Edición. Editorial J. Wiley & Sons, New York. 363p.



- ✚ **ORTIZ, R.A.** (2006). Estudio de los sistemas acuáticos (lenticos) del estado de Morelos. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México 152 p.
- ✚ **RODRIGO, M.A., J. FERRER, A. SECO y J. M. PENYA-ROJA.** (1999). Eliminación Biológica de nutrientes en aguas residuales, Fundamentos biológicos, Tratamiento de Aguas Residuales, Universidad de Catilla La Mancha. Ingeniería Química volumen 31, numero 358: 125-129.
- ✚ **ROLDAN-PÉREZ, G. y J.J. RAMÍREZ-RESTREPO.** (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 442 p.
- ✚ **ROMERO, R.J.A.** (1999). Calidad del agua. 2ª edición, Alfaomega, México, 248 p.
- ✚ **ROSAS, H.M.P.** (2009). Caracterización física, química y biológica de los sistemas acuáticos lenticos de la región sur-oriente del estado de Morelos. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 238 p.
- ✚ **RYDING, S. Y W. RAST.** (1992). El Control de la Eutrofización en Lagos y Pantanos, Ediciones Pirámide, Madrid y UNESCO, Paris. 375 p.
- ✚ **SADAVA, D., G. HELLER, G.ORIAN, W. PURVES y D. HILLIS.** (2009). Vida: la ciencia de la biología. octava edición. editorial medica panamericana. Universidad de Buenos Aires. 1376 p.
- ✚ **SALGADO, U.I.H.** (1992). El análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y Aplicaciones. Marc Editores. México. 292 p.
- ✚ **SÁNCHEZ-RUEDA, M. P. y M. E. PONCE-MÁRQUEZ.** (1996). Métodos Hidrobiológicos II: Estudio Y Colecta De Organismos Marinos Estuario Laguna Y De Agua Dulce 1 ed. Libros de texto manuales de práctica y antologías UAM Iztapalapa. 13 p.
- ✚ **SAWYER C., P. McCARTY y G. PARKIN.** (2001). “Química para Ingeniería Ambiental”. Cuarta Edición, McGraw Hill, 713 pág.
- ✚ **SCHOWOERBEL, J.,** (1975). Métodos hidrobiología (biología del agua dulce). Editorial H. Blume Ediciones Madrid, España. 262 p.
- ✚ **SHAPIRO, J., J.B. LUNDQUIST y R.E. CARLSON.** (1975). Involving the public in limnology -an approach to communication. Verh. Internat. Verein. Limnol. 19: 866-874.



- ✚ **SHARMA, S.** (1996), "Applied Multivariate Techniques", John Wiley and Sons Inc, 493 p.
- ✚ **SHIKLOMANOV, I.A.** (1998) a new appraisal and assessment for the 21st century. Summary of the monograph World Water Resources. UNESCO. 40 p.
- ✚ **SILVERT, M.** (1999). "Kurita Handbook of Water Treatment", Second Edition. Kurita Water Industries Ltd. Japan, 501 p.
- ✚ **SINGH, K., A. MALIK, y S. SINHA.** (2005). "Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques – a case study", Analytica Chemical Acta, Vol. 538, 355-374.
- ✚ **SMITH, R.L. y T.M. SMITH.** (2001). Ecología, 4^ª edición, Addison Wesley, Madrid.
- ✚ **SOKAL, R. y F.J. ROHLF.** (1981). Biometry. Freeman, San Francisco, California. 359 p.
- ✚ **SPELLERBERG, I.F.** (1991). Monitoring ecological change. Cambridge University Press, UK. 334 p.
- ✚ **SUGUNAN, V.V.** (1997). Fisheries management of small water bodies in seven countries in Africa, Asia and Latin America. FAO Fisheries Circular. No. 933. Rome, FAO. 149 p.
- ✚ **TAMAYO, L.J.** (1998). Geografía Moderna de México. Editorial Trillas. México. 320 p.
- ✚ **TEBBUTT, T.H.Y.** (2002). Fundamentos de control de calidad del agua. Limusa Editores, México. 239 p.
- ✚ **TREJO-ALBARRAN, R., J. GRANADOS-RAMIREZ, H. QUIROZ-CASTELA, I. MOLINA-ASTUDILLO y J. GARCIA RODRIGUEZ.** (2000). El zooplancton del lago de Zempoala en el Estado de Morelos, México. Memorias, XI Reunión Nacional de la Sociedad Nacional de Planctología. Chapala, Jalisco. Del 6 al 9 de mayo del 2000. p 99.
- ✚ **TORRES-OROZCO, B.R.E.** (2007). Batimetría y morfometría. 3-9. En Arredondo F.J.L., Z.G. Díaz, P.J.T. Ponce (Editores). Limnología de presas mexicanas: aspectos teóricos prácticos, AGT editores y UAM, México, D.F.
- ✚ **UMAÑA, G. y C. COLLADO.** (1990) Asociación planctónica en el Embalse Arenal, Costa Rica. Rev. Biol. Trop., 38 (2A): 311-321.



- ✚ **VERDUIN, J.** (1982). Components contributing to light extinction in natural waters: Method of isolation. *Archiv. Hydrobiol.* 93: 303-312.
- ✚ **WETZEL, R.G.** (1975). *Limnology*. W.B. Saunders Company. Philadelphia, 743 p.
- ✚ **WETZEL, R.G.** (1981). *Limnología*. Primera edición. Edit. Ediciones Omega. Barcelona España: 679 p.
- ✚ **WETZEL, R.G.** (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems, Third Edition* Academic Press, USA, 1006 p.
- ✚ **WHITTAKER, R.H.** (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21(2/3): 213-251.
- ✚ **WILLIAMS, D.D.** (2005). Temporary forest pools: can we see water for the trees. *Wetlands Ecology and Management*. Vol. 13. No. 3: 213-233 p.
- ✚ **ZENG X. y T. RASMUSSEN.** (2005). Multivariate Statistical Characterization of water quality in lake Lanier, Georgia, USA” *Journal of Environmental Quality*: 34:1980-1991 p.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- ✚ <http://mexico.pueblosamerica.com/i/huitchila/> fecha de consulta 10 de Febrero de 2010
- ✚ <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem04/info/mor/m019/mapas.pdf> fecha de consulta 10 de Febrero de 2010
- ✚ <http://limno.fcien.edu.uy/pdf/informes/EstadoTrophicodeEmbalsesPSeverinoyCanelonGrande.pdf> fecha de consulta 22 de marzo 2012



ANEXO

GÉNEROS DE ORGANISMOS FITOPLANCTÓNICOS QUE SE PRESENTARON
EN EL SISTEMA HUITCHILA



Tetraedron sp.



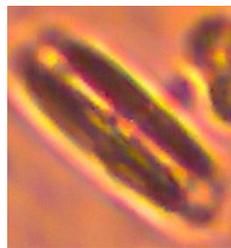
Navicula sp.



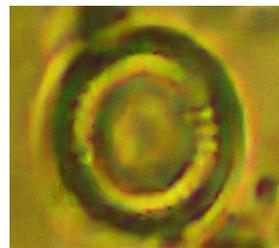
Nostoc sp.



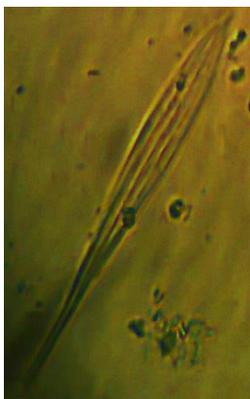
Cymbella sp.



Cymbella sp.



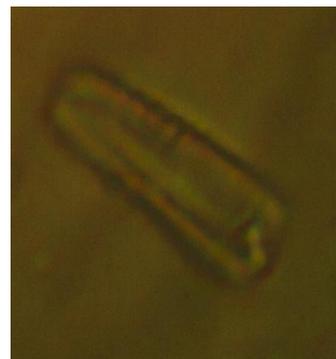
Cyclotella sp.



Fragilaria sp.



Navicula sp.



Fragilaria sp.