



**Universidad Nacional Autónoma
de México**



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Evaluación de la producción primaria y calidad del
agua del bordo Huitchila, Mor.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A

DANIEL SANTIBÁÑEZ MÁRQUEZ

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA VIII

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ LUIS GÓMEZ MÁRQUEZ

REALIZADA CON APOYO DEL PROYECTO DGAPA-PAPIME PE205513



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Resumen.....	4
Introducción.....	5
Marco teórico.....	9
Antecedentes.....	13
Área de estudio.....	17
o Morelos.....	17
o Tepalcingo.....	17
o Huitchila.....	19
Justificación.....	20
Objetivo general.....	20
o Objetivos particulares.....	20
Materiales y métodos.....	21
o Fase de campo.....	21
o Fase de laboratorio.....	22
• Muestreo del material biológico.....	22
• Densidad poblacional.....	23
• Determinación de la biomasa.....	23
o Análisis de datos.....	24
• Grado de eutrofización	24
• Análisis de los atributos ecológicos de la comunidad.....	25
• Análisis estadístico.....	26
Resultados.....	27
o Análisis de los atributos ecológicos de la comunidad.....	27
• Riqueza específica.....	27
• Listado ficológico del sistema Huitchila.....	29
• Variación temporal del fitoplancton.....	31
• Densidad poblacional.....	32
• Categorización de las especies.....	36
• Relación del fitoplancton con la clorofila “a”.....	38
• Análisis ecológico: Índice de diversidad, dominancia y equitatividad.....	39
o Índice del estado trófico.....	40
o Parámetros físico-químicos.....	41
• Nutrientes.....	48
o Análisis estadístico.....	52
• Análisis de componentes principales.....	52
• Análisis Clúster.....	55
Discusión.....	56
Conclusiones.....	69

Bibliografía.....	70
Anexo 1.....	82



Santibáñez-Márquez, D.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por su acogida y el apoyo recibido durante los largos y fructíferos años que he desarrollado en ellos mi labor como investigador.

También me complace agradecer el apoyo y los medios recibidos del laboratorio de Limnología, que se encuentra dentro de las instalaciones de la FES Zaragoza a cargo del Dr. José Luis Gómez Márquez, Director del presente estudio y que gracias a él, a la Dra. Bertha Peña, al Biol. José Luis Guzmán y su ayuda incondicional, pude completar satisfactoriamente todos los puntos a realizar en esta investigación. Asimismo, recuerdo con gratitud los meses pasados en campo, que fueron retribuidos con el desarrollo de nuevas habilidades para mi futuro como investigador.

A los sinodales, Biol. Angélica E. González Schaff y Dr. J. Salvador Hernández Avilés, que con su atención y comentarios, me ayudaron a la finalización de esta tesis.

Debo un especial agradecimiento a la Sociedad Cooperativa de Huitchila, por proporcionarnos su ayuda con la toma de muestras e información sobre el cuerpo de agua.

Por último, agradezco al programa DGAPA-PAPIME PE205513, por el apoyo financiero para el desarrollo del proyecto y de esta tesis. Asimismo, a la Carrera de Biología de la FES Zaragoza, UNAM, por el apoyo para las salidas a campo así como por los recursos necesarios en el laboratorio para el desarrollo de la presente investigación



Santibáñez-Márquez, D.

Dedicatorias

Le doy gracias a mis padres, ese triplete que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el trascurso de mi vida. A ustedes les dedico este logro ya que al motivarme y darme la mano, pude concluir este camino. Gracias por ser ese ejemplo a seguir.

A mi hermana Fernanda, que siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo, muchas veces poniéndose en el papel de madre.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño está tesis se las dedico a ustedes:

Mi equipo de laboratorio (Gaby, Denisse, Jake y Angel), sin ustedes, no hubiera sido lo mismo todos esos momentos en laboratorio y salidas a campo.

A esos amigos que hicieron de esta etapa algo inolvidable: Gael, Diana, Sebastián, Cesar (Compadre), Galo, Andrea, Fernando (La Güera), Daniel (Cepillo), Gissel, Tona, Juano y demás, a ustedes, les doy las gracias por todo lo vivido en estos últimos 5 años.

A mis amigos de la adolescencia, Alfonso Cid y Luis Albores, ustedes me enseñaron lo que era reír sin parar y despreocuparse por cosas que no valían la pena, estos años de amistad son algo que valoro con la vida, gracias.

A mis primos, Eduardo Márquez y Alan Márquez, a pesar de nuestras diferencias en gustos, la distancia o cualquier cosa, yo sé que siempre puedo contar con su apoyo, ya que no solo somos primos, si no hermanos.

A las primas locas de Marisol y Ana Paola, que siempre han estado para mí en todos estos años conociéndolas, brindándome su amistad y sus consejos.

A toda la familia Tahuilán, que me brindaron su amistad y su apoyo durante esta etapa de mi vida, les doy las gracias a cada uno de ellos.



Santibáñez-Márquez, D.

A mis maestros, Dra. Bertha Peña, Dr. José L. Gómez y Biol. José L. Guzmán, que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a cada uno de ellos les dedico cada una de las palabras redactadas en este que es mi primer libro.

A los sinodales, Biol. Angélica E. González Schaff y Dr. J. Salvador Hernández Avilés que pacientemente, revisaron todos los puntos y evaluaron con detalle cada capítulo de esta tesis.

Todo esto no hubiera sido posible sin el amparo incondicional que me otorgaron y el cariño que me inspiraron mis padres, que entendieron mis ausencias y mis malos momentos. Que a pesar de la distancia siempre estuvieron a mi lado para saber cómo iba mi proceso. Las palabras nunca serán suficientes para testimoniar mi aprecio y mi agradecimiento.

Gracias

Daniel Santibáñez Márquez.



Resumen

El presente trabajo se realizó en el microreservorio Huitchila, que se ubica en el municipio de Tepalcingo, Morelos, con el objetivo de analizar la composición, abundancia y riqueza de especies del fitoplancton y su relación con los factores ambientales y los parámetros de calidad del agua, esto con el fin de generar información entorno a las actividades acuícolas que se realizan en este sistema (Producción de *Oreochromis niloticus* y *Cherax quadricarinatus*). Los muestreos se realizaron mensualmente entre septiembre 2012 a agosto 2013. Se efectuaron las determinaciones de calidad del agua como son: oxígeno disuelto (O_2), temperatura ambiental, temperatura del agua, transparencia, silicatos (SiO_4^-), sulfatos (SO_4^-), amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), alcalinidad total, dureza total, fósforo total, fósforo reactivo disuelto inorgánico (ortofosfatos) y clorofila "a". Las muestras de fitoplancton se fijaron con acetato de lugol para su posterior conteo e identificación en el laboratorio hasta un nivel taxonómico máximo posible. Se identificaron 4 divisiones en la comunidad fitoplánctonica, compuestas por 42 especies. Chlorophyta que fue la división dominante con 31 especies, siendo *Chlorella vulgaris* la más frecuente (100%) y más abundante (353683 org/ml). Dentro de la división Cyanophyta la constituyen 5 especies siendo *Oscillatoria* sp., la más abundante y más frecuente (403353.6 org/ml y 75% respectivamente), Euglenophyta con 2 especies y Bacillariophyta de igual manera con 2 especies. La máxima riqueza de especies y abundancia del fitoplancton se registró en la época de secas. El microreservorio se considera como un sistema permanente, siendo eutrófico con tendencia a la hipereutrofía, con aguas cálidas (20.6-26.3 °C), bien oxigenadas (4.2-9 mg/L), ligeramente alcalinas, duras y de baja conductividad (898-1350 $\mu S/cm$). Este sistema presenta buena producción y alta disponibilidad de alimento necesario para la nutrición de la tilapia *Oreochromis niloticus*, especie que es explotada localmente por los pescadores.



Introducción

México cuenta con 320 cuencas hidrográficas de los cuales 49 512 km² son aguas interiores (Sugunan, 1997; Tamayo, 1998) y cubren menos del 2% de la superficie de la Tierra (Hernández-Avilés y García-Calderón, 2007; Gómez-Márquez *et al.*, 2013).

En Los últimos 50 años, México ha acelerado la construcción de bordos y presas notablemente, debido a la topografía accidentada del suelo mexicano y a la necesidad creciente de retener los escurrimientos superficiales temporales durante la época de lluvias (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992). En la República Mexicana existen 14 000 cuerpos de agua lénticos, de los cuales el mayor número se localiza en la zona geoeconómica Centro-Occidente, que incluye a los estados de Jalisco y Michoacán, siguiendo en importancia la región Centro-Sur y la Norte (Athié, 1987; De la Lanza y García, 2002). De estos sistemas destacan por su abundancia los bordos, que ocupan el 67.13% de los cuerpos hídricos y cubren 188,781 ha, que representan el 14.74% de la superficie inundada de las aguas epicontinentales; aproximadamente el 90% son sistemas temporales, con dimensiones menores a diez hectáreas (Quiroz-Castelán *et al.*, 2009).

En estudios realizados en los últimos años, se ha demostrado que los sistemas dulceacuícolas pequeños (microembalses, bordos o jagüeyes) tienen una gran importancia ecológica y alta potencialidad de generación de recursos, tales como el cultivo de peces como la carpa y la tilapia (peces 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 de relieve, no es posible que se presente de manera natural, la acumulación o embalses de agua a partir de lluvia y de los escurrimientos (Navarrete-Salgado *et al.*, 2000; Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

Los bordos son reservorios artificiales de agua, temporales ó permanentes, muy dinámicos, con una cortina rústica construida de tierra ó mampostería, generalmente está constituido por aguas turbias debido a la abundancia de los sólidos en suspensión y a la materia orgánica, la calidad del agua está en función de la región hidrológica a la que pertenece y de las sales disueltas que contenga (Hernández-Avilés *et al.*, 2002). Estos pequeños embalses se llenan básicamente por captación del agua de lluvia, y son utilizados principalmente como abrevaderos para el ganado y para actividades de extensionismo acuícola, sobre todo para la producción piscícola (Hernández-Avilés *et al.*, 2007). El balance hidráulico de estos sistemas dependen de tres factores



Santibáñez-Márquez, D.

principales: la precipitación, la evaporación y el escurrimiento superficial (De la Lanza y García, 2002). También satisfacen parcialmente las necesidades de agua para la agricultura campesina, de tal modo que el éxito de los cultivos asociados con los pequeños reservorios depende de las variaciones en el tiempo atmosférico, de ahí la importancia de estos pequeños sistemas como un medio para la captación, depósito y uso con múltiples propósitos (Athié, 1987). En función del tiempo de permanencia del agua, estos embalses se clasifican de la manera siguiente: Sistemas permanentes, aquellos que presentan un volumen remanente constante cada año; Semipermanentes, aquellos sistemas que se llegan a secar en forma esporádica, y los Temporales, con duración del agua entre seis y ocho meses al año (Hernández-Avilés *et al.*, 2002). Estos pequeños embalses se llenan por captación del agua de lluvia y se utilizan para regar los cultivos en los periodos críticos del temporal (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Sugunam, 1997; Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

La forma de estos microembalses es generalmente circular y por sus dimensiones se favorece un mayor intercambio de materiales con la cuenca y un incremento en la tasa de sedimentación. De esta manera, un perfil batimétrico cóncavo favorece a una distribución homogénea de las partículas en el fondo del sistema. Estos pequeños embalses se encuentran localizados en zonas con pendientes pronunciadas o están comunicados por medio de afluentes, lo que asegura su llenado en la época de precipitación pluvial. En general se les puede considerar embalses someros con profundidades máximas entre uno y cinco metros que se forman en época de lluvias. En estos cuerpos de agua existe una estrecha relación de la temperatura ambiental, además, por la acción del viento presenta la misma condición térmica a lo largo de toda la columna de agua; aunque en ciertos momentos del día existe una discontinuidad térmica que con el trabajo producido por el viento se rompe con facilidad (de la Lanza y García, 2002).

Los cambios del nivel del agua en cuerpos acuáticos ocurren estacionalmente y coinciden con los cambios de temperatura (Wallace *et al.*, 2006). Por lo tanto se producen cambios en las propiedades físicas, químicas, en la estructura biológica y la dinámica de los entornos de los ecosistemas. Con frecuencia las comunidades experimentan un proceso de reestructuración durante un ciclo anual (Azevedo y Costa-Bonecker, 2003). En aguas subtropicales las variaciones estacionales más significativas están relacionadas con las épocas de secas y lluvias, lo que resulta una clara distinción con los sistemas templados (Wallace *et al.*, 2006). Estos embalses están dentro de la clasificación de polimícticos cálidos continuos ó discontinuos, por ser someros y encontrarse en latitudes tropicales (Lewis, 1983).



Santibáñez-Márquez, D.

La importancia de estos embalses acuáticos resultan de gran interés desde un punto de vista económico, al ser sistemas ricos en nutrientes y muy productivos (eutróficos), y por ende adecuados para la acuicultura; ya sea con el propósito de generar alimento para consumo en el nivel local, o para la producción de especies de importancia comercial, como el langostino (en sistemas ubicados en climas cálidos) o los charales y la trucha (en ambientes templados o fríos) (Hernández-Avilés *et al.*, 2007).

La mayoría 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. En algunos casos existen aportes constantes de desagües aledaños, por lo que estos sistemas trabajan con un ritmo acelerado. Algunos de estos reservorios poseen una salida de agua (compuerta) para el manejo útil del excedente del agua para su uso antropogénico (ganadería, siembra, etc.) y también para evitar el desbordamiento de este embalse (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992).

Dentro de este proceso de eutrofización en que se mantienen estos ecosistemas se da un gradiente que va desde la típica eutrofia hasta la hipereutrofia, que depende básicamente de la matriz geológica donde se construyó el embalse, el clima de la zona, la morfometría de la cubeta, el aporte de nutrimentos, la materia orgánica alóctona y el grado de contaminación al que se está sometiendo (Ponce-Palafox y Arredondo-Figueroa, 1986). En estos sistemas es posible reconocer tres etapas de sucesión ecológica alternada, estas son: fase de transición, fase de dilución y fase de concentración (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992). La fase de dilución hace que los materiales en solución y suspensión provocan que el decremento en la alcalinidad, dureza y conductividad sean considerables. Esta favorece la cadena de pastoreo, al presentar una zona fótica o de penetración de luz entre los 0.8 y 2 metros (dependiendo de la profundidad del sistema) y una concentración de nutrientes que permite una mayor diversidad fitoplanctónica (Naselli-Flores, 2000).

Como consecuencia del aumento de la carga de nutrientes en los sistemas dulceacuícolas, la biomasa fitoplanctónica también suelen aumentar (Wetzel y Likens, 2000; Oliva-Martínez *et al.*, 2008). El fitoplancton está sometido a una fuerte influencia estacional y en las zonas tropicales se pueden observar grandes contrastes entre las asociaciones de especies en las épocas de lluvias y de sequía (Horne y Goldman, 1994).



Ecológicamente, los bordos son sistemas muy dinámicos con:

- Amplias fluctuaciones de nivel y de las condiciones ambientales a lo largo del año.
- Altas cargas de nutrientes por el acarreo de materiales de la cuenca de drenaje en la época de precipitación pluvial ó por fertilización periódica con estiércol, que provoca que los organismos se vean expuestos a cambios drásticos.
- Incremento de la carga de nutrientes y por ende del estado trófico.
- Bajos niveles de intensidad lumínica por turbidez abiogénica o biogénica (material suspendido en el agua de origen inorgánico u orgánico respectivamente).
- Movimientos continuos en el nivel horizontal y vertical de la columna de agua por acción del viento.
- Periodos prolongados de sequía (en sistemas temporales).
- Amplias fluctuaciones de temperatura a lo largo del día y de las estaciones del año.
- Reducción en la concentración de oxígeno por procesos de descomposición de la materia orgánica en los sedimentos

(Hernández-Avilés *et al.*, 2002)

Respecto a la calidad del agua no es adecuado hablar de buena o mala en abstracto, sino que cada actividad requiere agua que llene los requisitos para su uso (Novotny y Olem, 1994). Sin embargo, existen factores físicos, químicos y biológicos que pueden afectar de manera natural su calidad y hay dos formas a través de las cuales se puede contaminar el agua. Una de ellas es por medio de contaminantes naturales, es decir, el ciclo natural del agua puede entrar en contacto con contaminantes que se vierten en las aguas de ríos y lagos, en la atmósfera y en la corteza terrestre; por ejemplo: sustancias minerales y orgánicas disueltas en suspensión, bacterias, arcillas, materia orgánica, etc. La otra es a través de los contaminantes generados por el hombre producto de los desechos industriales (Lima-Mendoza, 2007).

Así, la calidad del agua está en función de la región hidrológica a la que pertenece y a las sales disueltas que contenga. Como se cita anteriormente en este trabajo, los factores que propician a que conserven un volumen de agua y la permanencia de estos sistemas son: la precipitación, evaporación y el escurrimiento superficial; así como de otros procesos secundarios como flujo de agua subterránea, pérdidas de filtración y captura por vegetación aledaña al sistema.



Marco teórico

Wetzel (1981) cita que la cantidad de agua continental es muy pequeña en relación con la oceánica, pero tiene periodos de renovación mucho más rápidos; las aguas continentales cubren menos de un 2% de la superficie de la Tierra.

Margalef (1983) cita que un embalse artificial reúne peculiaridades que son debidas a los procedimientos de construcción; puesto que los embalses nacen con una importante cantidad de materia orgánica derivada de la cubierta vegetal del área inundada.

La cantidad de depresiones pertenecientes a los lagos más pequeños y embalses es muy grande, y la mayoría de ellos están concentradas en las regiones templadas y subárticas del Hemisferio Norte; cabe mencionar que dentro de los embalses se encuentran los micro embalses o bordos también llamados jagüeyes, que generalmente están constituidos por aguas turbias debido a los sólidos en suspensión y a la materia orgánica (De la Lanza y García, 2002).

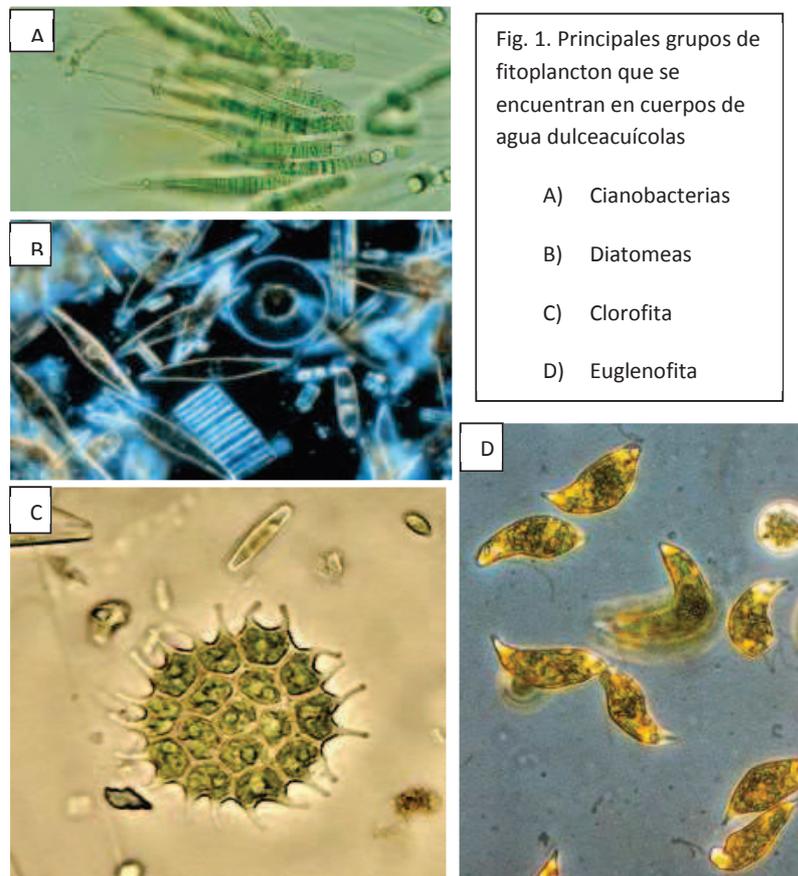
Los microembalses de agua dulce constituyen un excelente hábitat para las comunidades bénticas, nécticas y planticas dependiendo de las cantidades de nutrientes que contengan el medio (Granados-Ramírez y Álvarez-Del Ángel, 2003). Dentro de la materia orgánica suspendida en el cuerpo de agua (seston) se ubica el plancton que es el conjunto de organismos de pequeño tamaño, que tienen como característica principal habitar la columna de agua y que son transportados por las corrientes (movimiento pasivo) (Horne y Goldman, 1994; Wetzel, 2001; Aguilar, 2003; González *et al.*, 2004; Gómez-Márquez *et al.*, 2013).

Bajo esta definición operativa, la composición de organismos de esta comunidad resulta ser ampliamente diversa incluyendo virtualmente todos los fila que habitan el ambiente acuático, y aunque las bacterias y los virus se consideran parte de esta comunidad, a grandes rasgos se distinguen principalmente dos grupos, uno de ellos es el fitoplancton, que incluye a los organismos (microalgas) que obtienen su energía por medio de la energía luminosa y los nutrientes por el proceso de fotosíntesis (componente autótrofo) y el zooplancton que son los organismos que obtienen su energía ingiriendo otros organismos (componente heterótrofo) (Wetzel, 2001; Aguilar, 2003).

Margalef (1983) señala que los productores primarios que forman parte del plancton han sido relativamente más estudiados y son mejor conocidos que los organismos en el bentos.



Santibáñez-Márquez, D.



Las comunidades ecológicas se encuentran conectadas a través de los flujos de materia y energía, el flujo de materia es cíclico y el de energía unidireccional.

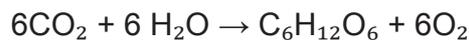
Es a través de estos flujos que convergen las componentes abiótica y biótica del ecosistema y uno de estos puntos de convergencia es la fotosíntesis, una gran variedad de estudios ecológicos tienen como objetivo evaluar, además del número de organismos de una población, la biomasa, producción y productividad de un sistema acuático. Esto permite establecer, hipotéticamente, su potencial trófico, esto es, si un sistema tiene una mayor productividad primaria, deberá ser capaz de mantener un mayor número de niveles tróficos (Begon *et al.*, 1999).

En las zonas de aguas abiertas de lagos y embalses, el fitoplancton constituye la base esencial de las tramas tróficas (Lacroix, 1992), por lo que estos cuerpos de agua pueden considerarse como sistemas autótrofos, donde los componentes vegetales del plancton son capaces de acumular energía lumínica solar en forma de compuestos químicos energéticos gracias a la fotosíntesis (González de Infante, 1988).



Santibáñez-Márquez, D.

El fitoplancton es uno de los grupos biológicos más importantes, se encuentra en la base de la cadena alimentaria de los ecosistemas acuáticos, ya que sirve de alimento a organismos mayores; es decir realiza la parte principal de la producción primaria en los ambientes acuáticos, sobre todo los dulceacuícolas, al encargarse de fijar el CO₂ atmosférico y el que se encuentra en el agua libre o asociado. La fotosíntesis es un proceso mediante el cual los productores primarios forman su propia materia a partir de luz y puede esquematizarse de la siguiente manera:



De acuerdo a la clasificación de Reynolds (2002), el fitoplancton se clasifica en función del tamaño como, picoplancton de 0.2 – 2 µm, nanoplancton de 2 – 20 µm, microplancton de 20 – 200 µm y el mesoplancton de 200 – 2000 µm. Dentro los grupos más abundantes de fitoplancton en aguas dulces, se encuentran las cianobacterias (algas verde-azules), las clorofíceas (algas verdes), las euglenofitas y las diatomeas que son organismos microscópicos con pigmentos amarillos-dorados (Fig. 1).

El fitoplancton, como productor primario, es el primer eslabón de la cadena trófica y 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).

Los factores que afectan considerablemente a las poblaciones de organismos fitoplanctónicos y su producción primaria, así como la calidad del agua de estos embalses, es la limitación de la penetración de luz por la turbidez generada por partículas suspendidas bióticas o abióticas en ambientes ricos en nutrientes. La resuspensión de los sedimentos causada en gran parte por los vientos en los sistemas acuáticos someros y los aportes que se tienen de los ríos son factores importantes que modifican la concentración de materiales en suspensión y por tanto la profundidad de la zona fótica de la columna de agua (Peña-Messina *et al.*, 2007).

La producción primaria es la base de todo ciclo metabólico de biogénesis en las aguas. De la producción primaria viven los consumidores animales; primero los mismos fitófagos (consumidores primarios), después los depredadores (consumidores secundarios), y finalmente, a través de niveles intermedios más o menos numerosos, los peces (Schwoerbel, 1975).



Santibáñez-Márquez, D.

La importancia de evaluar la producción primaria recae en que permite obtener la capacidad de captación de energía de los organismos autotróficos. En los sistemas acuáticos a través de su evaluación se conoce la tasa de incorporación del carbono inorgánico durante la fotosíntesis por parte del fitoplancton (Roldán y Ramírez, 2008).

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

Para comprender las interacciones que afectan el desarrollo de un sistema acuático se disponen de herramientas estadísticas; el análisis multivariado es uno de ellos que se ha venido utilizando en la caracterización de la calidad de cuerpos de agua 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 encuentran el uso de técnicas 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; Zeng y Rasmussen, 2005).



Antecedentes

En México los estudios realizados sobre la flora ficológica de ambientes continentales empezaron a tomar relevancia a mediados del siglo XX, a pesar de ello, pocos los trabajos publicados a este respecto, por eso, es importante llevar a cabo trabajos de esta índole, considerando que el conocimiento de la biota y su relación con las condiciones climáticas puede hacer posible el manejo de estas cuencas (García-Rodríguez *et al.*, 2003). Se realizó una búsqueda de información relacionado a las características de los sistemas acuáticos presentes en el estado de Morelos, dando a conocer las características limnéticas de la mayoría de estos embalses que a continuación se enlistan.

Espinosa (2011) realizó un análisis de calidad del agua que incluyó factores físicos, químicos y biológicos, evaluó la morfometría y batimetría de cuatro sistemas denominados Los Planes ubicados en el municipio de Tlacayapan, estado de Morelos, México. Los resultados que obtuvo fueron que a los sistemas los clasificó como hipereutróficos a lo largo de todo el año; identificó 182 especies de fitoplancton agrupadas en: Bacillariophyta (35 especies), Chlorophyta (87 especies), Cyanophycota (20 especies), Euglenophycota (33 especies), Pirrophycota (1 especie) y Xantophyta (6 especies).

Quiroz-Castelán *et al.* (2010) evaluaron las condiciones de la calidad del agua de la presa “El Abrevadero” señalando que hay diferencias significativas en los parámetros físico-químicos dentro los diferentes muestreos para el cultivo de la mojarra-tilapia.

Quiroz-Castelán *et al.* (2008) analizaron las variaciones del oxígeno disuelto, porcentaje de saturación y temperatura en la columna de agua durante ciclos nictimerales, en los Lagos de Zempoala y Tonatiahua ubicados en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Los mayores valores de oxígeno disuelto, se presentaron en Zempoala y la temperatura fue análoga a ambos lagos de acuerdo a los valores promedio totales, el comportamiento de la temperatura y oxígeno disuelto en el periodo de estratificación para ambos lagos fue semejante. La variación de los parámetros estuvo directamente influenciada por la estacionalidad, su morfometría y el entorno. El lago de Zempoala se consideró como monomíctico con tendencia a meromíctico cálido y Tonatiahua como monomíctico cálido.

Ramírez (2008) realizó un diagnóstico de los cuerpos lenticos del estado de Morelos en la parte del norte-oriental. Registro 43 embalses distribuidos en 11 municipios; de estos, 10 temporales y 33 permanentes. Clasificó a estos embalses como hipertróficos (50%),



Santibáñez-Márquez, D.

eutróficos con tendencia a la hipereutrofia (48%) y el resto clasificados como eutróficos. Con respecto al fitoplancton, registró un total de 145 especies pertenecientes a cinco divisiones, el zooplancton con 31 especies de tres familias. La ictiofauna estuvo representada por ocho especies pertenecientes a 8 géneros.

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. La mayoría de los sistemas los clasificó como hipertróficos (un poco más del 50%) y en menor proporción en sistemas mesotróficos y mesotrófico-eutróficos. Reportó cinco divisiones de fitoplancton con un total de 90 especies. Con respecto al zooplancton señala un total de 19 especies, 13 géneros y 9 familias y para la ictiofauna menciona un total de 10 especies, 10 géneros y 7 familias.

Quiroz-Castelán *et al.* (2005) analizaron las condiciones físicas y químicas del agua y sedimento del Lago Zempoala durante un ciclo anual. Con lo que respecta al oxígeno disuelto y al CO₂ que encontraron, indicaron procesos de descomposición, sobre todo en algunas áreas de la zona litoral y en el fondo del sistema.

García-Rodríguez *et al.* (2003) describieron las especies del fitoplancton que estaban presentes en el lago de Tonatiahua durante colectas que realizaron cada 40 días durante agosto de 1998 hasta marzo de 1999, colectando a 3 profundidades (superficie, media agua y fondo) en 3 zonas de muestreo. Registraron un total de 24 especies, incluidas en las siguientes clases: Chlorophyceae con 4 especies, Chlamydomonadales con 3 especies, Cyanophyceae con 3 especies, Euglenophyceae con 2 especies, Dinophyceae con 1 especie y Bacillariophyceae con 11 especies.

Quiroz-Castelán *et al.* (2000) analizaron la composición del zoobentos tomándolo como referencia de indicador del nivel trófico y del grado de contaminación en el lago de Zempoala, ya que éste forma parte de los productores secundarios y aprovecha la gran cantidad de nutrientes que el sedimento proporciona. En este trabajo se identificaron sus principales grupos y se estimó su abundancia y distribución en el lago durante un ciclo anual.

Quiroz-Castelán *et al.* (1999) analizaron la abundancia y la diversidad del fitoplancton en estanques de policultivo de peces, utilizando fertilizantes orgánicos, inorgánicos y combinados de Jiutepec, Morelos, de septiembre de 1991 a marzo 1992 en 5 estanques rústicos con una profundidad promedio de 1m, con recambios parciales de agua y fertilización de los estanques para el policultivo de carpas y tilapia, después realizaron una colecta de fitoplancton durante un periodo de 15 días. Registraron un total de 60 taxones fitoplanctónicos. En general, la dominancia de clorofitas en los



Santibáñez-Márquez, D.

estanques lo consideraron como sistemas aceptables para el cultivo de peces, de acuerdo a las condiciones consideradas como adecuadas para la dinámica de los sistemas acuáticos.

García-Rodríguez y Tavera (1998) presentan la composición fitoplanctónica del lago de Zempoala, durante abril de 1996 a julio de 1997. Caracterizaron taxonómicamente al fitoplancton, su ecología y la distribución geográfica y dieron como conclusión que el fitoplancton presenta una mayor diversidad, menor abundancia en zonas templadas y una menor diversidad pero mayor abundancia en zonas tropicales.

González y López (1997) realizaron muestreos mensuales en la presa “Emiliano Zapata” Morelos, de Noviembre de 1994 a Octubre de 1995 para conocer la dinámica del sistema durante en un ciclo anual. Notaron que la mayoría de los factores físicos y químicos se vieron influenciados por la época de lluvia y estiaje, algunos aumentaron su concentración y otros la disminuyeron (salvo en alcalinidad, amonio, sulfatos y cloruros en los que no se vio ningún efecto). La calidad del agua del sistema se caracterizó tipo mesotrófico. Registraron 26 especies de fitoplancton incluidas en 4 divisiones; Cyanophyta, Chromophyta (*Bacillariophyceae*), *Euglenophyta* y *Chlorophyta*, de las cuales *Chroococcus minutus* fue la que resulto más abundante.

Quiroz-Castelán *et al.* (1992) realizaron el análisis de aspectos relacionados con los organismos fitoplanctónicos y la productividad primaria en estanques de producción bajo fertilización intensiva. Los resultados que obtuvieron fue que la composición y abundancia del fitoplancton ejerce una importante influencia sobre la eficiencia de producción en el sistema acuático.

Magallón-Barajas *et al.* (1992) presenta un estudio limnológico que duro 7 meses en la presa Los Carros en el estado de Morelos, donde registraron diferentes variables físico químicas y morfométricos, con el propósito de determinar las características limnológicas del embalse. Con los datos que obtuvieron respecto a la formación de una termoclina incipiente, la saturación de oxígeno y la variación de los nutrimentos a lo largo del tiempo del estudio, permitió suponer que debido a su reciente inundación el embalse se encontraba en un proceso de estabilización.

Porras (1986) llevó a cabo un estudio en varios bordos y embalses temporales del estado de Morelos, en el que se determinaron los factores morfométricos de los reservorios, la calidad del agua con base en los parámetros físicos y químicos (temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos disueltos, transparencia, coeficiente de extinción, pH, alcalinidad, dureza, magnesio, CO₂, calcio y cloruros) y el metabolismo de la comunidad (fitoplancton, zooplancton y peces); encontrando dos



Santibáñez-Márquez, D.

fases: de dilución y concentración con una correlación estrecha con el aporte de agua de la barranca y del canal que los abastece, además menciona que estos sistemas están en un estado de oligotrofia y uno en el límite de la eutrofia.

Porras (1984) integró un estudio el conjunto de datos morfométricos de embalses situados en la Cuenca Oriental del Estado de Morelos; encontró que la configuración de los embalses varió considerablemente de circular a elipsoidal, con una cubeta tipo parabólico y conos elípticos, además describió la importancia de amplias fluctuaciones a lo largo del periodo de estudio.



Área de estudio

Morelos

El Estado de Morelos, se encuentra ubicado en la parte central de la República Mexicana, dentro de la Cuenca del Río Balsas, posee una altitud que varía desde los 3,000 msnm, en los límites con el Distrito Federal, hasta 850 msnm, en la región de Huaxtla. Presenta las coordenadas geográficas 19°08', 18°20' latitud norte; 98°38', 99°30' longitud oeste. Está conformado por 33 municipios y su extensión es de 4,892.73 km², representado el 0.249% de la superficie del país (INEGI, 2000) (Fig. 2).

Tepalcingo

El municipio se ubica geográficamente entre los paralelos 18°26' latitud norte y 98°18' longitud oeste, a 1,100 msnm. Limita al norte con Ayala y Jonacatepec; al sur con Tlaquiltenango y el Estado de Puebla; al este con Axochiapan y Jonacatepec; y al oeste con Ayala y Tlaquiltenango (Fig. 2) (INEGI, 2000).

Hidrología: Se cuenta con los escurrimientos de la barranca de Amayuca, que se transforma en el río Tepalcingo, abajo de la cabecera municipal, recibe las aguas de los manantiales de Atotonilco. Pasa cerca de Ixtlilco el Grande y sirve de límite a este municipio con el de Axochiapan. Unos kilómetros más abajo recibe las aguas del arroyo Texcaltepec.

Clima: De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (2004), la zona tiene un clima Awo(w)(i')y, cálido subhúmedo con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con una temperatura media anual de 22.6° C y precipitación promedio anual de 864.5 mm².

Características y Uso del Suelo: Tepalcingo es un municipio eminentemente agrícola ya que utiliza 120.62 km² de uso agrícola, 19.62 km² de uso pecuario y 256.18 km² de uso forestal, se puede señalar con este mismo dato que la tenencia de la tierra ejidal es de 305.78 km² y particular de 74.36 km² (INEGI, 2002).



Santibáñez-Márquez, D.

Vegetación: La vegetación en este municipio es muy diversa. Se encuentran grandes áreas urbanizadas y con elementos dominantes de flora introducida y algunos representantes aislados de vegetación primaria. El tipo de vegetación que predomina en el municipio es de Selva Baja Caducifolia, se encuentra distribuida de los 1000 a los 1300 m.s.n.m. Las especies más representativas están listadas a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Especies representativas de Tepalcingo, Morelos (INEGI, 2000).

Nombre científico	Nombre común
<i>Ficus petiolaris</i>	Amate amarillo
<i>Haematoxylum brasiletto</i>	Palo de Brasil
<i>Licania arborea</i>	Cacahuananche
<i>Ipomoea wolcottiana</i>	Cazahuate
<i>Erythrina flabelliformis</i>	Colorín
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Cuahulote
<i>Crescentia alata</i>	Cuatecomate
<i>Acacia pennatula</i>	Cubata blanca
<i>Acacia cochliacantha</i>	Cubata negra
<i>Leucaena sculeta</i>	Guaje rojo
<i>Psidium sp.</i>	Guayabo
<i>Prosopis juliflora</i>	Mezquite
<i>Conzattia multiflora</i>	Guayacán
<i>Ceiba pentandra</i>	Pochote
<i>Lysiloma divaricata</i>	Quebrache
<i>Lysiloma acapulcensis</i>	Tepeguaje

Geología: Las interacciones de los elementos que integran los ecosistemas como el clima, el material parental, el relieve la hidrología y la biota influyen en la génesis, morfología y distribución del suelo. En el estado de Morelos existen solamente afloramientos de rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas volcánicas son las más jóvenes y abundantes. 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.



Santibáñez-Márquez, D.

En la provincia de Tepalcingo afloran las rocas más antiguas de Morelos, que son las del Cretácico Inferior; litológicamente están clasificadas como calizas de ambiente marino. El Estado de Morelos está caracterizado por 12 unidades edáficas principales: Feozem, Vertisoles, Andosoles, Regosoles, Litosoles; Redzinas, Luvisoles, Fluvisoles (INEGI, 2002).

Huitchila

El bordo Huitchila se encuentra en Morelos, dentro del municipio de Tepalcingo, en la localidad de Adolfo López Mateos, entre las coordenadas $18^{\circ}39'40.35''$ y $18^{\circ}38'55.74''$ latitud Norte; $98^{\circ}54'50.25''$ y $98^{\circ}55'37.34''$ longitud Oeste, a 1160 msnm. Tiene una longitud máxima de 605.38 m, ancho máximo de 283.36 m y profundidad máxima de 5m aproximadamente (Fig. 2) (García, 2004).

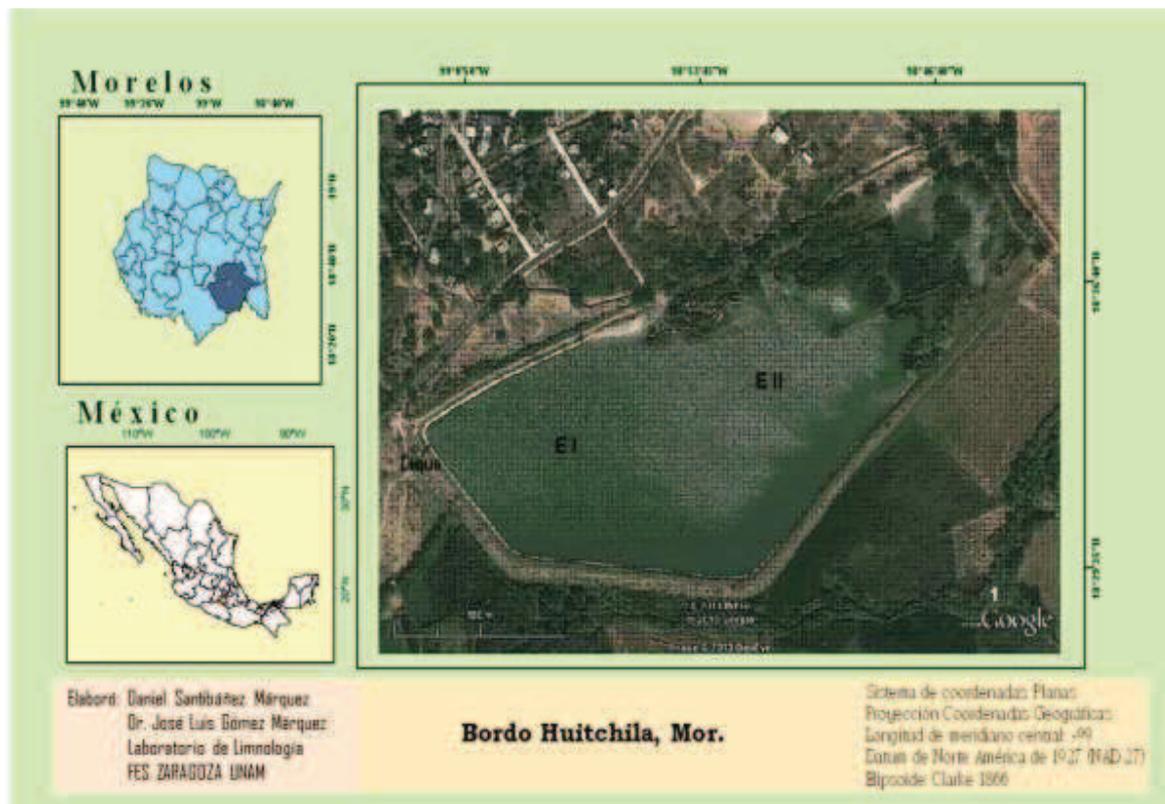


Fig.2. Mapa de la zona de estudio, mostrando los sitios de muestreo (E1 y E2)



Justificación

Los sistemas dulceacuícolas juegan un papel importante desde el punto de vista biológico y ecológico, ya que experimentan cambios físicos y químicos por efecto de los factores ambientales y antropogénicos, que afectan la calidad de este recurso como también, a las comunidades vegetales y animales que se sustentan de este medio. Así, el análisis de la composición y variación del fitoplancton tiene un papel muy importante como principal productor de energía en un sistema acuático, ya que provee de alimento a los consumidores a través de la disponibilidad de la biomasa en la red trófica, que esto beneficia a su vez a la producción acuícola y a la dinámica de sus poblaciones, lo que se traduce en un alto valor ecológico y de importancia económica pesquera.

Objetivo general

- Analizar la producción primaria del bordo Huitchila y su relación con los factores físicos y químicos del agua.

Objetivos particulares

- Realizar el análisis físico y químico del agua del bordo con el fin de evaluar su variabilidad durante el periodo de estudio.
- Analizar la producción primaria en un ciclo anual a través de la biomasa fitoplanctónica (clorofila a).
- Determinar la diversidad de especies presentes en el fitoplancton.
- Analizar la variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en un ciclo anual.
- Analizar la relación entre la abundancia fitoplanctónica y los factores físicos y químicos.



Materiales y Métodos

Fase de campo

Los muestreos se efectuaron mensualmente durante septiembre del 2012 a agosto del 2013. Se establecieron dos estaciones de muestreos para el cuerpo de agua Huitchila (Fig. 4), estos sitios se georeferenciaron con ayuda de un GPS (Global Positioning System), estableciendo los puntos en coordenadas geográficas y UTM; así como la altitud. Para la toma de muestras de agua a dos niveles de profundidad, se utilizó una botella Van Dorn de dos litros de capacidad y se almacenaron las muestras en botellas de polietileno de un litro para llevar a cabo la determinación de los parámetros químicos (calidad del agua) en el laboratorio de Limnología, ubicado en las instalaciones de la FES Zaragoza, UNAM.

In situ se registraron los siguientes parámetros en cada una de las dos estaciones de muestreo.

Parámetro	Aparato	Marca/Modelo
Temperatura ambiental (°C)	Termómetro ±1 °C	BRANNAN -1°C a 51 °C
Temperatura H ₂ O (°C)	Oxímetro	HANNA-HI9146
Oxígeno disuelto (mg/L)	Oxímetro	HANNA-HI9146
Transparencia (m)	Disco de Secchi	
Profundidad (m)	Cuerda métrica	
Conductividad (µS/cm)	Multiparámetro	HANNA-HI991300
Sólidos disueltos totales (ppm)	Multiparámetro	HANNA-HI991300
pH	Multiparámetro	HANNA-HI991300



Santibáñez-Márquez, D.

Fase de laboratorio

Para la cuantificación de los nutrimentos se realizaron los siguientes métodos.

Parámetro	Método
Nitratos (mg/L)	Ácido fenoldisulfónico
Nitritos (mg/L)	Ácido sulfanílico (reactivo seco)
Amonio (mg/L)	Azul de indofenol
Fosforo Total (mg/L)	Fosfomolibdato con digestión acida
Ortofosfatos (mg/L)	Fosfomolibdato
Clorofila "a" (mg/L)	Espectrofotómetro
Sulfatos (mg/L)	Turbimétrico
Silicatos (mg/L)	Molibdo-Silicato
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Indicadores (fenolftaleína y anaranjado de metilo)
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	Complejométrico

Pacheco-Meneses *et al.*, 1982; Cervantes, 1984; Arredondo-Figueroa, 1986; Contreras, 1994; Blancas *et al.*, 2011.

- Muestreo del material biológico

Las muestras de fitoplancton fueron colectadas en los niveles de 0.3 m y 1 m de la columna del agua respectivamente de los dos sitios de muestreo. Las muestras fueron directamente tomadas con la botella Van Dorn y se colocaron dentro de un recipiente de plástico con capacidad de 50 mL. El material biológico recolectado fue fijado con acetato de Lugol (3-4 gotas) para su posterior análisis en laboratorio (Schwoerbel, 1975).



Fig. 3. Microscopio invertido, Laboratorio de Limnología FES Zaragoza, UNAM



Santibáñez-Márquez, D.

- Densidad poblacional

La determinación de la densidad del fitoplancton se llevó a cabo por conteo, esto se hizo con ayuda de cámaras de sedimentación con capacidad de 10 mL (Wetzel y Likens, 2000) de la siguiente manera: se agitó la muestra para homogenizar el contenido de organismos, inmediatamente se tomó con una pipeta una alícuota de 1 mL para agregarla a la cámara de sedimentación, se colocaron 8 mL de agua más una gota de acetato de lugol, se completó el volumen a 10 mL, y en la parte superior de la cámara se colocó un portaobjetos, deslizándolo cuidadosamente; para finalizar se dejó sedimentar 24h para su posterior análisis e identificación de las especies con ayuda de los manuales de microalgas. El conteo de células e identificación se realizó con ayuda de un microscopio invertido (Fig. 3) siguiendo el método de Utermöhl (Schwoerbel, 1975; Hasle, 1978). La identificación se hizo hasta el nivel específico posible con ayuda de los manuales de microalgas (John *et al.* 2002; Ortega, 1984; Ortega, 1994; Ettl y Gärtner, 1988; Dillard, 1989; Needham y Needham, 1972) y los resultados se expresaron como org/mL. Los conteos se realizaron por duplicado.

- Determinación de la biomasa

Para la determinación de biomasa de fitoplancton (clorofila “a”) se filtró la muestra (en función de la cantidad de sólidos suspendidos fueron los ml filtrados) al vacío con un filtro de fibra de vidrio (Millipore tipo HA) con poros de 0.42 μm , el papel filtro ya procesado (tono color verdoso) se colocó en un tubo de centrifuga añadiéndole 3 ml de acetona al 90% (acetona alcalinizada), se maceró y se completó el volumen con acetona hasta 10 mL. Las muestras fueron colocadas en cuarto oscuro durante 2h a temperatura ambiente. Posteriormente se centrifugó durante 10 minutos a 4 000 rpm.

Para determinar la clorofila “a”, se midió la extinción del extracto de acetona en un espectrofotómetro a longitudes de onda de 750nm (este valor se da por la turbidez que se restará a los valores de absorbancia), 665nm, 645nm y 630nm (filtros de color). Estas longitudes de onda corresponden a los máximos de absorción de la clorofila “a”, “b” y “c” sucesivamente. Se compararon las muestras con un blanco de acetona al 90% (Schwoerbel, 1975).



Santibáñez-Márquez, D.

La concentración de la clorofila “a” obtenida en las muestras de fitoplancton se calcularon con la siguiente formula.

$$\text{Clorofila } a = 11.65 E_{665} - 2.16 E_{645} + 0.10 E_{630}$$

La obtención de la concentración de clorofila “a” se calculó al restar la extracción medida a 750 nm de las extracciones a 665, 645 y 630; para después multiplicarlos por el volumen de la extracción en mililitro y se dividió por el volumen de agua en litros (Contreras, 1994).

Análisis de datos

- Grado de eutrofización

Se determinó el estado trófico (Índice de estado trófico, IET) del sistema mediante el índice de Carlson y Simpson (1996) que es, probablemente de los más utilizados. Las variables que toma el índice son los valores medios anuales de los siguientes parámetros: profundidad de la visibilidad al disco de Secchi, concentración de fósforo total y clorofila “a”.

Este índice, reduce el estado trófico de un lago a un valor (en una escala de 0 a 100), en un intento por evitar la subjetividad inherente a los términos oligotrófico, mesotrófico y eutrófico.

Un valor del IET inferior a 20 representa condiciones de ultraoligotrofia; entre 30 y 40, oligotróficas; entre 40 y 50, mesotróficas; en el rango entre 50 y 70, de eutrofia y por encima de 70, condiciones de hipereutrofia.

Las ecuaciones para calcular el IET propuestas por Carlson y Simpson (1996) son:

$$IET \text{ disco de secchi (IETs)} = 60 - (14.41 [\ln[DS \text{ promedio}]])$$

$$IET \text{ fosforo total (IETft)} = 14.2 [\ln [FT. \text{ promedio}]] + 4.15$$

$$IET \text{ clorofila a (IETca)} = 9.81[\ln[\text{clorofila a promedio}]] + 30.6$$



Santibáñez-Márquez, D.

- Análisis de los atributos ecológicos de la comunidad

La posición jerárquica de las especies dentro de la comunidad se determinó a partir de sus abundancias numéricas utilizando la prueba de Olmstead-Tukey (Gómez-Márquez *et al.* 2013). Esta prueba se utiliza para determinar el carácter de las especies como dominantes, ocasionales, constantes y raras. (Sokal y Rohlf, 1981). Este procedimiento analiza gráficamente la frecuencia relativa (%) o también llamada frecuencia de aparición de cada especie (eje X), contra el ln de la abundancia absoluta (ln org/mL) (eje Y).

Se calculó la riqueza específica (S) para conocer el número de especies que se identificaron en cada muestreo (Brower y Zar, 1977).

Se calculó diversidad (H') mediante el índice de Shannon-Wiener (Moreno, 2001), el cual toma en cuenta la proporción del número de individuos con respecto al total de especies, cuya expresión es:

$$H' = \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

H'= Índice de diversidad

p_i = Proporción del total de la muestra perteneciente a las "i" especies.

Además se evaluó la equidad (J) utilizando el índice de Pielou (Pielou, 1975b), para estimar el valor máximo de diversidad, cuando todas las especies son igualmente abundantes se alcanza la uniformidad máxima (Moreno, 2001), cuya expresión es:

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

Donde:

J'= Índice de equidad

H'= Índice de Shannon-Wiener

H_{max} = Es el lnS, que es la diversidad bajo condiciones de máxima equidad.



Santibáñez-Márquez, D.

Con el propósito de obtener mayor información de la relación con la equidad de especies, dentro de la comunidad fitoplanctónica, se determinó la dominancia específica (D) (Moreno, 2001) a partir de la expresión:

$$D = 1 - J'$$

Donde:

D= Índice de dominancia

J'= Índice de equidad

Cuando el valor resultante tiende a cero, la dominancia es baja, pero si dicho valor es cercano o igual a uno, entonces es alta (Brower y Zar, 1977; Moreno, 2001).

- Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron capturados en una bitácora y posteriormente colocados en una hoja de cálculo Excel (Microsoft Office 2013). Se aplicó el análisis exploratorio de datos (Salgado, 1992) para el análisis del comportamiento de las variables para comprobar los supuestos. Se aplicó la prueba t-student ($p < 0.05$) (paramétrica) o U de Mann-Whitney (no paramétrica) para comparar las similitudes tanto como las diferencias entre los sitios de muestreo y sus profundidades (.3 m y 1 m) de cada parámetro, como también la aplicación del análisis de varianza (ANADEVA) o de la estadística no paramétrica (Kruskall-Wallis) para determinar la existencia o no de diferencias significativas de las variables físico-químicas y biológicas entre las estaciones de manera temporal. Para todos los análisis estadísticos, se utilizó el paquete de STATGRAPHICS Centurion XVI, versión 16.1.18.



Resultados

Análisis de los atributos ecológicos de la comunidad

- Riqueza específica

En el bordo Huitchila se identificaron 42 especies de fitoplancton de las cuales, 10 predominaron durante todo el periodo de estudio y se consideran importantes por su dominancia y el valor de abundancia que presentan.

De acuerdo al análisis taxonómico, se registraron 42 especies correspondientes a 4 divisiones. Destacando por su abundancia Chlorophyta (57%), Cyanophyta (33%) y Euglenophyta (9%) y Bacillariophyta con la menor abundancia (1%). De la división Chlorophyta (31 sp.) resaltan los géneros *Chlorococum*, *Chlorella*, *Kirchneriella* y *Chlamydomona*; de la división Cyanophyta (5 sp.) los géneros *Chroococcus* y *Oscillatoria*; y de Euglenophyta lo que son *Euglena* y *Phacus* (Fig. 4).

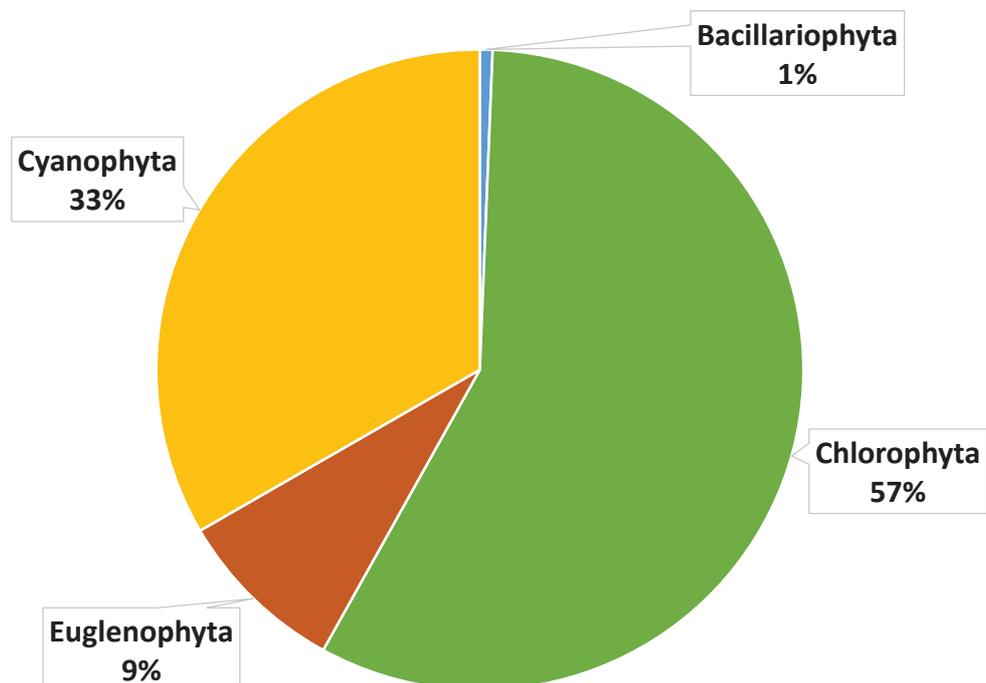


Fig. 4. Descripción porcentual de la abundancia total de cada división presente en Huitchila

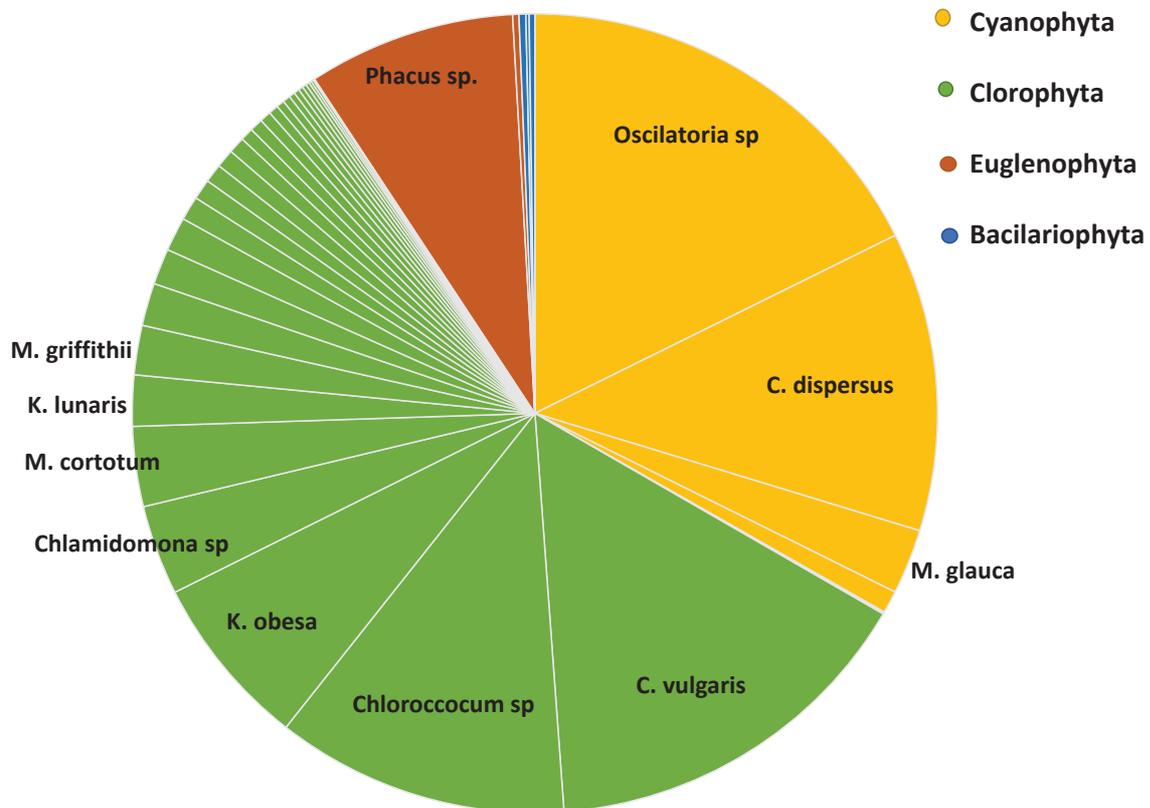


Fig. 5. Composición de especies en cada división presente en la comunidad fitoplanctónica del bordo Huitchila, Morelos

La figura 5, muestra cómo está constituida cada división de la comunidad fitoplanctónica del bordo Huitchila. Claramente se observa que la división Chlorophyta es la que está conformada por una gran cantidad de especies de las que destacan por su abundancia: *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum sp.*, *Kirchneriella obesa*, *Chlamidomona sp.* *Monoraphidium cortotum*, *Kirchneriella lunaris* etc. Respecto a la división Cyanophyta, la constituyen siete especies, las cuales resaltan *Oscillatoria sp.*, *Croccocus dispersus* y *Merismopedia glauca*. Respecto a la división Euglenophyta, todas las especies provenientes del genero *Phacus*, se generalizaron en *Phacus sp.*, ya que no eran diferenciables las estructuras de estos en el microscopio utilizado, ocurriendo lo mismo con la división Bacillariophyta, de la que solo se registraron los géneros *Navicula* y *Cyclotella*.



Santibáñez-Márquez, D.

▪ Listado ficológico del sistema Huitichila

Tabla 2. Registro de especies.

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	GENERO	ESPECIE		
CHLOROPHYTA	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorella (Beijerinck, 1890)	<i>Chlorella vulgaris</i> (Beijerinck, 1890)		
				<i>Chlorella saccharophila</i> (W. Krüger) Migula, 1907		
				<i>Chlorella minutissima</i> (Fott et Nováková, 1969)		
	Chlorophyceae	Volvocales	Chlamydomonas (Ehrenberg, 1833)	<i>Chlorela pyrenoidosa</i>		
				<i>Chlamydomona sp</i> (Ehrenberg, 1833)		
		Sphaeropleales	Monoraphidium (Komárkova-Legnerová, 1969)	<i>Monoraphidium cortotum</i> (Thuret) Komárkova-Legnerová, 1969		
				<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárkova-Legnerová, 1969		
				<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák 1970		
				<i>Selenastrum</i> (Reinsch, 1867)		
				<i>Selenastrum capricornutum</i>		
				<i>Selenastrum gracile</i> (Reinsch, 1867)		
				<i>Selenastrum bibraianum</i> (Reinsch, 1867)		
				<i>Kirchneriella</i> (Schmidle, 1863)		
				<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchener) K. Möbius, 1864		
				<i>Kirchneriella contorta</i>		
				<i>Kirchneriella obesa</i> (West) Schmidle, 1863		
				<i>Ankistrodesmus</i> (Corda, 1838)		
				<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs, 1848		
				Tetrasporales	Asterococcus (Scherfell, 1908)	<i>Asterococcus sp.</i> (Scherfell, 1908)
						Chlorococcales
		<i>Scenedesmus dimorphus</i> (Turpin) Kützing 1833)				
		<i>Scenedesmus quadricauda</i>				
		<i>Scenedesmus arcutus</i> (Lemmermann, 1899)				
		<i>Scenedesmus falcatus</i> (Chodat, 1894)				
		<i>Scenedesmus opoliensis</i> (P.G. Richter, 1897)				
		Tetraedron (Kützing, 1845)	Tetraedron (Kützing, 1845)	<i>Tetraedon minimum</i> (A. Braun) Hanspurg, 1888		
				Chlorococcum (Meneghini, 1842)		
				<i>Chlorococcum sp.</i> (Meneghini, 1842)		
				Coelastrum (Nägeli, 1849)	<i>Coelastrum microporum</i> (Nägeli in A. Braun 1855)	
					<i>Franceia sp.</i> (Lemmermann, 1898)	
	Gloetanium (Hanspurg, 1890)			<i>Gloetanium ioitelsberganum</i> (Hanspurg, 1890)		
<i>Pediastrum</i> (Meyen, 1829)						
Zygnemophyceae	Desmidiales			Cosmarium (Corda ex Rals 1848)	<i>Pediastrum duplex</i> (Meyen, 1829)	
					<i>Cosmarium pyramidatum</i> (Brébisson in Ralfs, 1848)	
					<i>Cosmarium depressum</i> (Nägeli) P. Lundell, 1871)	
		<i>Cosmarium botrytis</i> (Meneghini ex Ralfs, 1848)				
		<i>Closterium</i> (Nitzsch ex Ralfs, 1848)				
		<i>Closterium diana</i> (Ehrenberg ex Ralf, 1848)				



Continuación Tabla 2. Registro de especies.

DIVISIÓN	CLASE	ORDEN	GENERO	ESPECIE-DESCRIPTOR
CIANOPHYTA	Chroobacteria	Oscillatorales	Oscillatoria [Vaucher. 1803] Gomont, 1892	<i>Oscillatoria sp</i> [Vaucher. 1803] Gomont, 1892
	Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcus (Nägeli 1849)	<i>Chroococcus dispersus</i> (Lemmermann, 1904)
				<i>Chroococcus giganteus</i> (West, 1982)
			Microcystis (Kützing, 1833 ex Lemmermann, 1907)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing, 1846)
			Merismopedia (Meyen, 1839)	<i>Merismopedia glauca</i> (Nägeli, 1845)
EUGLENOPHYTA		Euglenales	Euglena (Enrenberg, 1833)	<i>Euglena acus</i> (Enrenberg, 1833)
			Phacus (Dujardin, 1841)	<i>Phacus sp</i> (Dujardin, 1841)
BACILLARIOPHYTA	Penales		Diatomea	<i>Navicula sp.</i>
	Radiales			<i>Cyclotella sp.</i>

Las especies que conforman la comunidad fitoplanctónica del bordo Huitchila (Fig. 5), se dividen en 42 especies. Sobresale la división Chlorophyta, que resultó con una riqueza específica de 31 especies, pertenecientes a 14 géneros. Con respecto a las familias que tuvieron más densidad de especies fue *Selenastraceae*, que registro ocho especies, de las 42 estudiadas. La división que le sigue por su abundancia, es la Cyanophyta que tienen cinco especies, pertenecientes a cuatro géneros, de las cuales la familia Microcystaceae y Chroococaceae tienen dos especies mientras Oscilatoriaceae tiene una especie. Por parte de la división Euglenophyta, solo se determinó la especie, *Euglena acus*. La división Euglenophyta y Bacillariophyta no se determinaron las especies debido a la falta de un microscopio de mayor resolución (Tabla 2).

En el anexo 1, se muestran algunas fotografías de las especies que fueron identificadas durante el tiempo de estudio.



Santibáñez-Márquez, D.

- Variación temporal del fitoplancton

La variación y composición temporal de los organismos fitoplanctónicos, se puede observar en la fig. 6, la división con mayor abundancia, correspondiente a Chlorophyta, que dominó casi en todo los meses de muestreo, principalmente en septiembre, noviembre y diciembre del 2012 y febrero y marzo del 2013, excepto en octubre que fue donde se presentó un dominio de la división Cyanophyta y en enero donde se muestra una transición entre abundancias de estas tres divisiones: Chlorophyta, Euglenophyta y Cianophyta.

Las cianobacterias tuvieron una variación consistente durante todo el estudio, como se mencionó antes, hubo un aumento considerable de esta división en el mes de oct-12, esto fue dado por el género *Oscillatoria* que tuvo un florecimiento.

La división Euglenophyta, tuvo una presencia constante durante la mayoría de los meses, pero hubo un aumento considerable de esta en el mes de enero. Finalmente la división Bacilarophyta mantuvo bajas densidades y solo se registraron en las muestras de septiembre y diciembre (Fig.6).

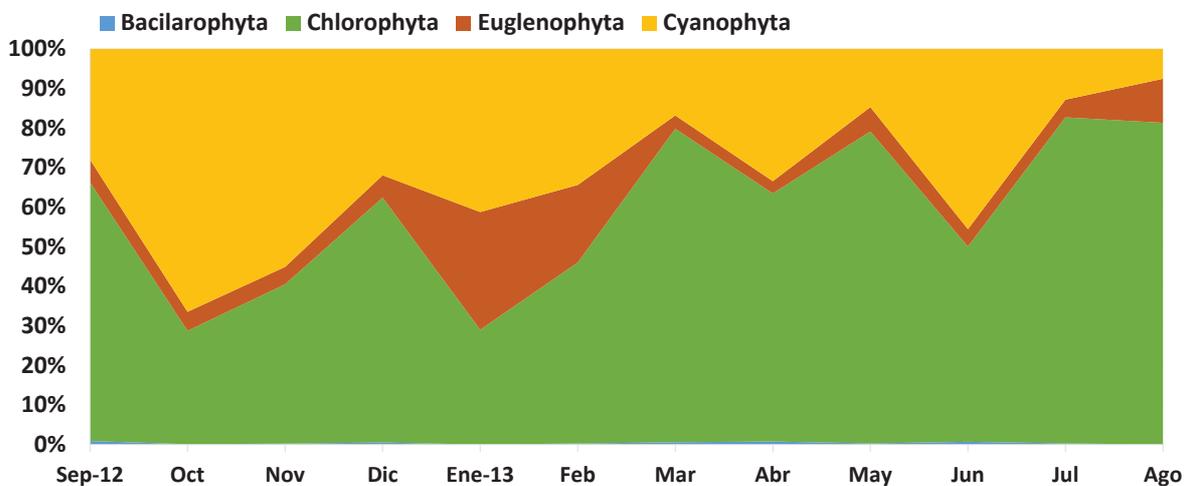


Fig. 6. Variación y composición temporal del fitoplancton en el microembalse Huitichila



Santibáñez-Márquez, D.

- Densidad poblacional

Para el caso de *Chlorella vulgaris*, se consideró como una población constante, presentando altas densidades en el mes de junio (época de lluvias), con una abundancia máxima de 290 org/ml y una mínima de 10 org/mL en enero (época de secas). Respecto a *Chlorococcum sp.*, esta mostró los valores más bajos de octubre a enero (época de secas) y los valores más altos en agosto y septiembre (época de lluvias) (Fig. 7).

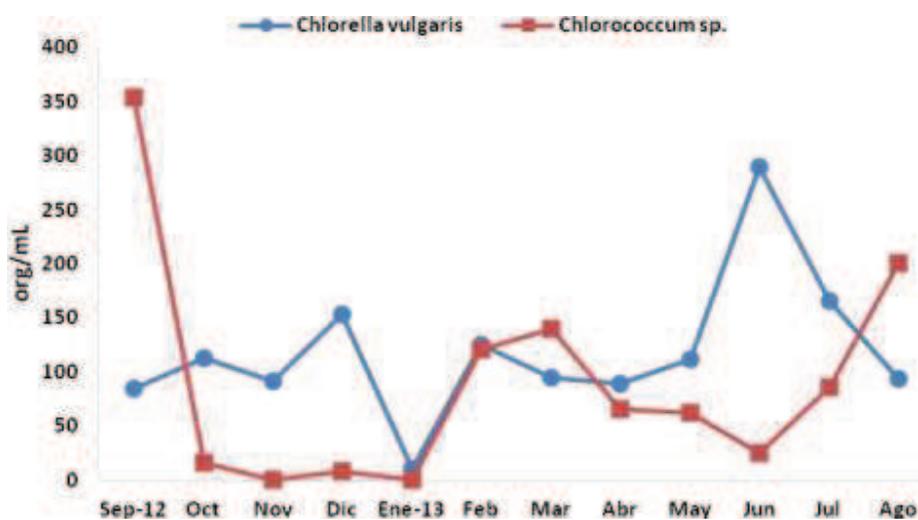


Fig. 7. Variación temporal de las especies que destacan por su abundancia a lo largo del estudio

En torno a las demás especies que conforman a las Chlorophytas, *Kirchneriella obesa* mostró una abundancia continua durante el periodo de estudio con un máximo de 112 org/mL en el mes de julio y un mínimo de 11 org/mL en ene-13. En el caso de *Chlamydomona sp.*, ésta se mantuvo constante durante el ciclo anual de muestreo, con solo un pico de máxima abundancia presentándose en ene-13 con 198 org/ml y un mínimo de 7 org/mL en el mes de dic-12 (Fig. 8).



Santibáñez-Márquez, D.

La especie *Monoraphidium cortotum* presentó dos máximos sobresalientes, en dic-12 y el otro en mar-13, que este resulta ser el mayor, con un total de 83 org/ml y la ausencia en oct-12, ene-13 y jul-13; al igual que *M. cortotum*, *Kirchneriella lunaris* mostró dos picos pero no tan marcados (abr-13 y jul-13), siendo el máximo 59 org/ml y presentándose su ausencia en el mes de sep-12 (Fig. 9).

Respecto a la división Cyanophyta, se identificaron dos especies; una de ellas es *Oscillatoria sp.*, que presenta dos picos visibles uno en el mes de nov-12 y el otro en ene-13 siendo este su máxima abundancia con un total de 329 org/ml y no siendo encontrados en los meses de mayo y julio del 2013. La otra especie corresponde a *Chroococcus dispersus*, mostrando varios incrementos durante el estudio, destacando dos picos, uno con 200 org/ml (jun-13) y no tan diferente del anterior, 203 org/ml (oct-12), esta especie no se registró durante los muestreos realizados en el mes de ene-13 (Fig. 10).

La división Euglenophyta, cuenta con dos especies. *Phacus sp.* presenta abundancia y frecuencia altas, se registraron valores de abundancias constantes durante el estudio, destacando el mes enero, con un máximo de abundancia de 244 org/mL y un mínimo en abril con 21 org/mL (Fig. 11).

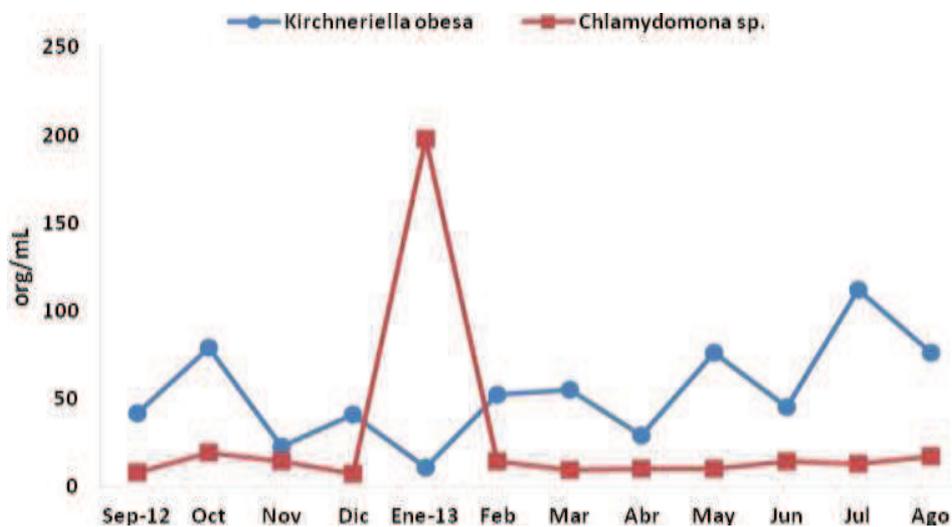


Fig. 8. Variación temporal de las especies provenientes de la división Chlorophyta, que destacan por su abundancia a lo largo del estudio

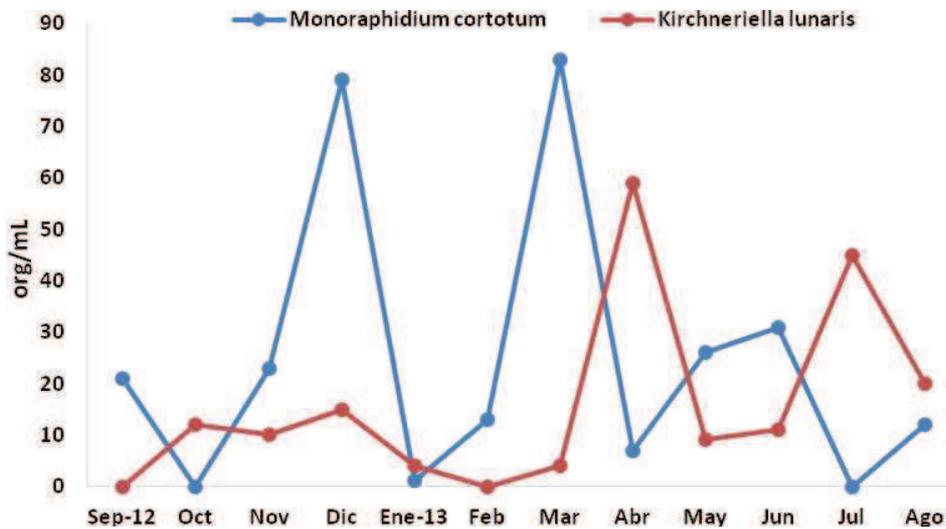


Fig. 9. Variación temporal de las especies provenientes de la división Chlorophyta, que destacan por su abundancia a lo largo del estudio

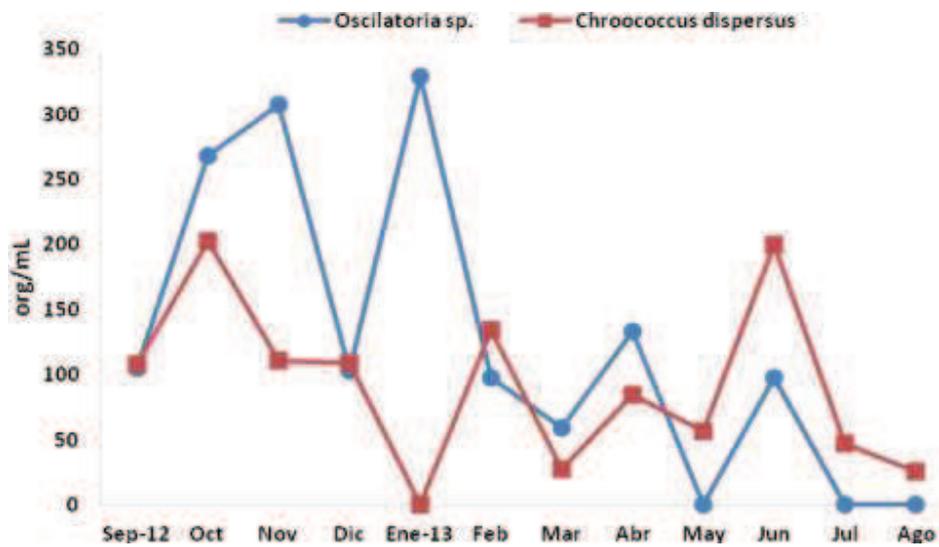


Fig. 10. Variación temporal de las especies provenientes de la división Cyanophyta, que destacan por su abundancia a lo largo del estudio



Santibáñez-Márquez, D.

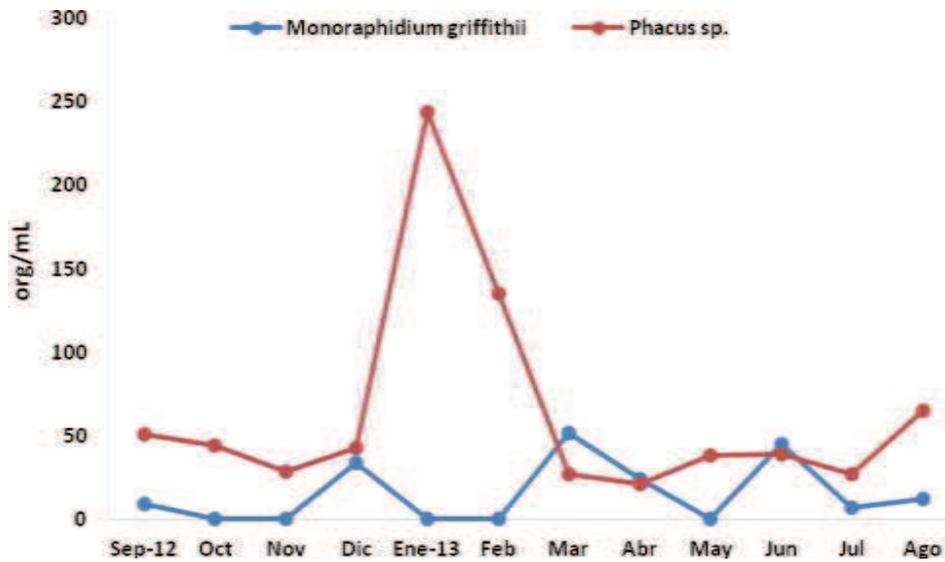


Fig. 11. Variación temporal de *Monoraphidium griffithii* y *Phacus sp.* que destacan por su abundancia a lo largo del estudio

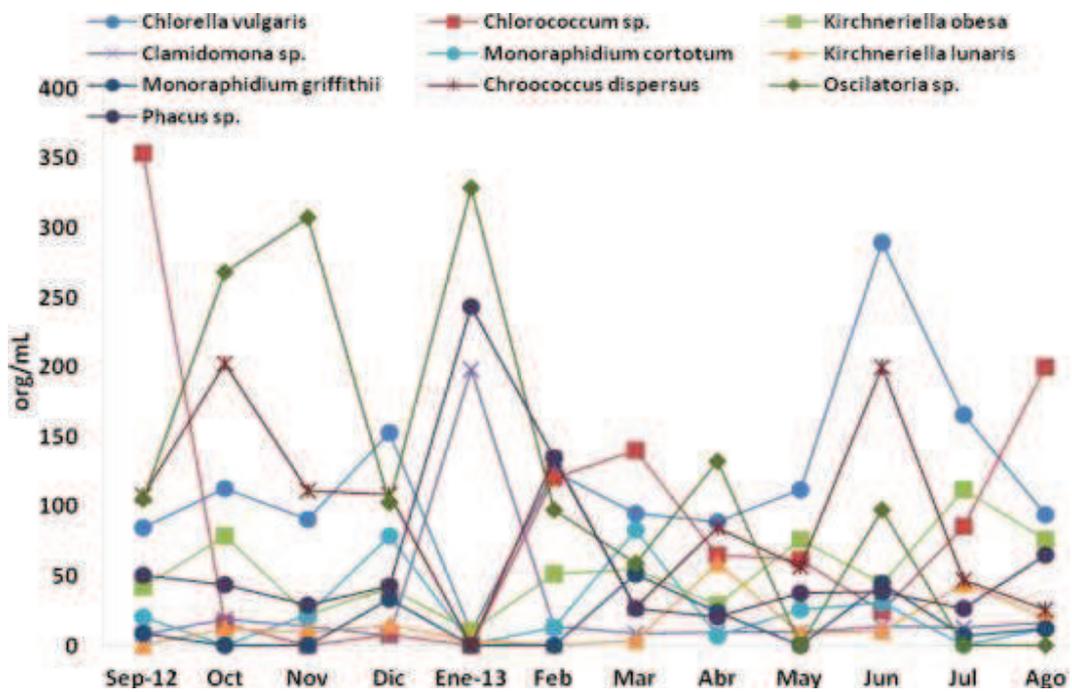


Fig. 12. Variación temporal de todas las especies que destacan por su abundancia a lo largo del estudio



Santibáñez-Márquez, D.

▪ Categorización de las especies

Se aplicó la prueba de Olmstead-Tukey para conocer en que categoría queda cada una de las especies de la comunidad fitoplanctónica (Fig.13), esta prueba muestra las variaciones en las abundancias y la frecuencia en que se presentaron las especies a lo largo del estudio. Los resultados que se obtuvieron fueron, un total de 13 especies dominantes que alcanzaron altas frecuencias y valores superiores a la media de logaritmo (“ln”) de la abundancia absoluta (org/mL), por este criterio se consideran como dominantes, dentro de la división Cyanophyta: *Oscillatoria sp.*, *Microcystis aeruginosa*, *Chroococcus dispersus* y *Merismopedia glauca*; Chlorophyta: *Chlorococum sp.*, *Chlorella vulgaris*, *Kirchneriella obesa*, *Chlamidomona sp.*, *Monoraphidium cortotum*, *Monoraphidium griffithii*, *Monoraphidium arcuatum*; y Euglenophyta: *Phacus sp.* Asimismo se registraron 3 especies constantes, *Euglena acus*, *Pediastrum duplex* y *Coelastrum microporum*. Ambos grupos representan las especies que pudieron registrarse con mayor frecuencia durante todo el estudio. Las demás especies están catalogadas como raras y ocasionales.

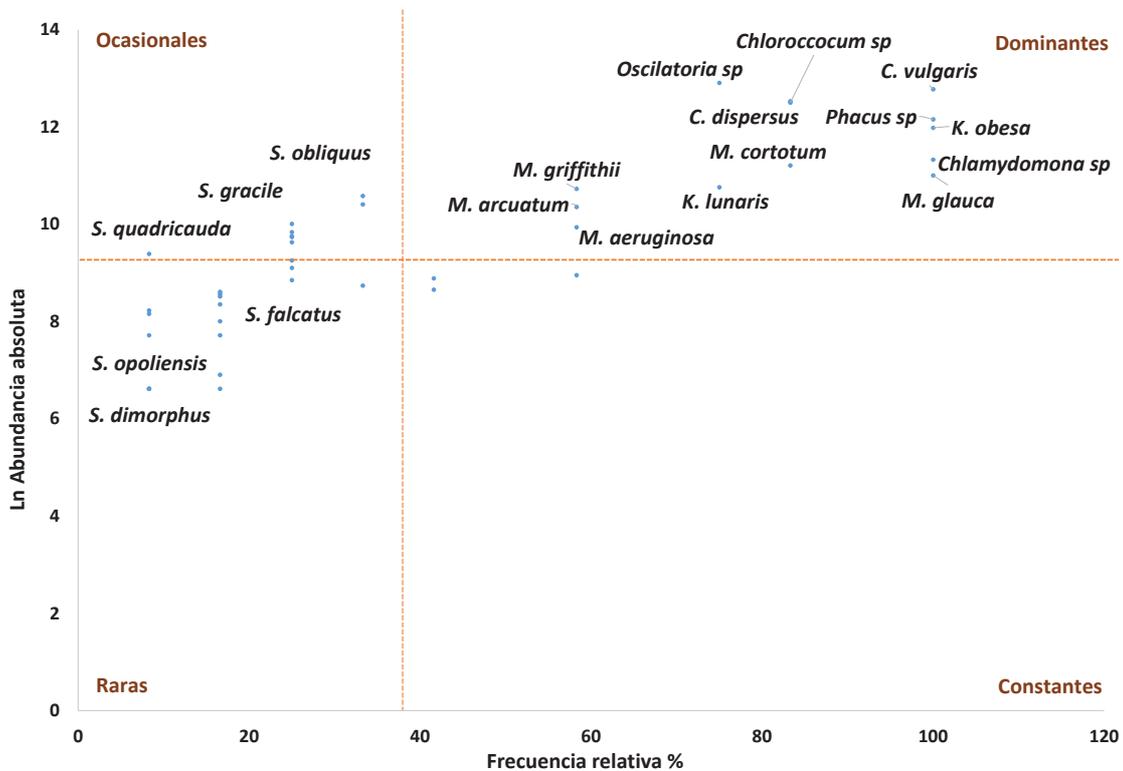


Fig. 13. Categorización de las especies de fitoplancton en el bordo Huitchila, Mor



Santibáñez-Márquez, D.

Para que esta jerarquización sea más clara se anexa la tabla 3 donde se enlistan las especies que comprenden la clasificación anterior.

Tabla 3. Composición y categoría (D=Dominantes, C= Constantes, O=Ocasionales y R=Raras) del fitoplancton presente en el sistema Huitchila.

ESPECIE	CATEGORIA	ESPECIE	CATEGORIA
<i>Chroococcus dispersus</i>	D	<i>Selenastrum gracile</i>	O
<i>Chlorella vulgaris</i>	D	<i>Chlorella saccharophila</i>	O
<i>Phacus sp</i>	D	<i>Nostoc sp.</i>	R
<i>Kirchneriella obesa</i>	D	<i>Scenedesmus acutus</i>	R
<i>Chlorococum sp</i>	D	<i>Scenedesmus falcatus</i>	R
<i>Monoraphidium cortotum</i>	D	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	R
<i>Kirchneriella lunaris</i>	D	<i>Cosmarium depressum</i>	R
<i>Monoraphidium griffithii</i>	D	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	R
<i>Monoraphidium arcuatum</i>	D	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	R
<i>Merismopedia glauca</i>	D	<i>Selenastrum bibraianum</i>	R
<i>Chlamydomona sp.</i>	D	<i>Chlorella minutisima</i>	R
<i>Mycrocystis aeruginosa</i>	D	<i>Kirchneriella contorta</i>	R
<i>Oscillatoria sp.</i>	D	<i>Closterium diana</i>	R
<i>Coelastrum microporum</i>	C	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	R
<i>Pediastrum duplex</i>	C	<i>Cosmarium botrytis</i>	R
<i>Euglena acus</i>	C	<i>Franceia sp.</i>	R
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	O	<i>Anabaena sp.</i>	R
<i>Gloetanium ioitelsberganum</i>	O	<i>Chroococcus gigantus</i>	R
<i>Scenedesmus obliquus</i>	O	<i>Navicula sp.</i>	R
<i>Selenastrum capricornutum</i>	O	<i>Cyclotella sp.</i>	R
<i>Cosmarium pyramidatum</i>	O	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	R



Santibáñez-Márquez, D.

- Relación del fitoplancton con la clorofila “a”

Las clorofitas aportan la mayor parte de la clorofila “a” presente en el sistema, la abundancia tuvo variación durante el tiempo de estudio pero siempre se mantuvo como la división más constante. La abundancia de los organismos fitoplanctónicos registrada a lo largo de los muestreos está representada en la fig. 14, comparándola con la cantidad de clorofila “a” cuantificada en el sistema. Se observa que existe una correspondencia entre los volúmenes de fitoplancton con las concentraciones de clorofila “a”, debido a la alta densidad que presenta la división Chlorophyta, se observa un aumentando y una disminución, esto debido de la transición de densidades entre las divisiones disminuyendo la concentración de clorofila “a” de forma directa. La biomasa fitoplanctónica, medida como la concentración de clorofila “a”, registró un valor promedio anual de 16.17 mg/L para las dos estaciones. Los valores mínimos se registraron en oct-12 con un valor de 6.34 mg/L y la mayor concentración de clorofila “a” se registró en may-13, con un máximo de 33.37 mg/L. Dicho aumento se asocia a un incremento de la abundancia de la división Chlorophyta por lo que disminuye cuando incrementa la división Cyanophyta (oct-12), ya que esta desplaza la comunidad de Chlorophyta.

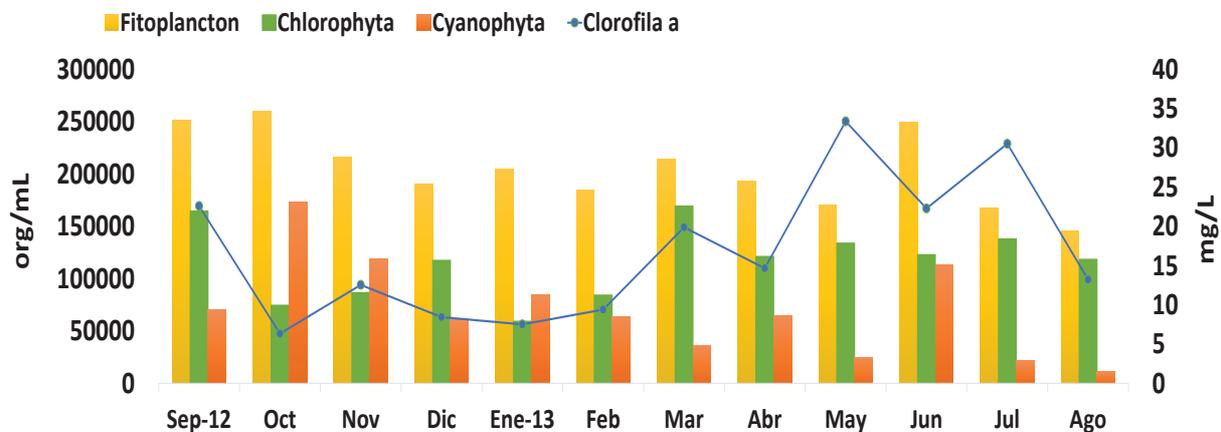


Fig. 14. Variación temporal de la clorofila “a” y densidad fitoplanctónica presentes en Huitchila



Santibáñez-Márquez, D.

- Análisis ecológico: Índice de diversidad, dominancia y equitatividad

Los datos obtenidos a partir del índice de Shannon-Wiener, se muestran en la fig. 15, en el que se observa perfectamente como varía durante el periodo de muestreo. La diversidad osciló entre 1.2 en enero a 2.8 en marzo del mismo año, siendo los valores mínimo y máximo respectivamente. Los valores más altos de diversidad se obtuvieron en los meses de mar-13 a may-13 (periodo de secas-cálidas), mientras que los valores de menor diversidad se presentaron en los meses de septiembre de 2012 a enero de 2013 (periodo de secas-frías) (Fig.12).

Respecto a la dominancia y la equitatividad, estas tienen una relación inversa, es decir, si el valor de la dominancia aumenta, la equitatividad disminuye y viceversa. La equitatividad varió de 0.34 a 0.75, lo que indica que las especies no están repartidas uniformemente, mientras que la dominancia varió de 0.24 a 0.65, esto quiere que presenta una relación inversa, causando dominancia alta, baja diversidad y por lo tanto una baja equitatividad, lo cual apoya la clasificación de sistema eutrófico.

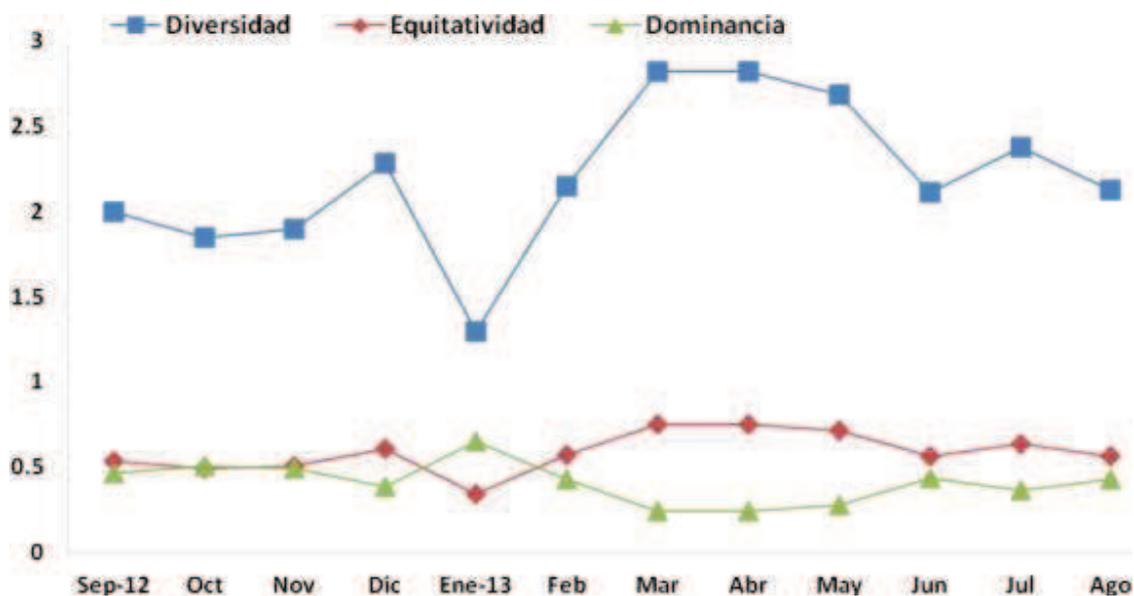


Fig. 15. Índice de diversidad (Shannon-Wiener), Equitatividad y Dominancia, presentes en la comunidad fitoplanctónica a lo largo del muestreo



Índice del estado trófico

Para evaluar el grado de eutrofización se utilizó una de las estrategias más utilizadas, propuesta por Carlson (1977) y modificado por Carlson y Simpson (1996) llamado índice del estado trófico o IET. La fig. 16 muestra la variación temporal del IET en el sistema Huitchila, se observa una relación con la temporada de lluvias y secas, esto es más marcado en el mes de abr-13 (temporada de secas cálidas) ya que en este mes por el aumento de la temperatura así como por el uso del recurso agua para actividades agropecuarias disminuyó considerablemente su volumen, provocando que la etapa de concentración en el sistema fuera más marcada aún, con un índice máximo de 89.63, siendo hipereutrófico el sistema este mes; así también, en la temporada de lluvias y la temporada de seca frías, el sistema es considerado como eutrófico con un índice mínimo de 58.9. Por lo tanto, se puede decir que este cuerpo de agua está regido por un periodo de dilución y otro de concentración. Este sistema es considerado como un sistema eutrófico con tendencia a la hipereutrofia.

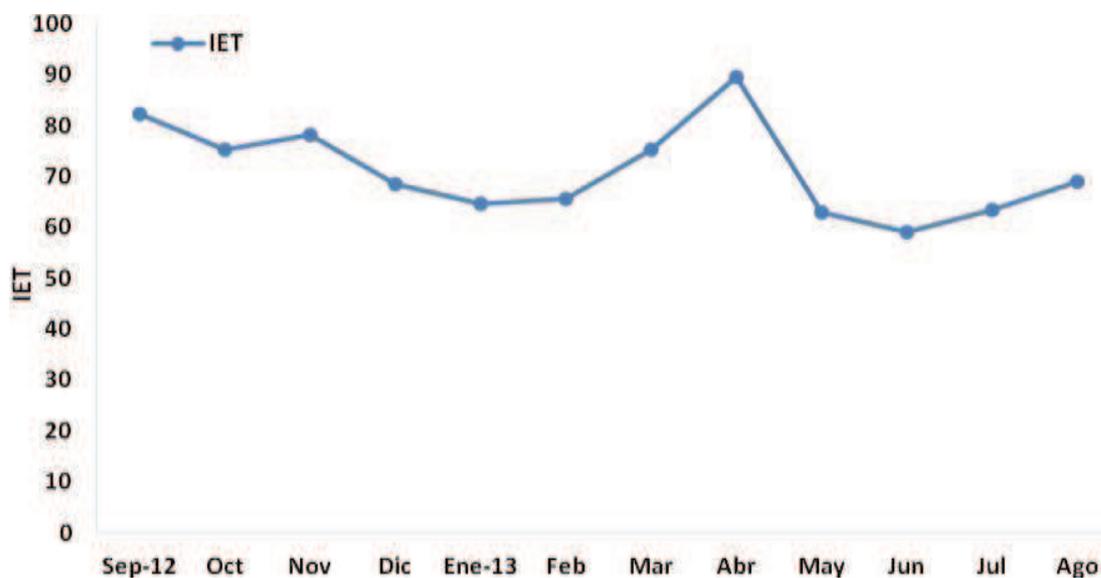


Fig. 16. Variación anual del IET en el sistema Huitchila



Parámetros físicos y químicos

Para saber si los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenidos en las dos estaciones de muestreo eran iguales o diferentes se aplicó la prueba la prueba W de Mann-Whitney ($p > 0.05$), resultando finalmente que no hay diferencia estadística significativa entre los valores de ambas estaciones, por lo que se decide trabajar con los valores promedio. Sin embargo, al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$) se puede comprobar que todos los parámetros presentan diferencias con respecto al tiempo a excepción del oxígeno disuelto, el cual se mantuvo constante a lo largo del año (tabla 4).

Tabla 4. Resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a los datos de calidad del agua para Huitchila (W de Mann-Whitney/Kruskal-Wallis) (*se rechaza la hipótesis nula) (se acepta la hipótesis nula)

PARÁMETRO	W DE MANN-WHITNEY	KRUSKALL-WALLIS
O ₂ DISUELTO	0.71	0.00006*
T. DEL AGUA	0.72	0.00005*
NITRITOS	0.95	0.00003*
NITRATOS	0.95	0.00023*
SULFATOS	0.68	0.0004*
FOSFORO TOTAL	0.66	0.00044*
SOLIDOS T.	0.86	0.00352*
SILICATOS	0.39	0.00034*
ORTOFOSFATOS	0.66	0.0045*
AMONIO	0.82	0.00005*

Los resultados obtenidos de las pruebas estadísticas aplicadas a los datos de los parámetros físicos y químicos. Se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre estaciones (W de Mann-Whitney) ($p > 0.05$). Con base a lo anterior, se decidió utilizar el promedio de ambas estaciones para posteriores análisis. Sin embargo hay otros parámetros que no cumplen lo anterior. Durante el periodo de estudio la mayoría de los parámetros mostraron diferencias de manera temporal (Kruskal-Wallis) excepto el oxígeno disuelto (OD), este parámetro se mantuvo constante durante los muestreos (Tabla 4).

La temperatura ambiental presento un mínimo de 23.5°C (dic-12) y un máximo de 29°C (mar-13). En lo que respecta a la temperatura del agua, esta oscilo entre un valor mínimo de 19.5°C (dic-12) y un máximo de 24.9°C (jun-13). Cabe mencionar que los



Santibáñez-Márquez, D.

datos mínimos fueron correspondientes a la época de secas-frías y los máximos en la inicio de la época de lluvias (verano) (Fig. 17).

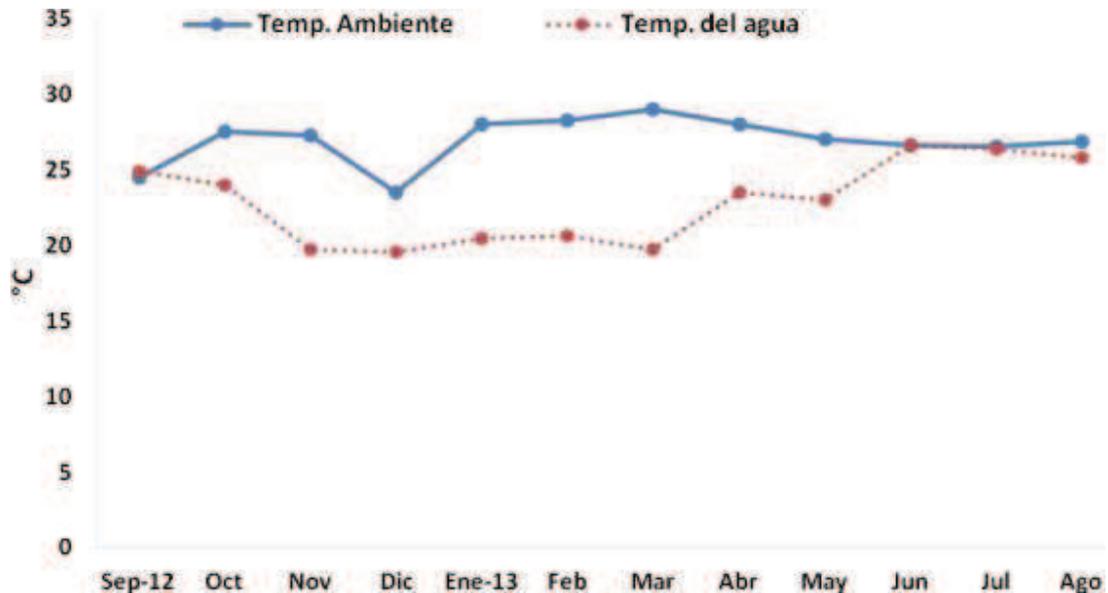


Fig. 17. Comportamiento temporal de la temperatura del agua y ambiente

La concentración de oxígeno disuelto (OD) y temperatura del agua (Fig. 18), se observó que existe un comportamiento inverso entre las dos variables durante el tiempo de estudio (OD-T. del agua, $r = -0.5088$), en lo que consta a los demás meses la temperatura del agua aumenta al entrar la época de lluvias y el oxígeno disuelto presenta la mayor concentración en la época de secas-frías (9.08 mg/mL) y la mínima en el mes de mayo con 4.2 mg/mL (época de secas-cálidas).

Respecto a la visibilidad al disco de Secchi, presenta valores máximos registrados en ago-13 con 0.63 m y la mínima de 0.3 m entre may/jun-13, mientras que la máxima profundidad fue registrada al final de la época de lluvias (sep-12) con 4.35 m y la mínima de 1.5 m en may-13, que concuerda con la época donde se realizó una extracción moderada de agua del microembalse para uso de riego de los cultivos aledaños (Fig. 19).

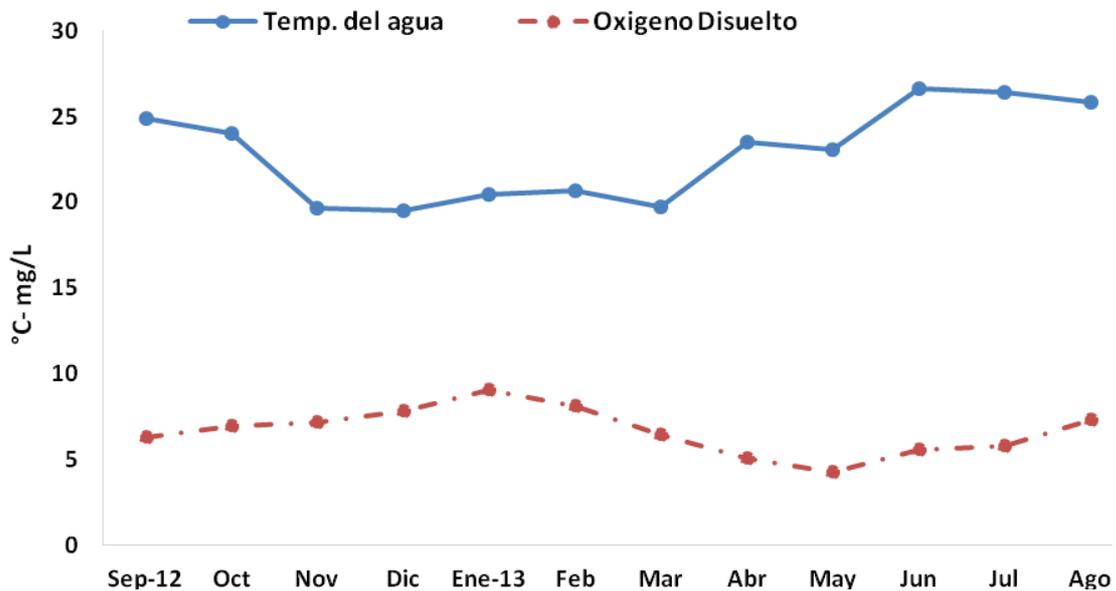


Fig. 18. Comportamiento temporal de la temperatura del agua y del oxígeno disuelto

La conductividad (Fig. 20), mostró un máximo de 1470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes mayo que se relaciona con la época donde se extrajo gran cantidad de agua y por ende hay un mayor contacto con el fondo del microembalse provocando este resultado; presentando también un mínimo de 898 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de octubre que concuerda con la época de transición entre lluvias-secas. El valor mínimo de sólidos disueltos totales (SDT) (Fig. 20), se registró en oct-12 con 459.5 ppm y la máxima en may-13 con 763.5 ppm. Estos dos parámetros (conductividad y sólidos) y sus variaciones a lo largo del estudio tienden a comportarse de manera similar, lo que se comprueba con el valor de correlación entre ellas ($r= 0.999$).



Santibáñez-Márquez, D.

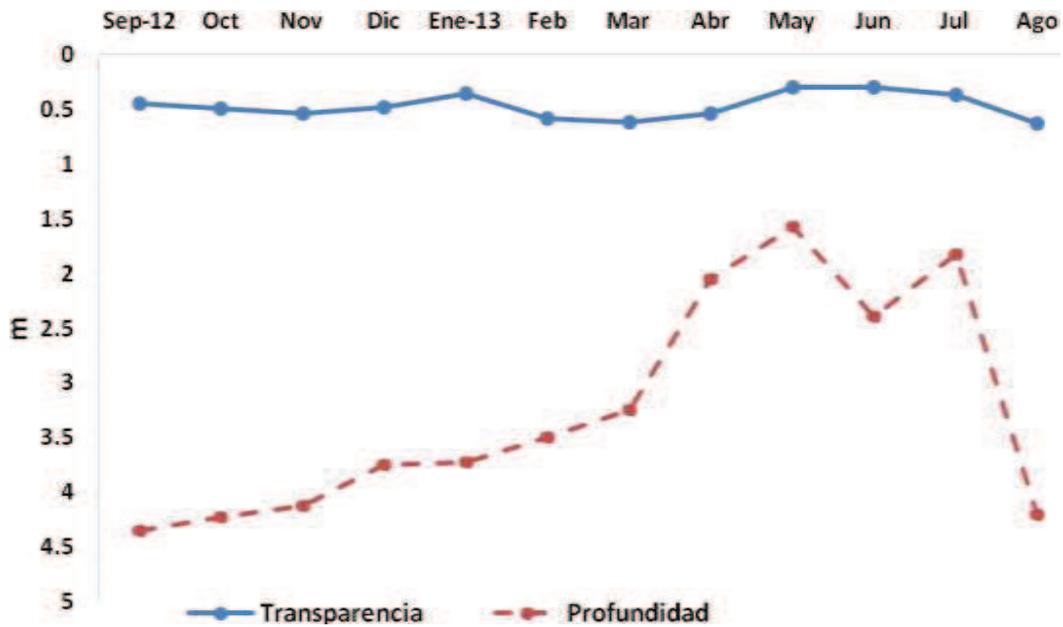


Fig. 19. Comportamiento temporal de la profundidad y la transparencia al disco de Secchi



Fig. 20. Comportamiento temporal de los sólidos totales disueltos y la conductividad



Santibáñez-Márquez, D.

El pH que presentó el agua del sistema fue ligeramente alcalino (8.1 a 9.1) durante los muestreos, valores dados por altas concentración de carbonatos. El valor mínimo registrado fue de 8.63 en junio y el valor máximo fue de 9.1 unidades en el mes de enero (Fig. 21).

Como se sabe, la dureza total es la suma principalmente de los cationes de calcio y magnesio que están presentes en el cuerpo acuático. Huitchila presenta aguas duras al oscilar las concentraciones de 96.97 mg/L CaCO_3 (valor mínimo/julio) a 310 mg/L CaCO_3 (valor máximo/noviembre) durante los muestreos, mientras que las concentraciones de alcalinidad total que se presentaron fueron menores en comparación a la dureza total en los meses de septiembre a diciembre del 2012, al oscilar de 138 mg/L CaCO_3 a 206 mg /L CaCO_3 ; en este mes (diciembre) se observó un punto de compensación entre la dureza total y la alcalinidad que en los siguientes meses (Fig. 21), aunque la tendencia general de los dos parámetros y el pH fue de disminuir hacia el final del estudio.

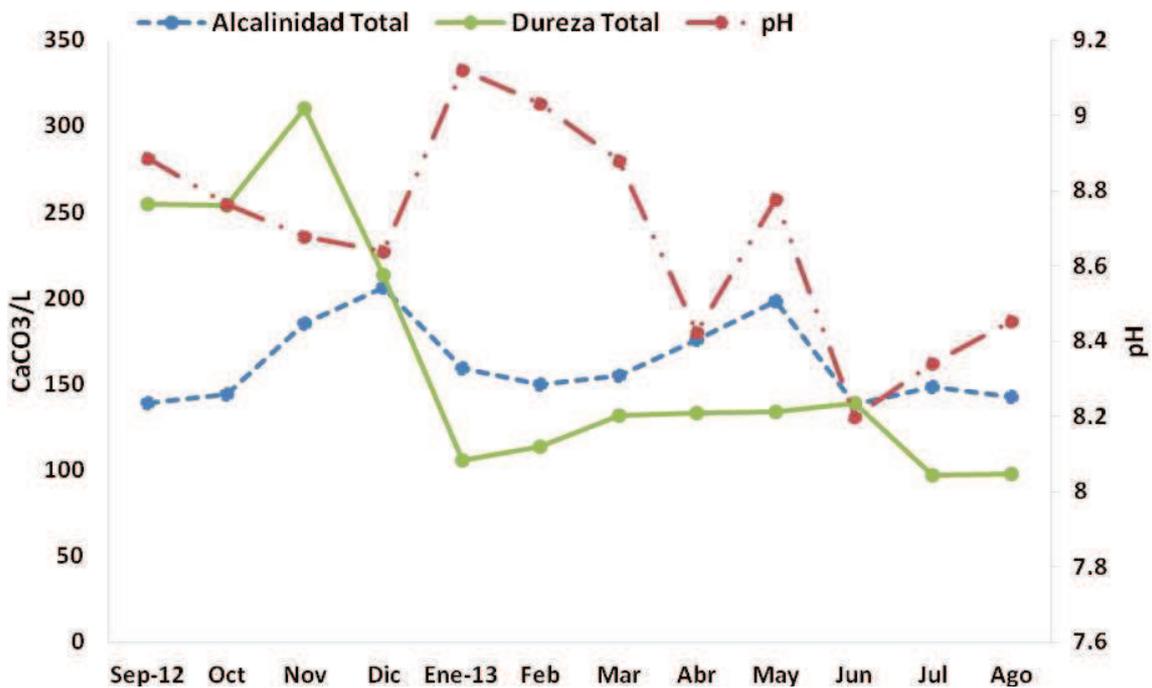


Fig. 21 Comportamiento temporal de alcalinidad total, dureza total y pH.



Santibáñez-Márquez, D.

Se realizó un perfil vertical de la temperatura con el fin de obtener más información acerca de las variaciones que pueden presentarse en el cuerpo de agua de manera temporal y con respecto a la profundidad (Fig. 22). En general, los meses en que se observa una estratificación parcial fueron feb-13, mar-13, abr-13, may-13, nov-12 y sep-12 en los demás se observó un periodo de mezcla o circulación. Cabe mencionar que este registro solo cuenta con muestreos tomados al medio día, por lo cual no puede ser evidente la estatificación y mezcla en un periodo de 24 horas, por esta razón el sistema se clasifica como polimíctico cálido continuo de acuerdo con Lewis (1983).

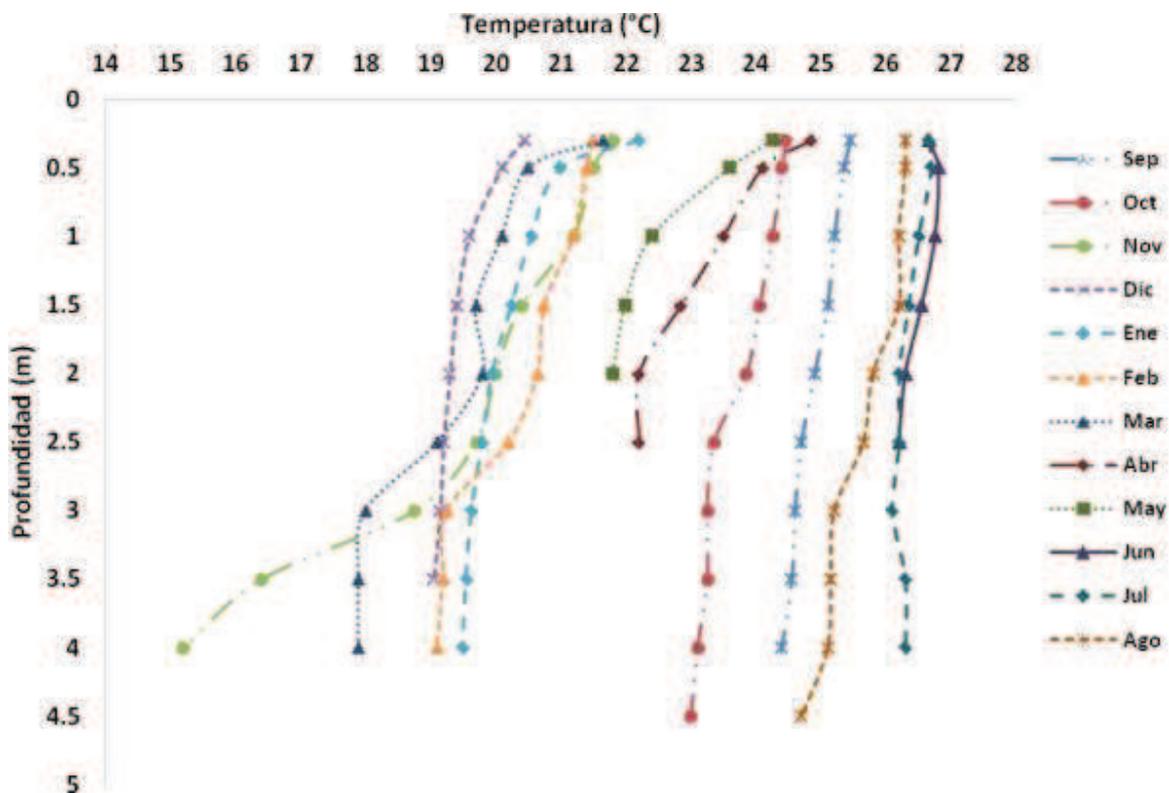


Fig. 22. Perfil vertical de temperatura del bordo Huitchila (sep-12 a ago-13)



Santibáñez-Márquez, D.

En la fig. 23, se muestra la variación temporal de la concentración de oxígeno disuelto a diferentes profundidades. Se puede observar que la mayor concentración de este gas se encuentra en la parte superior de la columna, esto se debe principalmente a los organismos fotosintéticos que se encuentran en esa zona fótica (zona trofógena). Al aumentar la profundidad hacia la zona trofótica, se puede observar una reducción en la cantidad de oxígeno, esto causado por la descomposición de la materia orgánica por procesos aeróbicos y a la cantidad de sólidos en suspensión registrados que conlleva a presentarse condiciones con tendencia a la anoxia. El tipo de curva que se observó fue clinógrada. La mayor variación de las concentraciones de oxígeno se observaron hacia el final de la época de lluvias y durante la temporada de secas frías.

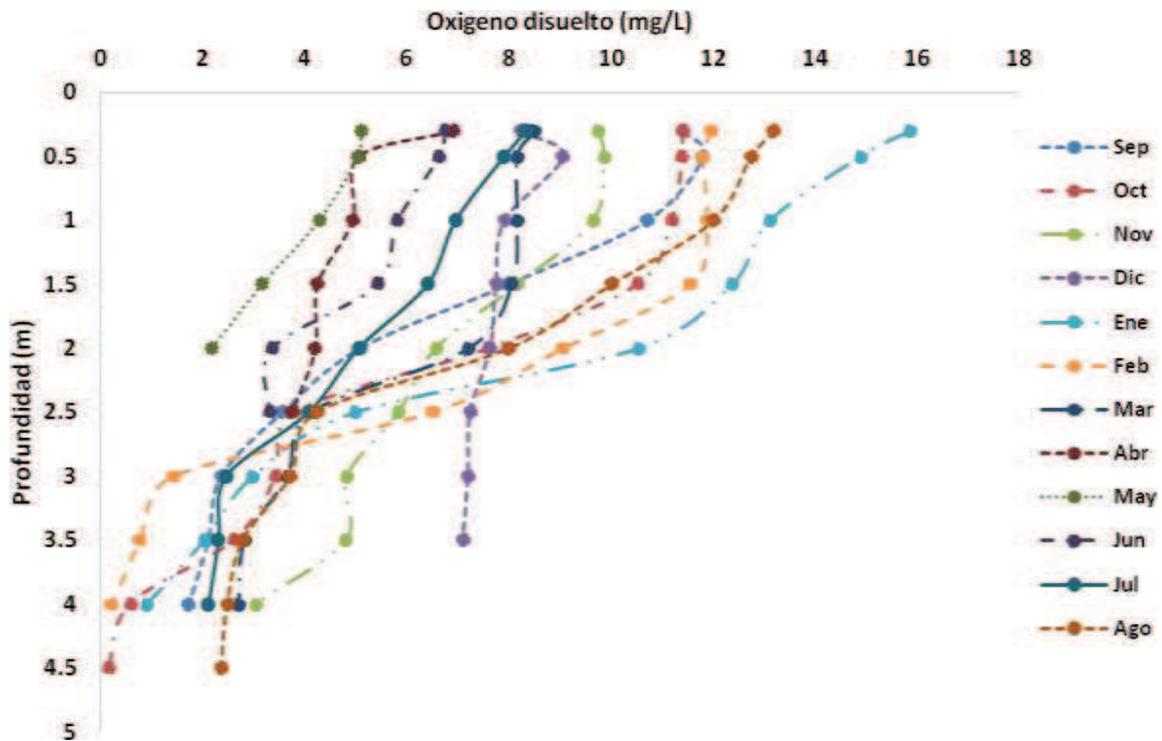


Fig. 23. Perfil vertical de oxígeno disuelto del bordo Huitchila (sep-12 a ago-13)



Santibáñez-Márquez, D.

▪ Nutrientes

Los nutrientes juegan un papel importante en la productividad de los sistemas acuáticos. Al conocer la cantidad de estos, se puede comparar la respuesta que tendrá el fitoplancton al estar sometido a una fuerte influencia a las fluctuaciones de los elementos nutrimentales que existen en el sistema, así como a la cantidad de radiación solar presente a la hora del muestreo.

Los nitratos son elementos originados a partir de la oxidación de los nitritos y a su vez los nitritos son originados de la oxidación del NH_4 ; tomando los datos obtenidos de los muestreos, el sistema Huitchila, presentó amplias fluctuaciones en las concentraciones de nitratos. El registro de la concentración más alta de nitratos fue de 0.48 mg/L (octubre) correspondiendo con el tiempo en el que se fertilizo el sistema por parte del responsable de la Sociedad Cooperativa; la mínima fue de 0.02 mg/L. (julio), ligado al aumento de concentración del amonio.

Con respecto al amonio, mostró fluctuaciones con un mínimo de 0.007 mg/L (agosto) y un máximo de 0.38 mg/L (mayo), valores que se encuentran por debajo de los niveles tóxicos, estas concentraciones que corresponden a un aumento de materia orgánica al sistema ya sea por aporte alóctono o por los organismos que viven en el sistema. La concentración de nitritos tuvo un comportamiento homogéneo esto debido a que su oxidación ocurre demasiado rápido debido a las altas concentraciones de O_2 en el sistema, esto ocurrió durante todo el tiempo de muestreo con un mínimo 0.0003 mg/L (mayo) a 0.02 mg/L (junio) (Fig. 24).

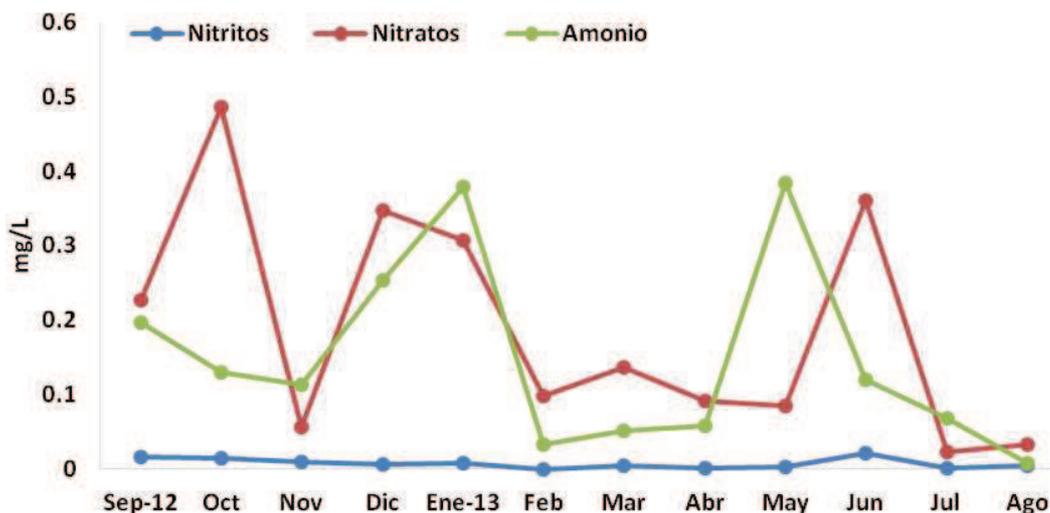


Fig. 24. Comportamiento temporal de los nutrientes (NO_3 , NO_2 y NH_4) en el sistema Huitchila



Santibáñez-Márquez, D.

La concentración respecto al fósforo total tuvo fluctuaciones importantes, con máximos en oct-12 ene-13, abril y julio, siendo el valor de 0.88 el máximo (julio), y el mínimo de 0.07 perteneciente al mes de feb-13, correspondiente a la época de secas y al no tener afluentes que aporten estos elementos al sistema. Además, la tendencia fue de incrementar durante la época de lluvia y disminuir durante secas. De acuerdo con los valores observados de fósforo total, los ortofosfatos ó fósforo reactivo disuelto por ende tienden a ser más bajos, este no mostró demasiadas fluctuaciones a través del estudio a comparación del fosforo total, ya que, el valor mínimo es de 0.01 mg/L (feb-12) y el máximo de 0.06 mg/L (ene-13) (Fig. 25).

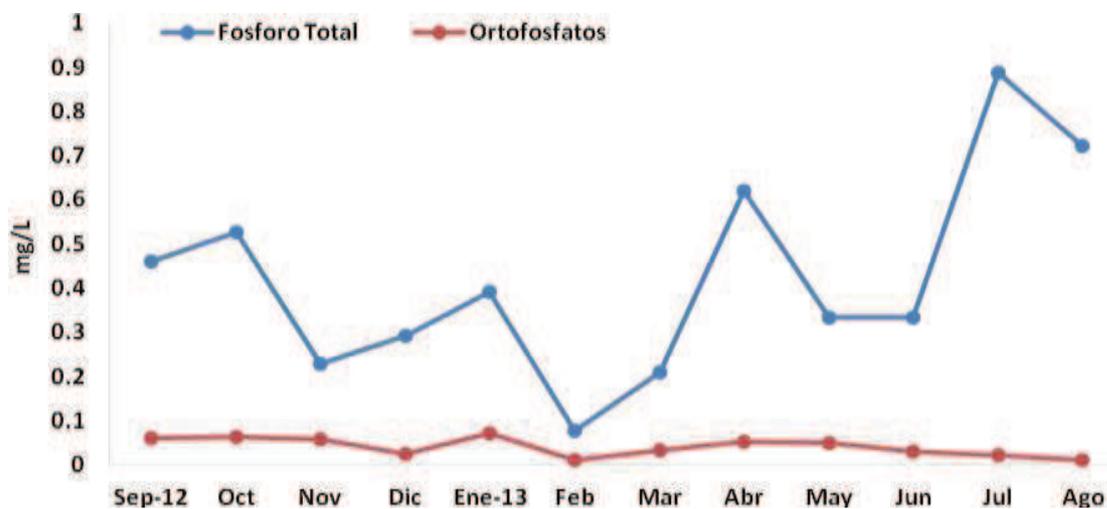


Fig. 25. Comportamiento temporal de fósforo total y ortofosfatos en Huitichila

La concentración respecto a los sulfatos tuvo picos a lo largo del tiempo de muestreo, con un máximo de 126 mg/L (octubre) y un mínimo de 13.3 mg/L (abril). Dicha concentración está estrechamente relacionada con el oxígeno disuelto, ya al oxidarse rápidamente el H₂S en el sistema, formando iones sulfatos en solución o asociándose con el hierro, que esto forma sulfuro de hierro, dependiendo de la cantidad de oxígeno presente en el sistema y del pH; en este caso, es un sistema con buena oxigenación y condiciones ligeramente alcalinas (Fig. 25).



Santibáñez-Márquez, D.

La concentración de sílice en el sistema, fluctuó de manera en que no se registraron picos notables en comparación de los sulfatos, con un mínimo de 21.56 mg/L (sep-12) lo que corresponde al final de la temporada de lluvias y presento también un máximo de 59.75 mg/L (ago-13) que corresponde a la misma temporada (Fig. 26).

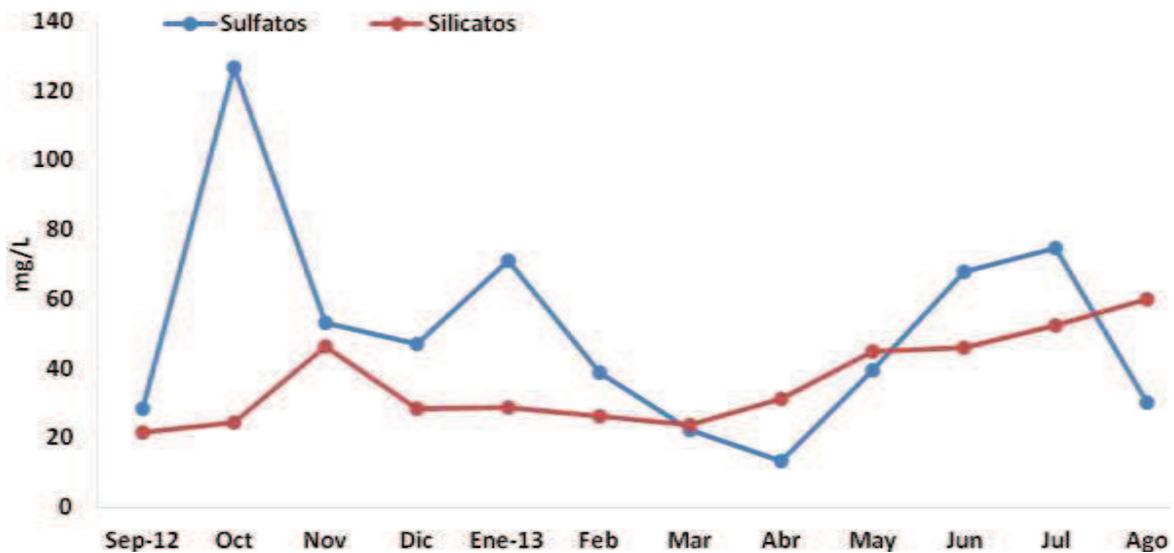


Fig. 26. Comportamiento temporal de sulfatos y silicatos en Huitchila

A continuación se presentan los valores promedio de todas las variables determinadas (Tabla 5).



Tabla 5. Promedios de los parámetros físicos, químicos, clorofila "a" y IET del bordo Huitchila durante el periodo de estudio

PARÁMETRO	PROMEDIO
T. AMBIENTE (°C)	26.9
T. AGUA (°C)	22.8
PROFUNDIDAD (m)	3.2
TRANSPARENCIA (m)	0.46
OXIGENO (mg/L)	6.6
CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1072.3
SOLIDOS SUSPENDIDOS	558.3
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	165.3
DUREZA DE CALCIO (mg/L CaCO_3)	22.7
pH	8.6
ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO_3)	161.8
ALCALINIDAD CA^+ (mg/L CaCO_3)	31.2
FOSFORO TOTAL (mg/L)	0.42
ORTOFOSFATOS (mg/L)	0.04
NITRITOS (mg/L)	0.007
NITRATOS (mg/L)	0.18
AMONIO (mg/L)	0.14
SULFATOS (mg/L)	51.01
SILICATOS (mg/L)	36.09
CLOROFILA "a" (mg/L)	17.09
INDICE DEL ESTADO TROFICO (IET)	71.15



Análisis estadístico

- Análisis de Componentes principales

A todos los datos físicos, químicos y biológicos se les aplicó el análisis multivariado de análisis de componentes principales (ACP), esta es una técnica estadística de síntesis de información siendo su objetivo reducir a un menor número de variables perdiendo la menor cantidad de información posible. Se tomaron en cuenta 21 variables para la realización de este método para el sistema Huitchila, estas se dividieron en 4 componentes: climático, edáfico, morfométrico y biológico. En este caso, las variables se agruparon en 7 componentes (Tabla 6) (Fig. 27), puesto que los componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales a 1.0. En conjunto ellos explican 92.77% de la variabilidad en los datos originales. Sin embargo, con el haber elegido solo cinco componentes se tiene el 82.5% acumulado, lo cual sería adecuado para este análisis aún cuando el valor de eigenvalor sea mayor de 1.

Tabla 6. Análisis de los componentes principales del sistema Huitchila

COMPONENTE NÚMERO	EIGENVALOR	PORCENTAJE DE VARIANZA	PORCENTAJE ACUMULADO
1	5.72195	27.247	27.247
2	4.05951	19.331	46.578
3	3.44442	16.402	62.980
4	2.26994	10.809	73.790
5	1.83004	8.714	82.504
6	1.12269	5.346	87.850
7	1.03339	4.921	92.771

Por otra parte, en Huitchila los primeros cuatro componentes principales explicaron el 73.79% de la variación total y se utilizó el criterio de González-Villela y Banderas-Tarabay (2002) y Rivera y Hernández (2011), que plantean no usar los componentes principales que no expliquen más del 10%, por esta razón no se incluyen en el análisis los componentes 5, 6 y 7.



Tabla 7. Pesos de los componentes principales del sistema Huitchila1

	COMPONENTE	COMPONENTE	COMPONENTE	COMPONENTE
	1	2	3	4
TEMP. AMB.	-0.107845	-0.110946	0.159777	0.522117
TEMP. AGUA.	-0.0635345	0.155015	-0.365069	0.10791
TRANSPARENCIA	0.0364513	0.161278	0.426134	0.149388
O D (O ₂)	0.19814	0.000803058	0.333404	-0.216352
CONDUCTIVIDAD	-0.281897	-0.295387	-0.131981	0.134048
PH	0.151972	-0.263733	0.301369	0.0370521
SOLIDOS D.	-0.28366	-0.298744	-0.125531	0.112905
PROF TOTAL	0.322943	0.0926189	0.252892	-0.10304
D. TOTAL	0.307892	-0.0607433	-0.0452713	-0.0690902
D. CA	0.339678	0.0853377	-0.14676	0.0416055
ALC. TOTAL	-0.123016	-0.290679	0.0436749	-0.344302
ALC. CA	-0.154048	-0.151366	-0.0562048	-0.428462
NITRITOS	0.281477	0.0166064	-0.297303	0.0051605
NITRATOS	0.285689	-0.12258	-0.185059	-0.0859584
SULFATOS	0.219745	0.013702	-0.219312	0.0322339
FOSFORO T	-0.0944623	0.310262	-0.221209	-0.0151312
SILICATOS	-0.21805	0.233035	-0.148678	-0.104124
ORTOFOSFATOS	0.185118	-0.290882	-0.169606	0.0967997
AMONIO	0.0331802	-0.347383	-0.165982	-0.307371
FITO TOTAL	0.32426	-0.126398	0.3076275	0.210572

En la tabla 7, se muestran los pesos de cada componente elegido. En el primer componente se incluye la profundidad total (0.3229), dureza total (0.3078), dureza de calcio (0.3396), nitratos (0.2856) y fitoplancton total (0.3242), en este se puede apreciar claramente la influencia estacional (lluvias) o el término de esta época; las lluvias aumentan la profundidad y causa un aumento de los nutrientes (nitratos) que benefician directamente a la abundancia del fitoplancton, la dureza total y de calcio aumentan por el aporte externo al sistema causado por las lluvias. En el segundo componente la conductividad (-0.2953) y los sólidos suspendidos (-0.2987) tienen una relación inversa como factor edáfico al igual que el amonio (-0.3473), ya que el proceso de amonificación ocurre principalmente en el fondo del sistema y a estos últimos se tiene la relación directa del fósforo total (0.3102) e inverso con los ortofosfatos (-0.2908).

En el tercer componente se encuentran la temperatura del agua (-0.36506) y el oxígeno disuelto (0.3334), estos dos se ven afectados de manera inversa; este último se relaciona directamente con la transparencia (0.4261) y los nitritos.

En el cuarto componente se encuentran la alcalinidad total (-0.3443) con efecto inverso y tienen una relación directa con la temperatura ambiente (0.5221).

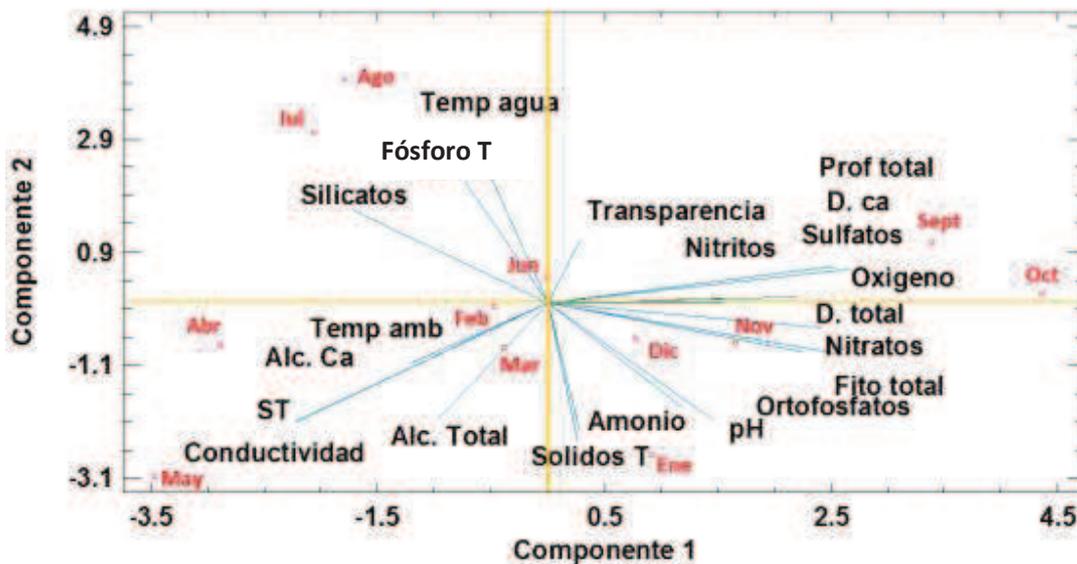


Fig. 27. Componentes principales del sistema Huitchila

En la figura anterior (Fig. 27) los componentes están divididos en cuatro cuadrantes, esta separación está dada por el carácter climático (época de secas-frías, secas-cálidas y lluvias). En los meses donde se registran lluvias, como junio, julio, agosto, septiembre y octubre, están asociados los parámetros como transparencia, profundidad total y oxígeno disuelto, estos están siendo afectados directamente por el factor climático ya que al presentarse precipitaciones la profundidad tiende a aumentar y la transparencia de igual manera, el oxígeno disuelto aumenta por el proceso de mezcla que las lluvias provocan en el sistema así como por el viento. En los meses que predomina la época de secas-frías (noviembre, diciembre y enero) están asociados los parámetros de sólidos totales, amonio, pH, ortofosfatos, fitoplancton total, nitratos y dureza total, esta relación está regida por el aumento del fitoplancton, principalmente por una de sus divisiones (Euglenophyta) que induce abundancias de *Phacus* sp.. Por último, los meses de marzo, abril y mayo que corresponden a la época de secas-cálidas, los parámetros asociados que son, temperatura ambiental, alcalinidad de calcio, conductividad y sólidos totales, se debe a la pérdida de agua debido al uso constante para riego, como también al incremento de la temperatura ambiental que induce tasas de evaporación y estos están relacionados directamente con la fase de concentración del sistema ocasionando un aumento de los parámetros ya que están



Santibáñez-Márquez, D.

directamente influenciados por el factor edáfico que se vuelve en estos meses más determinante en el equilibrio del sistema.

- Análisis de Clúster

En la fig. 29, se muestra el análisis de Conglomerados o de Agrupamiento (Clúster), donde se puede observar la agrupación de las variables de cada mes respectivamente, esto de acuerdo a la relación que tengan entre sí, separándolos en dos grupos principales. El primer grupo se divide en dos subgrupos; el primero está conformado por los meses que corresponden al final de la época de lluvias (sep-12 y oct-12). El segundo subgrupo corresponden a la época de secas-frías (nov-12, dic-12 y ene-13) y feb-13 y mar-13, que corresponden a la transición de la época de secas-frías a la época de secas-cálidas. El segundo grupo principal de igual manera se divide en dos subgrupos; el primero de ellos corresponde a la época de secas-cálidas (abr-13 y may-13) donde se caracteriza la alta evaporación, la ausencia de lluvias y poca profundidad y el mes de transición de época de secas-cálidas a época de lluvias (jun-12). Jul-13 y ago-13 son el segundo subgrupo que corresponde a los meses de época de lluvias (mayor precipitación).

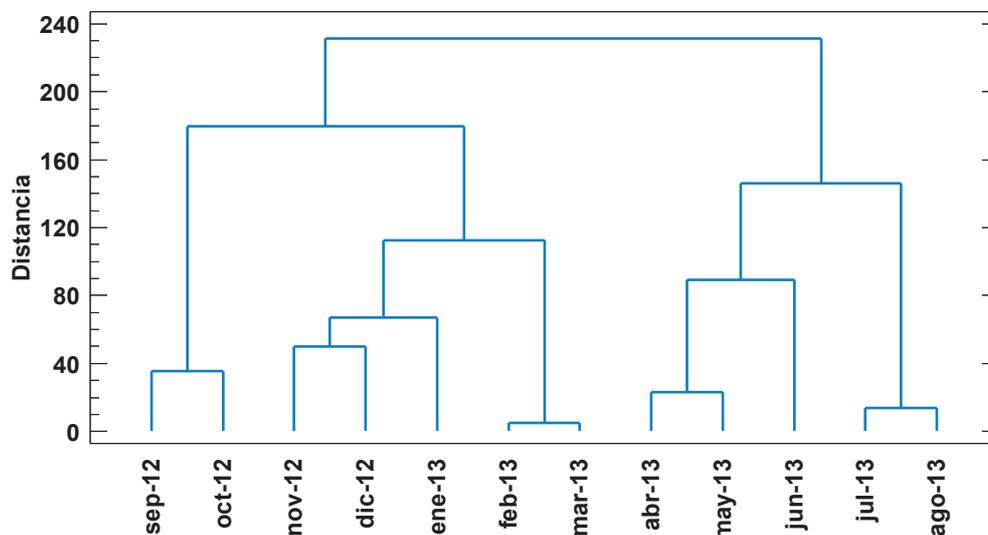


Fig. 29. Dendrograma que muestra la agrupación de los meses de acuerdo a los parámetros físicos, químicos y biológicos de Huitchila



Discusión

De acuerdo con Moreno (2003) es requisito indispensable que en las investigaciones hidrobiológicas se integre el estudio de las comunidades microalgales para determinar la calidad del agua. Los grupos taxonómicos dominantes presentes en el cuerpo de agua Huitchila son las Cyanobacteria (*Chroococcales* y *Oscillatoriales*), las Chlorophyceae (*Chlorellales*, *Chlorococcales*, *Sphaeropleales*, *Desmidiiales* y *Volvocales*) y las Euglenophyceae (*Euglena*, *Phacus*). Las diatomeas generalmente alcanzan biomásas mucho menores que los grupos precedentes. En general, se considera que la diversidad de los bordos (sistema eutrófico con tendencia a la hipereutrofía) es menor comparada con la de sistemas no eutróficos (Álvarez-Cobelas y Jacobsen, 1992).

Los organismos representativos del fitoplancton en los bordos de climas cálidos son de la división Chlorophyta (Arredondo, 1993, Hernández-Avilés *et al.*, 2007). En Huitchila, se puede apreciar lo anteriormente descrito, en todos los meses de muestreo, excepto en octubre que fue donde hubo un dominio de las Cyanophyta y en enero que hubo una transición de abundancias entre Chlorophyta, Euglenophyta y Cyanophyta.

Al hacer el análisis por división Ortiz (2006), Ramírez (2008) y Rosas (2009) mencionan que la división Chlorophyta es la que predomina en los cuerpos de agua lénticos en el estado de Morelos, ya que las condiciones presentes en el sistema fueron propicias para su óptimo desarrollo, debido probablemente a que las concentraciones moderadas de nitrógeno y fósforo, permitieron a este grupo de algas condiciones adecuadas para su desarrollo de manera temporal, análisis que fuera apoyado por Harper, (1992). El bordo Huitchila presentó una dominancia de géneros de las Chlorophyta a lo largo de los muestreos, las cuales son: *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Chlamydomona*, *Monoraphidium*, *Selenastrum*, *Kirchneriella*, *Scenedesmus* y *Cosmarium*, concordando lo obtenido por Krammer y Lange-Bertalot, (1986), Ortega *et al.* (1994), Reynolds (2006), Ramírez (2008) y Rivera y Hernández, (2011) que *Scenedesmus*, *Tetaedron*, *Ankistrodesmus* y *Monoraphidium* son representativos de los sistemas someros eutróficos, al igual que Hernández-Avilés *et al.* (2002), quienes mencionan que *Monoraphidium*, *Selenastrum*, *Pediastrum*, *Coelastrum*, *Crucigenia* y *Scenedesmus* son algunos géneros que representan el fitoplancton en los bordos de climas cálidos. Una de las especies más abundantes de esta división presentes en el sistema es *Chlorella vulgaris*, ésta especie es considerada como un organismo que se desarrolla fácilmente en sistemas acuáticos eutróficos, grandes floraciones de esta indican una fertilización al sistema, lo que se lleva a cabo cuando el ganado defeca



Santibáñez-Márquez, D.

dentro del bordo al momento de utilizarlo como abrevadero, como también la resuspensión de sedimento provocada por las actividades pesqueras que se realizan dentro sistema acuático.

La fertilización produce un aumento en la abundancia del fitoplancton, pero no tiene un efecto sobre la composición genérica resultante, tal como lo demostró Parsons *et al.*, (1972), quienes después de fertilizar un lago concluyeron que no existe un cambio sustancial en la abundancia de las principales especies, ya que estas se mantienen uniformes y sólo se observó un aumento en la productividad y la presencia de algunas especies indicadoras de ambientes eutróficos, como es el caso de *Scenedesmus sp.*, de acuerdo con esto, en este trabajo se mantuvo constante este género a lo largo de los muestreos, pero aumentó significativamente en los meses fertilizados por los ejidatarios de la región.

Con respecto a las cianobacterias, esta división fue la segunda más abundante dentro de la comunidad fitoplanctónica, debido principalmente al proceso de circulación por efecto del viento como también a las actividades pesqueras presentes en el bordo. Esto propició la permanencia de este tipo de algas en la superficie gracias a los mecanismos de flotación que presentan (vacuolas). Las floraciones de cianobacterias son comunes en los sistemas lénticos y se asocian a varias causas: aumento de la carga de nutrientes, condiciones de alta insolación, altas temperaturas, estabilidad de la columna de agua y calma de los vientos (Reynolds, 1984; Paerl, 1988; Pizzolon, 1996; Pérez *et al.*, 2008). Uno de los factores que pudo propiciar la presencia de estos organismos es el aumento de elementos como el nitrógeno y fósforo, un ejemplo de esto fue en el mes de octubre, mes donde se implementó la fertilización orgánica por parte de los responsables de la Sociedad Cooperativa; Pizzolon, (1996) y Watson *et al.*, (1997), mencionan que al aumentar la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo principalmente) la abundancia relativa de las cianobacterias aumenta, mientras que los otros grupos del fitoplancton disminuyen en importancia, además Buck *et al.*, (1978) mencionan que fertilizar con estiércol propiciará un aumento crucial de Chlorophyta pero a su vez puede haber una sucesión de los grupos de Cyanophyta y Euglenophyta. Quiroz *et al.*, (1999) citan una dominancia instantánea de cianofitas al adicionar fertilizantes ricos en fósforo y nitrógeno, lo mismo que sucedió en Huitchila al momento de fertilizar ese mes, pero a lo largo del estudio se llegó a un punto de compensación en el que la división Chlorophyta superaron en número Cyanophyta, pero estas últimas siendo constantes durante todo el tiempo de muestreo. Cabe mencionar que muchas de las especies presentes en esta división tienen la capacidad de producir sustancias



Santibáñez-Márquez, D.

tóxicas que alteran notablemente las características organolépticas del agua (Cavalli *et al.*, 2005).

De León y Chalar (2003), que clasifican a la comunidad fitoplanctónica utilizando lo propuesto por Reynolds (1988), como C-estrategas (rápido crecimiento, pequeño tamaño y alta relación con la superficie), S-estrategas (organismos resistentes a la limitación de nutrientes) y R-estrategas (resistentes a turbulencias y a los cambios de luz que estas provocan), las cianobacterias que predominaron en este estudio fueron las C-estrategas, como *Chroococcus dispersus*, que fue una de las especies más frecuentes y con una abundancia alta junto con *Oscillatoria* sp. Estas especies no son consideradas como tóxicas, se registra lo mismo con *Merismopedia glauca* y *Mycrocystis aeruginosa* (C-estrategas), pero estas no presentaron frecuencias y abundancias altas. La dominancia de especies que tienden a la forma filamentosa (*Oscillatoria* sp.) presentan una frecuencia y abundancia alta, esto indica que en el sistema prevalecen las condiciones de alta turbulencia producidas por el efecto del viento que se observó durante todos los muestreos alrededor del medio día o en este caso también a las actividades pesqueras presentes en el bordo. Por lo cual, se puede decir que las cianobacterias son un indicador de la calidad del agua, en específico *Chroococcus dispersus*, cuya dominancia se presentó durante este estudio.

Para Euglenophyta, estas tienden a presentarse en ambientes donde prevalecen aguas ricas en materia orgánica, situación que se presenta en este tipo de bordos por la actividad ganadera. Ramírez (2008) menciona un aumento de la abundancia de la división Euglenophyta en época de lluvias, excepto por algunos sistemas donde se presentaron con mayor abundancia en época de secas. Quiroz-Castelán *et al.* (1999) citan que la presencia de la especie *Euglena acus* es un indicador de eutrofización de los sistemas acuáticos. Huitchila no es una excepción, ya que la mayor abundancia de esta división se presentó en enero lo que corresponde a la época de secas-frías donde se identificó a *Euglena acus* y *Phacus* sp. indicando un aumento de materia orgánica al sistema y una eutrofización de este. Wetzel (1981) propone que su desarrollo se localiza de manera temporal a determinados niveles de profundidad o en sistemas acuáticos con concentraciones altas de nutrimentos y ricos en materia orgánica disuelta y que también, se presentan en sistemas someros tal como el microreservorio Huitchila, que se considera un sistema somero al presentar una profundidad máxima de 5 m aproximadamente.

El fitoplancton está sometido 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 (Horne y Goldman, 1994; en González *et al.*, 2004_a). Además, en



Santibáñez-Márquez, D.

lo general, el conjunto de factores abióticos determinan la presencia de una especie en un sitio y en un momento dado, en tanto los factores bióticos regulan sus poblaciones (de la Lanza y García, 2002). En las últimas décadas el interés por la ecología del fitoplancton presente en lagos y embalses se ha incrementado significativamente. Esto se debe a que los problemas asociados a su desarrollo excesivo, particularmente de determinadas especies de algas, pueden limitar el uso recreativo de un cuerpo de agua, afectar su calidad estética y en caso de ser fuente de abastecimiento, también puede provocar inconvenientes en el proceso de potabilización.

Las Bacillariophytas contienen sílice en su estructura y cuando existe una baja de este elemento en la temporada de secas Margalef (1983) menciona que las concentraciones de sílice se presentan en la capa tropogénica y con grandes variaciones en su distribución espacio-temporal. En los resultados se muestra, que aunque haya una concentración considerable de sílice en la columna de agua, las diatomeas no tienen una proliferación mayor y quedan desplazadas por las divisiones dominantes. Arredondo-Figueroa (1987) indica que las Bacillariophyta son organismos indicadores de aguas fuertemente mineralizadas, por lo que son comunes en ambientes con elevadas concentraciones iónicas, en las que las altas cantidades de sodio y cloro determinan su presencia, sobre todo son especies indicadoras como es el caso de *Cyclotella menenghiniana*, como lo mencionan Tilman (1976) y Tilman y Kilham, (1977), lo cual no se observó en este estudio.

Esto también se puede deber a que la mayoría de estos organismos puedan estar presentes en la parte bentónica del sistema y que por efecto de la actividad pesquera, el pescador al lanzar el arte de pesca, induce por resuspensión la presencia de estos organismos en la columna y por lo tanto, el tener en las muestras de agua la presencia de ellas.

En algunos países asiáticos que presentan climas tropicales, Seenayya (1972) reporta una lista de especies fitoplanctónicas, dentro de las que considera con gran abundancia a: *Chlamydomona sp.*, *C. stellata*, *C. tetragamum*, *Chlorella vulgaris* (Chlorophyceae), de las cuales la primera y la última son las únicas que coinciden en cuanto a las de mayor abundancia en este trabajo; *Nitzschia amphibia*, *N. palea* y *N. gracilis* (Bacillariophyceae), ninguna se reporta en este trabajo; *Euglena acus*, *Lepocinclis caudata*, *L. ovum*, *L. texta*, *Phacus acuminatus*, *P. agilis*, *P. curvicauda*, *P. onyx*, *P. orbicularis*, *Trachelomonas hispida* y *T. volvocina* (Euglenineae), al respecto de estas se presentó principalmente el género *Phacus* y en segundo lugar *Euglena acus*; y *Chroococcus turgidus*, *Merismopedia minima* y *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) de las cuales se mencionan en este trabajo también, *Merismopedia* y *Microcystis*.



Santibáñez-Márquez, D.

Khan y Siddiqui (1971a y 1971b) mencionan que en un lago en la India, la especie más importante del fitoplancton fue *Microcystis aeruginosa* y reporta otras especies consideradas también importantes: *Spirulina major*, *Ocillatoria limnetica*, *Scenedesmus dimorphus*, *S. obliquus*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Spirogyra dubia*, *Oocystis novae-similis*, *Fragilaria capacuina*, *F. intermedia*, *Syndera ulna*, *Cyclotella operculata*, *Chlamydomonas globosa*, *Euglena sp.* y *Phacus sp.*, la mayoría de las cuales son reportadas en este trabajo. Lo anterior indica que los aspectos latitudinales, no limitan la posibilidad de que algunas especies y sobre todo, géneros fitoplanctónicos se repitan continuamente.

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 la acuicultura. El cuerpo de agua conocido como Huitchila se localiza en una zona marcada por la temporada de secas y lluvias que tienen influencia directa con el proceso de concentración y dilución de los nutrientes en el agua del sistema (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava 1992).

La transparencia al disco de Secchi y profundidad, tienden a estar relacionadas, sabiendo que al bajar el nivel de agua en el sistema habrá un vínculo más estrecho con el fondo del mismo. Tal es el caso que en la época de lluvias existe la llamada época de dilución (alta transparencia) y en la época de secas la etapa de concentración (baja transparencia). Se puede considerar como un sistema permanente, ya que a lo largo del estudio presentó una profundidad máxima de 4.35 m y la mínima osciló alrededor de 1.5 m. De la Lanza y García (2002), indican que el balance hidráulico de estos sistemas depende de tres factores principales: la precipitación, la evaporación y el escurrimiento superficial; ya que el sistema se encuentra en una región con clima tropical y tiene una amplia fluctuación en la época de secas y lluvias, por lo que presenta variaciones estacionales significativas (Wallace *et al.*, 2006). Chapman y Kramer (1991) señalan que el inicio de la época de lluvias indica un cambio radical en las características físicas y químicas de los pequeños cuerpos de agua tropical. 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 el 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 debido a lo somero de los sistemas, lo cual disminuye ligeramente en la temporada de lluvias.



Santibáñez-Márquez, D.

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 nutrientes del fondo. González *et al.*, (2004a, 2004b) proponen, que los mayores datos de transparencia que pueden darse en un cuerpo de agua se presentan en la época de lluvias (etapa de dilución) y las menores en época de secas (etapa de concentración), disminuyendo la turbiedad de las aguas, la cual es básicamente de origen biogénico (fitoplancton), lo que es un carácter típico de sistemas eutróficos (Wetzel, 2001), características que concuerdan con los resultados obtenidos en este estudio, ya que la mayor transparencia registrada fue en época de lluvias y la menor en época de secas, esto debido a la resuspensión de sedimento y a su vez, al aumento de la materia orgánica.

En los pequeños embalses se incrementan las variaciones de nivel por la marcada influencia del entorno, especialmente con la temperatura ambiental. La reducción del volumen puede disminuir la profundidad de penetración de luz debido a una mayor turbidez y por lo tanto, la producción primaria (De la Lanza y García-Calderón, 2002). Esto se observa a lo largo del estudio, ya que en el bordo Huitchila la profundidad varió respecto a las condiciones ambientales que los afectaron. Por otro lado, la persistencia en el tiempo de los bordos es más corto que el de los sistemas lacustres naturales (lagos) e incluso que el de las presas de gran escala, debido al intenso aporte de sedimento que son acarreados por las escorrentías en época de lluvias y al del afluente, característica principal de los cuerpos de agua artificiales (Thorthon, 1990), razón por la cual los microembalses tienen que ser desazolvados cada cierto tiempo como sucede en la Palapa (Rivera y Hernández, 2011).

Con respecto a la temperatura, se registró en los meses de febrero, marzo, abril y mayo de 2013 y noviembre y septiembre de 2012 datos que corresponden a una estratificación parcial y en los meses restantes un periodo de mezcla, lo cual indica que el sistema se clasifica como polimíctico cálido continuo de acuerdo con Lewis (1983), pero es necesario corroborar lo obtenido con la realización de un ciclo nictímero durante las diferentes etapas del estudio. Oliva-Martínez *et al.*, (2008) proponen que una característica de los lagos someros es que la columna de agua se mezcla frecuentemente por la acción del viento, lo que también implica la resuspensión de materiales alóctonos, propiciando una mezcla en el sistema y como tal una homogeneidad de sus variables físicas, químicas y biológicas. Hernández-Avilés y García-Calderón (2007) mencionan que los cuerpos de agua tropicales como el sistema Huitchila, puede ser clasificado como polimícticos cálidos y que en estos embalses



Santibáñez-Márquez, D.

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.

Al analizar los datos del oxígeno disuelto (OD), se puede observar en las dos estaciones, que la mayor concentración se encuentra en la capa superficial (0.30 m) la cual va disminuyendo gradualmente a lo largo de la columna del agua. Este sistema presenta aguas bien oxigenadas, al igual que Gómez-Márquez *et al.* (2008), reportaron buenas concentraciones de oxígeno disuelto para el lago El Rodeo. Bardach *et al.* (1986) y Rodríguez y Carmona (2002), mencionan un intervalo de OD recomendable para el desarrollo de vida acuática, el valor promedio registrado en el sistema Huitchila se encuentra en el intervalo antes mencionado por los autores. Las altas concentraciones de OD en la capa superior del embalse (zona fótica) es debida a la gran cantidad de biomasa fitoplanctónica; como lo menciona Naselli-Flores (2000) que la variación del fitoplancton responde a las fluctuaciones de la temperatura y a la cantidad de radiación solar; la cual influye más en la parte superior que en la parte profunda del sistema. Asimismo, la presencia y velocidad del viento afectaron los niveles de OD durante cada uno de los muestreos realizados.

De acuerdo con los datos obtenidos de pH en el agua del sistema, ésta presenta una tendencia ligeramente alcalina, con promedio de 8.8, con lo que puede relacionarse con la actividad fotosintética, ya que al tener una alta actividad, el CO₂ disminuye y por tanto prevalece la alcalinidad cuyos valores tienden a hacerse presentes (Abarca, 2007), como se observa en el estudio.

Los datos obtenidos de dureza total tomando el promedio fueron de 195 mg/L CaCO₃, por lo que se considera como aguas duras, esto debido a las características edáficas de la zona de estudio asociado a la alta tasa de evaporación presente en el sistema. De la Lanza y García (2002), menciona que este es uno de los factores más representativos de estos sistemas. El hecho de que en el sistema de estudio, la alta concentración de dureza total en forma de carbonato de calcio no afecte al pH haciéndolo más alcalino (valores de pH por arriba de 10), puede deberse a que el CO₂ necesario para mantener en solución las cantidades que se presentan de carbonato de calcio, se esté perdiendo en los procesos fotosintéticos de las algas, esto provoca la precipitación de grandes cantidades de CaCO₃ al sedimento del sistema. No es normal que la concentración de dureza total en forma de CaCO₃ en un sistema sea tan elevada si el pH del sistema se mantiene por debajo de las 9 unidades (Ligeramente alcalino), esto quiere decir que la vía por la que se esté generando bicarbonato de calcio sea por solubilización de las rocas del sedimento si no, de la entrada de este elemento, provenientes de los suelos agrícolas que se encuentran alrededor del embalse. En los siguientes meses de secas



Santibáñez-Márquez, D.

hay una disminución considerable de CaCO_3 en el sistema debiéndose a que no hay un movimiento que permita la recirculación de los elementos carbonatados del sedimento.

La alcalinidad del agua se puede definir como una medida de su capacidad para neutralizar ácidos y es imprescindible para la productividad del sistema. Arredondo (1986), menciona que para sistemas que se utilicen con objeto de piscicultura, aguas que contengan más de 40mg/L son productivas, los resultados obtenidos para Huitchila se es un promedio de 162.5 mg/L, por lo tanto, aguas productivas.

Si se retoma al pH, alcalinidad y dureza total Navarrete-Salgado *et al.*, (2000) mencionan que los valores obtenidos de dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, pH, temperatura están dentro de los límites de tolerancia para el crecimiento de la tilapia (*Oreochromis sp.*). Con base a lo anterior, el sistema Huitchila puede considerarse como un 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, según De la Lanza, (1998). En cuanto la conductividad y sólidos disueltos totales (SDT) tienen una relación positiva, es decir, que si uno cambia drásticamente de mayor a menor, el otro parámetro de igual manera lo hará, Gómez-Márquez *et al.*, 2013, reportan un comportamiento diferente al obtenido en nuestro estudio (igualmente en Huitchila), ya que sus resultados máximos respectivamente de los dos parámetros, fueron obtenidos en la época de lluvias (dilución) y los menores en la época de secas (concentración). Como se había citado antes, esto pudo deberse a la alta evaporación presentada en el sistema, a la pérdida de agua por la extracción para actividades agrícolas como también a la acción del viento, provocando una erosión a la orilla del embalse y aportando material alóctono, haciendo que se resuspendiera el material sedimentado a lo largo de la columna del agua, aumentando considerablemente la cantidad de estos dos parámetros.

En el caso de los compuestos del nitrógeno que se pueden encontrar en el cuerpo de agua, como también los fosfatados, ya que estos son constituyentes del protoplasma celular de los organismos, los más importantes son los nitratos (NO_3), estos presentan fluctuaciones a través de todo el estudio. El registro de la concentración más alta fue de 0.48 mg/L, cuando el sistema fue fertilizado con material orgánico "vacaza"; la mínima fue de 0.05 mg/L, este ligado al aumento de concentración de amonio y al comienzo de la época de secas-frías (etapa de concentración).

Según Buck *et al.*, (1978), el aporte de fertilizante orgánico, es una de las medidas para provocar que un sistema se torne productivo al aumentar las concentraciones de nutrientes como NO_3 , NH_4 y fosfatos. González *et al.*, (2004b) obtienen una concentración mayor de nitratos en la capa superficial, esto dado por altas



Santibáñez-Márquez, D.

concentraciones de O_2 que al estar en contacto con el nitrógeno, proveniente de la desnitrificación del fondo de los sistemas provocados por las bacterias encargadas de este proceso, este es oxidado en las capas superficiales. González *et al.*, (2004b), concluyen que las altas concentraciones de nitratos es el aporte alóctono provenientes de la cuenca adyacente al sistema. Concordando los resultados obtenidos del embalse con los resultados de los autores ya citados, el mes de oct-12 se considera una transición de época de Lluvias-Secas al tener escurrimientos pequeños que aportan materiales al sistema, como también influyendo en la concentración de nitratos el hecho de fertilizar orgánicamente el sistema.

El amonio (NH_4), mostró un mínimo de 0.03 mg/L y un máximo de 0.37 mg/L. González *et al.*, (2004), mencionan que, a niveles más profundos se encuentran productos de desechos (como el amonio), ya que el contenido de materia orgánica es mayor y la demanda de oxígeno aumenta para el proceso de descomposición de ésta, y por consecuencia hay una mayor producción de amonio. Esto puede demostrarse en el aumento de la división Euglenophyta que según Buck *et al.*, (1978), reporta que el aporte de materia orgánica al sistema genera un aumento de esta división como también de las Chlorophyta y Cianophyta, esto observado en el mes de mayor concentración de amonio, como también las abundancias similares que se obtuvieron de estas 3 divisiones. Con respecto a los nitritos (NO_2), este obtuvo durante todo los muestreos, una concentración baja, con un promedio de 0.008 mg/L, esto se hace posible al parecer porque los otros procesos del ciclo del nitrógeno tienen más peso en el sistema; como ya se sabe una alta concentración de nitritos es tóxica, al no tener presencia alta de este elemento, el sistema es apto para el crecimiento de organismos (Wetzel, 1981).

En el caso del fósforo total se observaron fluctuaciones importantes, Arocena *et al.*, (2008) mencionan que los principales aportes de fósforo proceden de fuentes externas o de fuentes internas (resuspensión del sedimento). En el sistema Huitichila se presentan fluctuaciones donde se observa un patrón evidente de variación, con las mínimas concentraciones en épocas de secas. Los ortofosfatos se mantuvieron constantes durante todo el estudio.



Santibáñez-Márquez, D.

El objetivo de estudiar el flujo de los nutrientes, principalmente de nitrógeno y fósforo, de los cuerpos de agua, fue por la evidente degradación de los ecosistemas acuáticos y por la excesiva acumulación de estos. Ortiz (2006) reportó que con base en el índice del estado trófico propuesto por Carlson y Simpson (1996), el 88% de los sistemas que estudio en el estado de Morelos fueron clasificados como eutróficos con tendencias a la hipereutrofia, ya que registra en temporada de lluvias que los sistemas son productivos y en época de estiaje o secas, tienden a presentar baja productividad. El sistema Huitchila es considerado como eutrófico con tendencia a la hipereutrofia, ya que presentó un mínimo de IET de 75.2 y un máximo de 89.6, que corresponden al intervalo de eutróficos-hipereutróficos. Cabe señalar que el bordo Huitchila al estar rodeado por campos agrícolas y vegetación, se altera radicalmente la productividad del sistema lacustre, ya que dicho reservorio recibe grandes entradas de nutrientes en relación con su volumen, lo que incrementa su capacidad productiva, principalmente en la época de lluvias. Sin embargo, en la mayor parte de los casos las actividades humanas son las que generan las modificaciones en los niveles de nutrimentos y una de ellas es la tala inmoderada así como el uso del suelo para el quehacer agrícola (Cloudsley-Thompson, 1979). Además el solo hecho de implementar técnicas agrícolas con aplicación desmedida de fertilizantes, es la principal causa de que el agua que sale de un campo agrícola contenga una gran cantidad de agroquímicos. Debido a lo anterior el sistema se puede considerar como altamente productivo y poco profundo, por lo que se presenta una alta relación con el sedimento aunque esto es solo uno de los tantos factores que causan efecto en el estado trófico.

Para el 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 0.82 y 2.36; ellos consideran que la densidad 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. En el sistema Huitchila se obtuvieron valores entre 1.29 y 2.81; con estos valores se asume que no todas las especies están representadas en una muestra y se encuentran dentro de los valores de diversidad reportados para sistemas tropicales por los autores anteriores. Sánchez y Zamora (2012) reportan para el mismo sistema un valor anual de 1.3, mientras que el obtenido en este estudio fue de 2.3, esto quiere decir que la variación temporal del fitoplancton en este sistema no será



Santibáñez-Márquez, D.

la misma ya que presenta diferentes fluctuaciones en relación a los factores físicos y químicos en los meses que se realizó cada estudio.

Respecto a la equitatividad o uniformidad de una comunidad, los valores oscilan de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes. Para el caso de Huitchila, se obtuvo un promedio de 0.63, esto indica que las especies que se encuentran en el cuerpo de agua no están repartidas de igual manera y esto se muestra en su variación que presenta la abundancia durante la temporada de lluvias y secas por efecto de las condiciones ambientales. Para el caso de la dominancia (D'), es un índice basado en lo inverso de la uniformidad es decir, que teniendo una mayor uniformidad va a decrecer la dominancia y viceversa; para este caso se obtuvo un promedio de 0.44, esto muestra que las especies no son igualmente abundantes durante el periodo de estudio.

Para jerarquizar la dominancia de las especies reportadas para el cuerpo de agua en estudio, se realizó el diagrama de Olmstead-Tuckey. Los resultados obtenidos por este método fueron que el mayor porcentaje de especies se concentra en la jerarquía de "raras" (19 especies), ésto indica que presentan baja abundancia y frecuencia de aparición. En el caso de la jerarquía de "dominantes" las especies fueron *Chlorella vulgaris*, *Kirchneriella obesa*, *Chlamydomona sp.* (Chlorophyta), *Merismopedia glauca* (Cyanophyta), *Phacus sp* (Euglenophyta), especies pertenecientes a los géneros que Rivera y Hernández (2011) registraron en los bordos La Palapa y Amate amarillo, cuerpos de agua cercanos al mencionado en este estudio.

Para la comunidad fitoplanctónica, Rivera y Hernández (2011) reportaron un total de 59 géneros para el sistema Amate amarillo y 57 géneros para el sistema La Palapa, géneros que engloban a las especies identificadas en este estudio. Espinosa (2011) reporta 180 especies para los sistemas Los Planes; en este estudio se reportó un total de 42 especies mientras que Sánchez y Zamora (2012) citan para el mismo cuerpo de agua un total de 69 especies.

Para la realización del 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. El ACP, mostró la formación de bloques que están constituidos por los meses de muestreo, se definen al menos tres cuadrantes principales. El primer cuadrante está conformado por los meses de noviembre, diciembre y enero que se caracterizan por presentar bajas temperaturas y ausencia de lluvias (temporada de secas-frías) con baja productividad. En el segundo cuadrante se encuentran los meses de febrero, marzo, abril y mayo, estos presentan mayores temperaturas, de igual manera ausencia de lluvias y una alta tasa de



Santibáñez-Márquez, D.

evaporación, que representa a la época de secas-cálidas. En el último cuadrante se observan los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, periodo caracterizado por fuertes precipitaciones. Se puede observar el efecto notorio en el sistema por los factores meteorológicos (Época de secas-frías, época de secas-cálidas y época de lluvias), como lo encontrado por González-Villela y Banderas-Tabaray (2002) que realizaron un estudio en un lago (El Sol) tropical de alta montaña en Toluca, Edo. de México; los pesos que obtuvieron se dividen principalmente en dos grupos que son afectados directamente por los factores meteorológicos que controlan los comportamientos hidrológicos y biológicos de este lago, los cuales están directamente relacionados con la entrada de la energía radiante y mecánica. El análisis realizado en este estudio sugiere que existe una influencia directa del clima en el medio acuático y un efecto indirecto en la producción primaria.

Asimismo, Ponce-Palafox y Arredondo-Figueroa (1986), reportaron en su estudio que la morfometría de un sistema influye más en la dinámica de las variables físicas y químicas, en este estudio no se pudo apreciar esta relación ya que no se determinó la morfometría del sistema como al menos lo realizaron Sánchez y Zamora (2012) en una sola vez en el mes de octubre del 2010 en este mismo bordo y sin tomar en cuenta para el análisis multivariado, por lo cual con base en los datos obtenidos, se registró que el clima y el factor edáfico tienen una relación mayor en la producción del sistema

La finalidad del Análisis de conglomerados o de Clúster, es dividir un conjunto de datos en grupos específicos de forma que los perfiles de los datos en un mismo grupo sean muy similares entre sí (cohesión interna del grupo) y los de los objetos de clusters diferentes sean distintos (aislamiento externo del grupo) (Álvarez-Cáceres, 1995). Para el caso de Huitchila, este análisis mostró la división de todos los datos en dos grupos principales que corresponden a la época de lluvias y época de secas (estas a su vez divididas en secas-frías y secas-cálidas), también mostrando los meses de transición de cada época, esto corroborado por los subgrupos en los que se dividen cada grupo principal, similar a lo reportado por Espinosa (2011), Sánchez y Zamora (2012) y Rivera y Hernández (2011), a diferencia del trabajo realizado por Ramírez (2008), que concluye que los sistemas estudiados solo presentan dos distintas dinámicas dividiéndolos solo en temporada de secas y lluvias. Lo obtenido se corrobora con lo mencionado por Vagaggini *et al*, (2002) que muestran la composición y agrupamiento de dos cuencas en una reserva ecológica en Italia; el dendograma que obtienen, se observa una clara distinción entre las dos cuencas donde se ve notoriamente la división de dos grupos principales (época de lluvias y secas), esto tomando en cuenta la composición y sucesión del zooplancton en cada época del año.



Santibáñez-Márquez, D.

Este estudio fue realizado con datos físico-químicos y biológicos de un ciclo anual. La pregunta puede ser si este ecosistema es lo suficientemente estable como para utilizar los datos de un año para poder caracterizar su dinámica. Es importante realizar estudios constantes para actualizar y proporcionar información sobre la estabilidad de las comunidades que habitan este bordo, principalmente los utilizados por los ejidatarios de esa región (*Oreochromis niloticus* y *Cherax quadricarinatus*). La producción de estas especies es parte de las actividades agropecuarias realizadas en este cuerpo de agua, que generan un ingreso como también para cubrir las necesidades alimenticias de la población aledaña a este bordo.

Por lo tanto, se puede mencionar que Huitchila es un buen cuerpo de agua para el cultivo de peces, pero más aún, es analizar la oportunidad de un policultivo piscícola como estrategia, ya que según Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) ésta estrategia es la más adecuada para sistemas con las características antes mencionadas, ya que estos presentan la potencialidad de soportar altas densidades de carga de peces omnívoros o detritívoros y bajas de especies planctófagas que sean resistentes a las condiciones cambiantes de este medio. Sin embargo, se debe pensar en el efecto de la disminución continua que tiene el uso del agua, ya que la mayor parte del año se utiliza para los cultivos agrícolas, sin interesarles a los ejidatarios si el cultivo de peces es necesario para cubrir una necesidad alimenticia ó que puede servir de apoyo como una entrada económica para los agricultores, que también se dedican a esta actividad piscícola.



Conclusiones

- La comunidad fitoplanctónica estuvo conformada 4 divisiones: Chlorophyta, Cyanophyta, Bacilliarophyta y Euglenophyta, con 42 especies determinadas. La división Chlorophyta presenta mayor riqueza de especies.
- La diversidad de la comunidad fitoplanctónica varió de 1.2 a 2.8 unidades durante el periodo de estudio, la cual se considera baja. La mayor diversidad se dió en época de secas-cálidas.
- En el sistema se presentaron concentraciones óptimas de oxígeno, ya que se obtuvieron curvas clinógradas correspondientes a cuerpo de agua eutróficos.
- El resultado obtenido del IET, nos dice que este sistema es considerado como eutrófico con tendencia a la hipereutrofia, este índice se vio afectado por la época de lluvias y su aporte de fósforo al sistema.
- De acuerdo a las características físico-químicas obtenidas, el microreservorio Huitchila se puede considerar como un sistema productivo, con aguas bien oxigenadas (6.6 mg/L) y duras, con temperaturas promedio de 22.8 °C, adecuadas para el desarrollo de la comunidad fitoplanctónica; así mismo, se puede clasificar como un bordo permanente con una profundidad mínima de 1.5 m en época de secas y una máxima de 4.3 en época de lluvias.
- De acuerdo al ACP se seleccionaron 4 componentes, donde se pueden agrupar las variables de acuerdo al peso de cada una de ellas. Se identificó al componente edáfico y al componente climático como los principales de la dinámica de los parámetros a lo largo del tiempo de estudio.
- Con base en el análisis de agrupamiento (Cluster), se clasificó a los meses de manera general en dos épocas: época de lluvias y secas, esta última dividida en secas-frías y secas-cálidas; cabe mencionar que en este análisis se muestran los meses de transición entre cada época.



Bibliografía

- Abarca, F. J. (2007). Técnicas para la evaluación y monitoreo del estado de humedales y otros ecosistemas acuáticos. Pp 113-114. En: Sánchez Ó. Herzig M. Peters E. Marquez-Huitzil R. y Zambrano L. (2007) (EDS). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología. México.
- 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 (48): 1-15.
- Albert, L.A. (1997). "Plaguicidas": 359-382. En: "Introducción a la toxicología ambiental. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Mundial de la Salud, Secretaria de Ecología, Metepec, México.
- Álvarez-Cáceres, R. (1995). Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS, aplicación a las ciencias de la salud. Ediciones Días de Santos S.A. Madrid, España. 254 p.
- Álvarez-Cobelas, M. y B. A. Jacobsen. (1992). Hypertrophic phytoplankton: an overview. Freshwater Forum 2: 184-199.
- Arocena, R., G. Chalar., D. Fabian., L. de León., E. Brugnolo., M. Silva., E. Ródo., I. Machado., J. P. Pacheco., R. Castiglioni y I. Gabito. (2008). Estado trófico de embalses paso Severino Canelón Grande. ConvenioDINAMA-Facultad de Ciencias (SEC. Limnología) Evaluación Ecológica de Cursos de Agua y biomonitorio. Montevideo, Uruguay. 36 p.
- Arredondo-Figueroa, J. L. (1986). Breve descripción de los criterios y las técnicas para el manejo y la calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva. México, Secretaría de Pesca. México. 182 p.
- Arredondo-Figueroa, J. L. (1987). Policultivo experimental de ciprínidos asiáticos en México. Tesis doctoral. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México.
- 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.
- Arredondo, F. J. L. (1993). Fertilización y fertilizantes: Su uso y manejo en la acuicultura. UAM Iztapalapa, México. 202 p.
- Arredondo-Figueroa, J. L., G. Díaz-Zabaleta y J. T. Ponce-Palafox. (2007). Limnología de presas mexicanas. Aspectos teóricos y prácticos. Primera edición. AGT Editor; S.A y UAM Iztapalapa. 923 p.



Santibáñez-Márquez, D.

- Athie, M. (1987). Calidad y cantidad del agua en México. Fundación Universo Veintiuno, México, D.F. 192 p.
- Avalos-García, C. (2000). Asociaciones de larvas de peces en el Golfo de California (otoño 1997-Verano 1998). Instituto Politécnico Nacional. México. Tesis de Maestría en Ciencias. 102 p.
- Azevedo, F. y C. Costa-Bonecker. (2003). Community size structure of zooplankton assemblages in three lakes on the upper River Parana floodplain, PR-MS, Brazil, *Hydrobiology*, 505, 147-158.
- Badillo, A. M., M. C. Galindo de Santiago., A. Gallardo-Torres., U. G. Lizama., y Arena-M. L. Ortiz. (2010). Manual de Practicas de ecología acuática, licenciatura en manejo sustentable de zonas costeras. Materia: ecología de poblaciones y comunidades. UNAM, México. 95 p.
- Bardach, J. E., J. H. Ryther y W. O. M. Clarney. (1986). Acuicultura, crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce. AGT editores, México, D.F. 741 p.
- Begon, M., J. L. Harper y C. R. Townsend. (1999). *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1069 p.
- Blancas, A.G.A., E. Constánzo-Casillas., A. Cervantes-Sandoval y J. L. Gómez-Márquez. (2011). Manual de análisis de aguas naturales y su aplicación a microescala. PAPIME PE200810. UNAM, México. 64 p.
- Boyd, C. E. (1979). Water quality in warmwater fish ponds. Auburn University Agricultural Experiment Station. Auburn Alabama. 32 p.
- Brower, J. E. y J. H. Zar. (1977). Field and a laboratory methods for general ecology. W.M.C Brown Company Publishers, Iowa, U.S.A., 194 p.
- Buck, H. D., R. J. Baur y R. C. Rose. (1978). Utilization of swin manure in a polyculture of common carp, *Cyprinus carpio* L., silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Val) and black buffalo, *Ictiobus niger* (Raf.). *Aquaculture*, 65, 119-125.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnological Research Center*, 22: 361-369
- Carlson, R. E. y J. Simpson (1996). A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monithoring Methods. North American Lake Management Society. 96 p.
- Cavalli, V., J. R. Cidral y Nilson R. (2005). Contagem de cianobactérias do gênero *Microcystis* e determinação de microcistinas pelo método de imunoensaio competitivo no controle de tratamento de água para abastecimento. In Blumenau. 10 p.



Santibáñez-Márquez, D.

- Cervantes, S. A. (1984). Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos. México. UNAM. 103 p.
- Chapman, L. J. y D. L. Kramer. (1991). Limnological observations of an intermittent tropical dry forest stream. *Hydrobiology* 226: 153-166.
- Cloudsley-Thompson, J.L. (1979). "El hombre y la biología de zonas áridas. Editorial Blume. Barcelona. 255 p.
- CONAPESCA, (2008). Anuario estadístico de acuicultura y pesca, 2008. SAGARPA. México. 194 p.
- Contreras, E. F. (1994). Manual de técnicas Hidrobiológicas Editorial Trillas: UNAM. 149 p.
- Cole, G. A. (1988). *Limnology Textbook*. Ed. Hemisferio Sur S. A., Montevideo. 386 p.
- De la Lanza, G. (1998). Aspectos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua. Pp. 1-26 En: Martínez C. L. R. (compilador). *Ecología de los sistemas acuáticos. Bases ecológicas para el desarrollo de la acuicultura*. AGT. México.
- 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. 633 p.
- De la Lanza, E. G. y J. L. C. García. (2002). *Lagos y Presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo, México. 1ª Edición. AGT editor. 680 p.
- De León, L. y Chalar, G. (2003). Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina – Uruguay). *Ciclo estacional y distribución espacial*. *Limnetica* 22(1-2): 103-113.
- Díaz, Z. G. (2007). Análisis de algunos estudios limnológicos realizados en cuerpos de agua mexicanos. Pp. 348-368. 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.
- Dillard, G. (1989). *Freshwater Algae of the Southeastern United States, part 1. Chlorophyceae: Volvocales, Tetrasporales and Chlorococcales*. J. Cramer. Berlin Stuttgart. 200 p.
- Espinosa, G. T. (2011). *Calidad del agua y fitoplancton se los sistemas "Los Planes" Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 122 p.
- Ettl, H. y G. Gärtner. (1988). *Chlorophyta II. Semper Bonis Artibus*. GebruderBorntraeger-Stuttgart. Germany 436 p.



Santibáñez-Márquez, D.

- 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, vol. 4 No. 1-2. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 135-141.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros No. 6. 5° Edición. Instituto de Geografía. México, 29 p.
- García-Calderón, J. L. y G. De la Lanza. (2002). Las aguas epicontinentales de México. En: Lagos y Presas de México. De la Lanza Espino, G. y J. L., García Calderón (eds). AGT editor S. A. 680 p.
- García-Rodríguez, J., F. I. Molina., H. Astudillo., H. Quiroz-Castelán y R. Trejo-Albarrán. (2003). Especies del fitoplancton presentes en el lago de Tonatiahua, Morelos, México. *Acta Universitaria*. Vol.13 No.2. 53-66.
- García-Rodríguez, y R. Tavera. (1998). Fitoplancton del lago de Zempoala. *Ficología*. México. 63: 85-100.
- Gayosso-Morales, M. A. (2010). Variación espacial y temporal del zooplancton (Énfasis; Cladóceras) en el embalse Manuel Ávila Camacho, periodo agosto del 2008 a febrero del 2009. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México D.F. 82 p.
- Gómez, A. S. y L. R. Martínez. (1998). El fitoplancton. En: Martínez, C. L. R. (Compilador). *Ecología de los sistemas acuícolas. Bases ecológicas para el desarrollo de la acuicultura*. AGT. México. Pp. 77-94.
- Gómez-Márquez, J. L., B. Peña-Mendoza., J. L. Guzmán-Santiago., y V. Gallardo-Pineda. (2013). Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica*, 23 (2): 227-240.
- Gómez-Márquez, J. L., B. Peña-Mendoza., R. A. Ramírez-Razo., M. P. Rosas-Hernández., J. L. Guzmán-Santiago., A. Ortiz-Rivera y A. Zavala-Montero. (2008). Composición y abundancia del zooplancton en el Lago Rodeo, Morelos, Febrero 2001 a Febrero 2002. Pp. 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-Acosta, A. F. (1998). *Ecología de la comunidad de peces asociada al manglar del estero El Conchalito, Ensenada de la Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz. 117 p.
- González de Infante, A. (1988). *El plancton de las aguas continentales*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Serie de Biología. Monografía 33. Washington DC, EEUU. 130 p.



Santibáñez-Márquez, D.

- González, E. J., M. Ortaz., C. Peñaherrera y Matos. M. L. (2004a). Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Caniche, Venezuela): Abundancia, biomasa y producción primaria. *Interciencia*. Vol. 29 (10). 548-555.
- González, E. J., M. Ortaz., C. Peñaherrera y A. Infante. (2004b). Physical and chemical features of a tropical hypertrophic reservoir permanently stratified. *Hydrobiologia* 522: 301-310.
- González, R. J. M. y A. G. López. (1997). Aspectos hidrobiológicos de la presa “Emiliano Zapata”, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM, México D.F. 81 p.
- González-Villela, R. y A. Banderas-Tabaray. (2002). Multivariate analysis of the primary production in a tropical high mountain lake in Mexico. *Journal of Freshwater Ecology*. 17 (1): 75-83.
- Granados-Ramírez, J. G. y C. Álvarez-Del Ángel. (2003). Rotíferos de embalses: subcuena del río Cuautla, Morelos-México. *Scientiae Naturae, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México*. 6(1): 33-44.
- Guerrero, M. (1991). La ciencia desde México. SEP y FCE, Vol. 2. México. 102 p.
- Harper, D. (1992). Eutrophication of freshwater. Principles, problems and restoration. Chapman and Hall, London, England. 327 p.
- Hasle, F. (1978). Counting phytoplankton. En: Armand I. y V. Barthaux. *Phytoplankton Manual Monographs in Oceanographic Methodology*. Sournia, A. (ed.). UNESCO, 6: 88-96.
- Hernández-Avilés, J. S. y J. L. García-Calderón. (2007). Diferencias limnológicas entre lagos y presas: Pp. 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., S. M. de C. Galindo y P.J. Loera (2007). Microembalses: una alternativa de la limnicultura. Pp. 597-620. En: De la Lanza., C. J. L. García (2007). *Las aguas interiores de México*. Editorial AGT Editor S.A México, D.F.
- Hernández-Avilés, J. S., S. M. de C. Galindo y Loera, P. J. (2002). Bordos o Microembalses. Pp. 291-308. En: De la Lanza, E. G. Y García, C. J. L. (Editores). *Lagos y presas de México*. AGT editor, México.
- Horn, M. H., K. L. M. Martin y M. A. Chotkowski. (1999). *Intertidal fishes: life in two worlds*. Academic Press, San Diego. 399 p.
- Horne, A. J. y C. R. Goldman. (1994). *Limnology*. 2da Edición. McGraw Hill. New York. 464 p.



Santibáñez-Márquez, D.

- INEGI, (2000) “Anuario estadístico del Estado de Morelos” Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. 135 p.
- INEGI, (2002). Conjunto de datos geográficos. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. 461 p.
- John, D. M., B. A. Whitton., A. J. Brook. (2002). The Freshwater Algal Flora of the British Isles. The Natural History Museum. Cambridge University Press. 696 p.
- Kalf, J. y Knoechel, R. (1978). Phytoplankton and their dynamics in oligotrophic and eutrophic lakes. *Annals of Rev. Ecological Systems*. 9, 475-495.
- Khan Asif, A. y Siddiqui Qayyum. (1971a). Primary production in a tropical fish ponds at Aligarh, India. *Hydrobiologia*, 37 (3-4) 447-456.
- Khan J amil, A. y Siddiqui Qayyum. (1971b). Water, Nitrogen and phosphorus in freshwater plankton. *Hydrobiologia* 37 : 531-536.
- Kimmel, B.L., O. Lind., y L. J. Paulson (1990). Reservoir primary production. Pp. 133-193. En: Thorton KW, Kimmel BL, Payne FE (Eds.) *Reservoir limnology: Ecological perspectives*. Wiley. New York, EEUU.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. (1986). *Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae*. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 874 p.
- 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.
- Lacroix, G. (1992). *Lagos y ríos. Medios vivos. Plural*. Barcelona, España. 255 p.
- Lewis, W. M. Jr. (1983). A revised classification of lakes based on mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 140: 1779-1787.
- Lima-Mendoza, A. J. (2007). Evaluación Bacteriológica de la calidad del agua del Rio Lerma, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México D.F. 76 p.
- López-López, E. y J. A. Serna-Hernández. (1999). Variación estacional del zooplancton del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, *Revista Biología Tropical*. 47 (4): 643-657.
- Magallón-Barajas, S., Paulo-Maya J. y Díaz-Pardo E. (1992). Avances en el conocimiento de la presa “Los Carros”, Morelos, un embalse de reciente formación. *Universidad: Ciencia y Tecnología, México, Vol2. No.2:121-129*.



Santibáñez-Márquez, D.

- Margalef, R. (1983) "Limnología" Primera edición. Editorial Omega. Barcelona España. 1024 p.
- Magurran, A. (1988). Diversidad ecológica y su medición. Ed. Vedral, Barcelona. 200 p.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la Biodiversidad, Manuales y Tesis SEA, vol. 1., Zaragoza. 84 p.
- Moreno, J. L. (2003). Fitoplancton. Pp. 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.
- Navarrete-Salgado, N. A., G. Elías-Fernández., G. Contreras-Rivero y M. Rojas-Bustamante. (2000). Policultivo y tilapia en bordos rurales del Estado de México. Hidrobiológica, Vol.10, No. 1:35-40.
- Naselli-Flores, L. (2000). Phytoplankton assemblages in twenty-one Sicilian reservoirs: relationships between species composition and environmental factors. Hydrobiologia 424: 1-11.
- Naselli-Flores, L. y R. Barone. (2000). Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis in natural and man-made water bodies of different trophic state. Hydrobiology 438: 65-74.
- Needham, J. G. y P. R. Needham. (1972). Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. Editorial Reverté S.A. 131 p.
- Novotny, V. y H. Olem (1994). "Water quality prevention identification and management of diffuse pollution". Editorial Van Nostrand Reinhold. Nueva York. 849 p.
- Oliva-Martínez, M. G., A. Rodríguez-Rocha., A. Lugo-Vázquez y M. R. Sánchez-Rodríguez. (2008). Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. Hidrobiológica. Vol: 18. No.1. 1-13.
- Open Courseware, Universidad de Murcia, (2008), disponible en línea en: <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/p4-productividad.pdf> (consultado el 18 de Agosto del 2012).
- Open Courseware, Universidad de Murcia, (2008), disponible en línea en <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/p4-clorofila.pdf> (consultado el 18 de Agosto del 2012).
- Ortega, M. M. (1984). Catálogo de algas continentales recientes en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Coordinación de la investigación científica. Instituto de Biología México. 561 p.



Santibáñez-Márquez, D.

- Ortega, M. M., J. L. Godínez., G. Garduño y M. G. Oliva. (1994). Ficología de México: Algas continentales. Primera Edición. Editorial AGT Editor S.A. México. D.F. 221 p.
- Ortiz-Rivera, A. (2006). Estudio de los sistemas acuáticos (lénticos) del Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México. 152 p.
- Pacheco-Meneses, A., M. Galván-García, M. del P. Leal Hernández, J. Lugo Quintar, J. Gallina Álvarez y R. Romero Ramos. (1982). Técnicas de análisis Físicoquímicos para Aguas, 5° Edición, Dirección General de usos del agua y prevención de la contaminación. SARH México 319 p.
- Paerl, H.W. (1988) Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters. *Limnol. Oceanogr.* 33: 823-847.
- Parsons, R.T., Stephens, K. y Takahashi, M. (1972). The fertilization of great central lake. I. Effects of primary production. *Fishery Bulletin*, 70(2):13-23.
- Peña-Messina, E., J. T. Ponce-Palafox y J. L. Arredondo-Figueroa. (2007). Producción acuática en embalses de Aguamilpa, Nayarit. 484-494. En: Arredondo F. J. L., G. Díaz Z., J.T. Ponce P. (compiladores). *Limnología de presas mexicanas*. Primera edición. Editorial AGT Editor S.A. México, D.F.
- Pérez, D. S., A. L. Soraci y M. O. Tapia. (2008). Cianobacterias y cianotoxinas: rol de las microcistinas en la salud humana y animal y su detección en muestras de agua. *Analecta Veterinaria* 28: 48-56.
- Pielou, E. C. (1979_a). *Biogeography*. Wiley-Interscience, New York. 351 p.
- Pielou, E. C. (1979_b). *Ecological diversity*. Ed. John Wiley & Sons. Inc., 165 p.
- Pizzolon, L. (1996) Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales. *Interciencia* 21: 239-245.
- Ponce-Palafox, J. T y J. L. Arredondo-Figueroa. (1986). Aporte al conocimiento Limnológico en un embalse temporal por medio a la aplicación de modelos multivariados. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, México, 13(2): 47-66.
- Porras, D. D. (1984). Morfometría de embalses. *Cuenca Oriental*. Morelos. UAEM. 3-15.
- Porras, D. D. (1986). Hidrobiología de embalses de la cuenca del río Atoyac, Morelos, México. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. 180 p.
- Quiroz-Castelán, H., I. Molina-Astudillo., J. García-Rodríguez y M. Díaz-Vargas. (2005). Caracterización de algunos parámetros físicos, químicos del agua y sedimento del lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria*, Vol 15. No. 2: 57-65.



Santibáñez-Márquez, D.

- Quiroz-Castelán, H., J. García-Rodríguez., F. I. Molina-Astudillo., M. Díaz-Vargas y P. Trujillo-Jiménez (2010). Condiciones abióticas de la presa “El Abrevadero”, utilizada para cultivo extensivo de *Oreochromis niloticus* en Morelos, México. Revista Electrónica Veterinaria, 11(7): 1-20.
- Quiroz-Castelán, H., J. Luna-Figueroa. y P. Delgado-Salgado. (1992). Aspectos sobre la composición y abundancia del fitoplancton y sobre la productividad primaria en estanques fertilizados con estiércol y fertilizante mineral. Universidad: Ciencia y Tecnología. Vol 2. Num. 2. 103-112.
- Quiroz-Castelán, H., M. Díaz-Vargas., R. Trejo-Albarrán y E. E. Elizalde-Arriaga. (2000). Aspectos sobre la abundancia y distribución de los principales grupos de la fauna bentónica en el lago Zempoala, Morelos, México. Ciencia y Mar, Universidad del Mar. Vol. 10: 39-50.
- Quiroz-Castelán, H., J. C. Martínez., R. J. García., A. F. I. Molina y Díaz V. M. (2009). Análisis de los componentes zoobentónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva en Norte del Estado de Guerrero, México.: Laboratorio de Hidrobiología del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 25 p.
- Quiroz-Castelán, H., Z. M. L. Mora., A. I. Molina y R. J. García. (2004). Variación de los organismos fitoplanctónicos y la calidad del agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México. Acta Universitaria, 14(1): 47-57.
- Quiroz-Castelán, H., I. Molina-Astudillo., J. García-Rodríguez y M. Díaz-Vargas. (2005). Caracterización de algunos parámetros físicos químicos del agua y sedimento del lago Zempoala, Morelos, México. Acta Universitaria, Universidad de Guanajuato, Vol. 15. No. 2: 57-65.
- Quiroz-Castelán, H., I. Molina-Astudillo., J. García-Rodríguez y M. Díaz-Vargas (2007). Los lagos de Zempoala y Tonatiahua del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos: Pp. 143-167. En: De la Lanza E. y S. Hernández P. (Compiladores). Las aguas interiores de México: Conceptos y Casos. 1ª Edición, Editorial AGT Editor S.A. México D.F.
- Quiroz-Castelán, H., O. Mondragón-Eslaval, I. Molina-Astudillo, J. García- Rodríguez y M. Díaz-Vargas. (2008) Dinámica espacio-temporal de oxígeno-temperatura en los lagos de Zempoala y Tonatiahua. Acta Universitaria, Universidad de Guanajuato, México. Vol. 18 No. 001: 57-65.
- Quiroz-Castelán, H., I. Molina-Astudillo., A. A. Ortega-Salas (1999). Abundancia y diversidad del fitoplancton en estanques con policultivo de peces, utilizando fertilizantes orgánicos, inorgánicos y combinados. Ciencia y mar. UNAM. México.3-14.
- 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. México. Distrito Federal. 174 p.



Santibáñez-Márquez, D.

- Reynolds, C. S. (1984) The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. Cambridge, RU. 384 p.
- Reynolds, C. S. (2006). The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. 384 p.
- Reynolds, C. S., V. Huszar., C. Kruk., L. Naselli-Flores y Melo S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. Journal of Plankton Research 24: 417-428.
- Rivera, C. O. A. y G. N. G. Hernández. (2011). Producción y calidad del agua de los reservorios “Amate amarillo” y “La Palapa”, Morelos. Informe de investigación de LIB’S V y VI como alternativa para obtener el título de Biólogo. FES Zaragoza, UNAM, México, D.F. 118 p.
- Rodríguez-Serna, M. y C. Carmona-Osalde. (2002). Balance energético del acocil *Cambarellus montesume* (Saussure) (Crustacea: Astaciadae: Canbaridae) y pérdida de energía en la tasa metabólica. Universidad y Ciencia 18(36):128-134.
- Roldán, G. E. y J. J. Ramírez (2008). Fundamentos de limnología neotropical. 2ª ed. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín. 206 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. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 238 p.
- Salgado, U. I. H. (1992). El análisis exploratorio de datos biológicos, fundamentos y aplicaciones. Primera edición. MARC Ediciones. México, D.F. 243 p.
- Sánchez, M. J. M. y S. D. A. Zamora. (2012). Producción y Calidad del agua del bordo Huitchila, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, FES Zaragoza. 101p.
- Schwoergel, J. (1975). “Métodos hidrobiología (biología del agua dulce)”. Editorial H. Blume Ediciones Madrid, España. 262 p.
- Seenayya, G. (1972). Ecological Studies in the plankton of certain Freshwater ponds of Hyderabad-India II. Phytoplankton -2. Hydrobiologia, 39 (2): 247-271.
- Singh, K., A. Malik y S. Sinha. (2005). Water quality assesment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques-a case study. Analytica Chemical Acta, Vol. 538. 355-374.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. (1981). Biometry. W.H. Freeman Inc., San Francisco, California. 359 p.



Santibáñez-Márquez, D.

- Sugunan, V. V (1997). Fisheries management of small water bodies in seven countries in Africa, Asia and Latin America, FAO Fisheries Circular. No. 933. 149 p.
- Tamayo, L. J. (1998). Geografía Moderna de México. Editorial Trillas. 512 p.
- Thornton, K.W. (1990). "Perspectives on reservoir limnology". Pp. 1-13. En: Thornton, K.W., Kimmel, B.L. and Payne, F.E. (Compiladores). "Reservoir limnology: Ecological perspectives. Editorial Wiley Interscience. New York.
- Thurston, R. V., R. C. Russo., C. M. Felterolf Jr., T. A. Edsall y Jr. Y. M. Barber (Eds). (1979). A review of the EPA Red Book: Quality criteria for water. Water Quality Section, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 313 p.
- Tilman, D. (1977). Resource Competition Between Planktonic Algae: An Experiment and Theoretical Approach. Ecology. 58: 338-348.
- Tilman, D. y S. S. Kilham. (1976). Phosphate and Silicate Growth and Uptake Kinetics of the Diatoms *Asterionella formosa* and *Cyclotella meneghiniana* in Batch and SemiContinuous culture. Phycologia. 12:375-383.
- Umaña, G. y C. Colorado. (1990). Asociación planctónica en el Embalse Arenal, Costa Rica. Rev. Biología Tropical., 38 (2a): 311-321.
- Urbina-Torres, F. y J. A. Robles-Dávila. (1992). Los zambullidores y garzas de Morelos, México. Universidad: Ciencia y Tecnología, México. Vol.2, No: 2: 71-86.
- Vagaggini, D., G. Ulisse., M. Seminara, y F. G. Margaritora. (2002) Zooplankton Communities in Two Astatic Basins in the Natural Reserve of Castelporziano (Central Italy): Composition and Temporal Succession. University of Rome, Dept. of animal and Human Biology. Journal of Freshwater Ecology. Vol: 17.No.1. 27-36.
- Vicente, E., C. de Hoyos, P. Sánchez y Cambra. (2005). Metodología para el establecimiento el estado ecológico según la directiva MARCO del agua; Protocolos de muestreo y análisis para Fitoplancton. Ministerio del medio ambiente, Confederación Hidrográfica del Ebro.URS. 23 p.
- Wallace, R. L., W. T. Snell y T. Nogrady. (2006). Rotifera Biology, Ecology and Systematics. SPB. Academic Publishing. 270 p.
- Watson, S.B., McCauley E. y Downing J.A. (1997). Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of different nutrient status. Limnol. Oceanogr. 42: 487-495.
- Wetzel, G. R. (1981) "Limnología" Primera edición, Editorial Ediciones Omega. Barcelona España. 679 p.
- Wetzel, R. G. (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems. 3er Edition. Academic Press, San Diego, E.U. 1006 p.

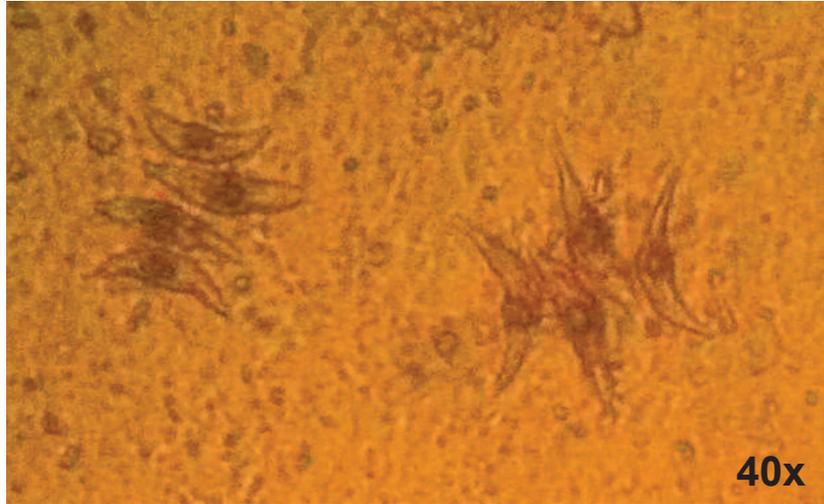


Santibáñez-Márquez, D.

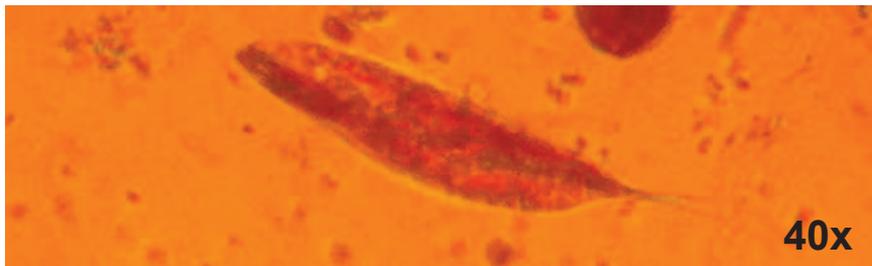
- Wetzel, R. G. y G. R. Likens. (2000). *Limnological Analyses*. Springer Verlag, Nueva York. 429 p.
- Zeng, X. y T. Rasmussen. (2005). Multivariate Statistical Characterization of Water Quality in Lake Lanier, Georgia, USA. *Journal of Environmental Quality*: 34:1980-1991.



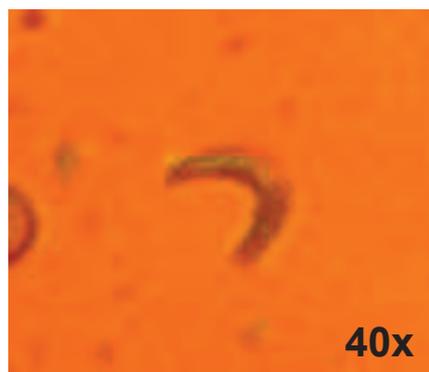
Anexo 1



Scenedesmus dimorphus



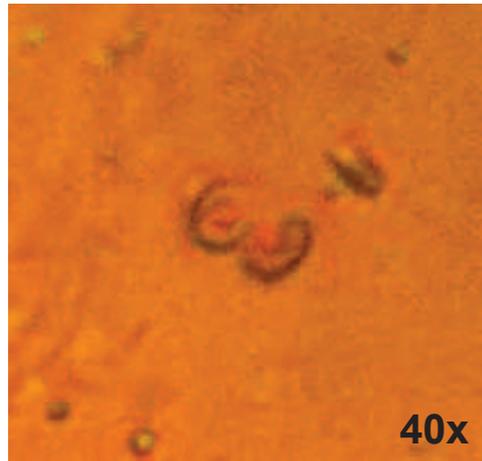
Euglena acus



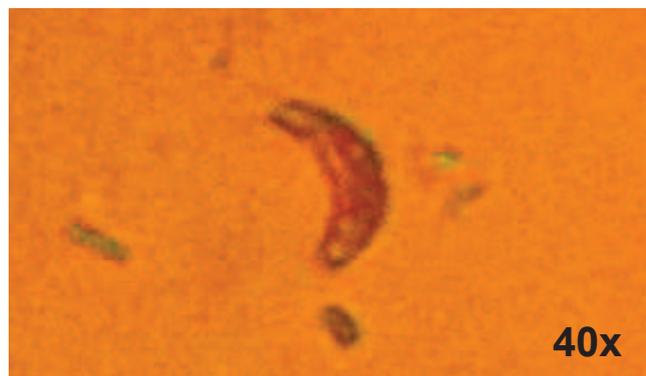
Selenastrum gracile



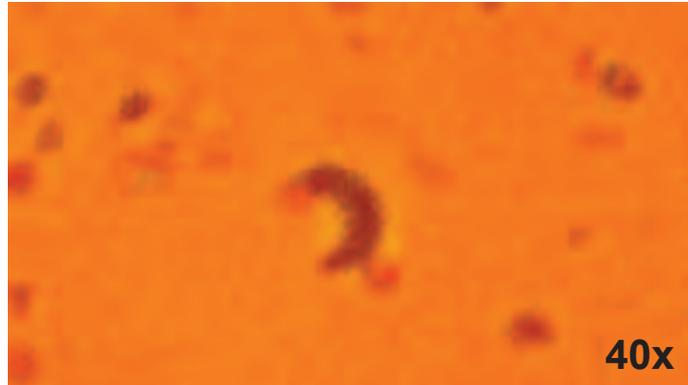
Navicula sp.



Kirchneriella obesa



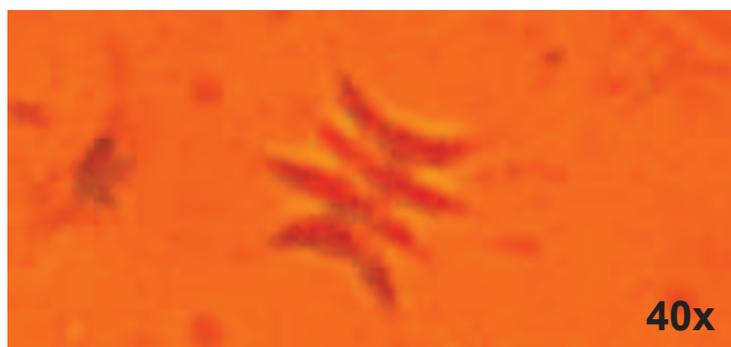
Selenastrum capricornutum



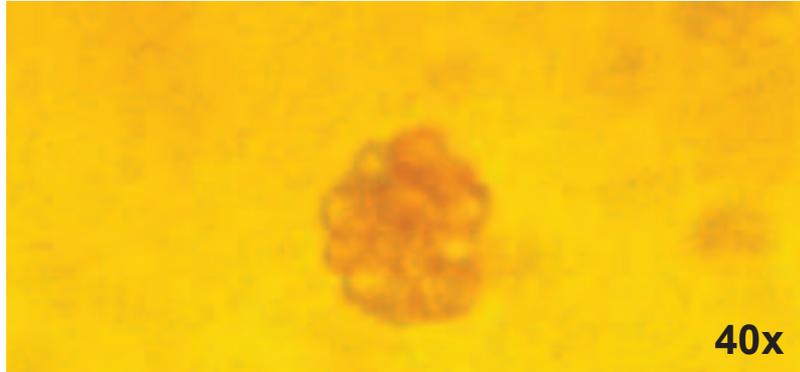
Kirchneriella lunaris



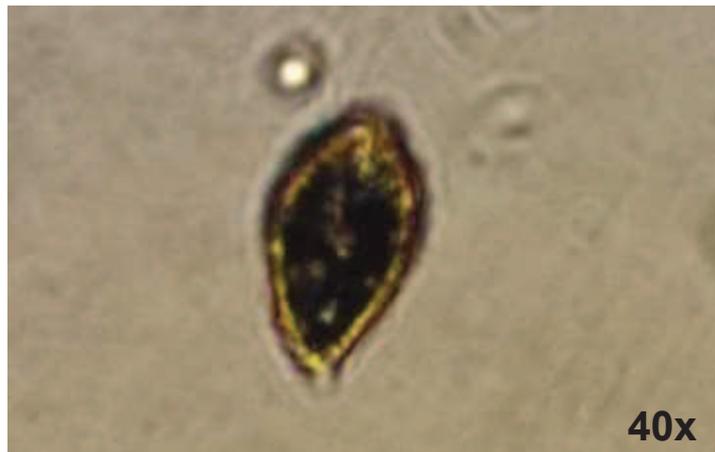
Merismopedia glauca



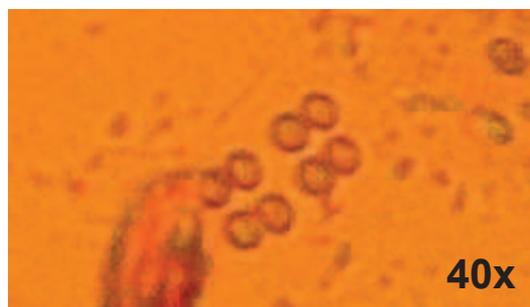
Scenedesmus falcatus



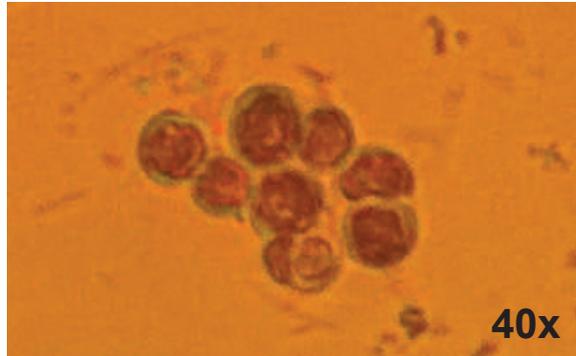
Coelastrum microporum



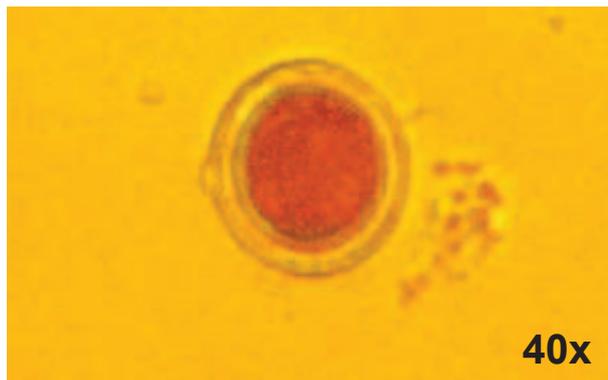
Phacus sp.



Chroococcus dispersus



Chlorella vulgaris



Chlorococcum sp