



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**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 QUE PARA OBTENER EL
TITULO DE BIOLOGO**

PRESENTAN:

Rivera Cervantes Omar Alejandro
Hernández González Gerardo Noe

DIRECTOR: Dr. José Luis Gómez Márquez

México, D. F.

Septiembre, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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	5
INTRODUCCIÓN	6
MARCO TEÓRICO	7
ANTECEDENTES	11
ÁREA DE ESTUDIO	18
OBJETIVOS	20
MATERIALES Y MÉTODOS	20
FASE DE CAMPO	20
FASE DE LABORATORIO	21
Determinación de la Biomasa	22
FASE DE GABINETE	22
Grado de Eutrofización	22
Determinación de la calidad biológica	24
Análisis estadístico	25
RESULTADOS	26
NOMOGRAMA DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA	26
MORFOMETRÍA Y BATIMETRÍA DEL SISTEMA AMATE AMARILLO	27
PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIÓTICOS DEL “AMATE AMARILLO”	30
Oxígeno y temperatura del agua	31
Alcalinidad total, dureza total y pH	32
Fósforo total, ortofosfatos y sulfatos	33
Nitratos, nitritos y amonio	34
Abundancia de fitoplancton y concentración de clorofila “a”	35
Silicatos y abundancia de bacillariophytas	37
Listado ficológico Amate amarillo	38



Variación de los principales géneros fitoplanctónicos según su división a lo largo del tiempo	40
Test de asociación de Olmstead y Tukey de los géneros fitoplanctónicos en el sistema Amate amarillo a lo largo del estudio	42
Índice del estado trófico para el Amate amarillo	44
Caracterización del sistema Amate amarillo	46
MORFOMETRÍA Y BATIMETRÍA DE EL SISTEMA LA PALAPA	50
PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIÓTICOS DE “LA PALAPA”	54
Oxígeno y temperatura del agua	55
Alcalinidad total, dureza total y pH	56
Fósforo total, ortofosfatos y sulfatos	57
Nitratos, nitritos y amonio	58
Abundancia de fitoplancton y concentración de clorofila “a”	59
Silicatos y abundancia de bacillariophytas	61
Listado ficológico la Palapa	62
Variación de los principales géneros fitoplanctónicos según su división a lo largo del tiempo	64
Test de asociación de Olmstead y Tukey de los géneros fitoplanctónicos en el sistema la Palapa lo largo del estudio	66
Principales géneros de organismos fitoplanctónicos que se presentaron constantemente en los sistemas: Amate amarillo y la Palapa	68
Índice del estado trófico para la Palapa	69
Perfiles de la Palapa	71
CALIDAD BIOLÓGICA	72
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	73
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	73
CORRELACIÓN DE PEARSON	81
COMPARACIÓN DE LOS ELEMENTOS MAS IMPORTANTE (NITRATOS, ORTOFOSFATOS, NUMERO DE ORGANISMOS FITOPLANCTÓNICOS, CLOROFILA “A”, ALCALINIDAD TOTAL Y DUREZA TOTAL) ENTRE LA PALAPA Y AMATE AMARILLO	83



DISCUSIÓN	87
CONCLUSIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	106



RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el municipio de Ayala, en el Estado de Morelos, con el objetivo de evaluar la producción primaria y la calidad del agua que se usa para el riego agrícola, así como para la acuicultura (producción de *Oreochromis niloticus* y *Cherax quadricarinatus*). Se trabajaron dos microreservorios de agua, llamados Amate amarillo y la Palapa, los cuales se llenan a su máxima capacidad en la época de lluvias tanto por el aporte pluvial, así como el incremento del cauce de los canales de suministro de agua que llegan a estos embalses. La batimetría y morfometría de estos dos sistemas proporcionaron información necesaria para establecer que el componente edáfico y los sedimentos tienen una estrecha relación con la columna de agua. Se realizaron muestreos mensuales en cada uno de los sistemas, en los que se efectuaron las determinaciones analíticas de oxígeno disuelto, amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), dureza total, clorofila a, fósforo total y fósforo reactivo disuelto (ortofosfatos) inorgánico y determinación del fitoplancton a nivel de género para determinar las condiciones eutróficas de los sistemas. Los datos fueron procesados por estadígrafos simples, con pruebas paramétricas y no paramétricas y análisis multivariado (por componentes principales), para determinar que variables afectaban a los sistemas así como reducir el número de las mismas. Se registraron valores altos para cada uno de estos indicadores, que reflejan una alta eutrofización del agua, calificándolas como aguas duras para los dos sistemas, altamente productivos, con una elevada densidad de clorofitas, cianofitas y en menor proporción euglenofitas y bacilariofitas. Solo las concentraciones de ortofosfatos y durezas no cumplen con las normas de calidad del agua. Se esperaba que los sistemas mantuvieran un patrón de disolución y concentración que influenciara el estado trófico, manteniendo valores altos de eutrofización en la época de concentración, cosa que no sucedió ya que en la época de dilución el estado eutrófico de los microembalses tiende a incrementar debido al alto contenido de nutrientes procedentes de las escorrentías de los campos agrícolas.



INTRODUCCIÓN

México enfrenta un problema severo de escasez de agua dulce en muchas de sus regiones y aunado a esto es un país que cuenta con pocos cuerpos de agua lénticos naturales y el problema lo está tratando de resolver desde hace mucho tiempo, mediante la construcción de embalses artificiales como presas, bordos, etc. En la República Mexicana, el 67.13% de los cuerpos hídricos lénticos lo ocupan los bordos o microembalses, cubriendo 188 781 ha., que representan el 14.74% de la superficie inundada de aguas epicontinentales (Tinoco y Atanasio, 1988 citados en Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992). Estos embalses satisfacen parcialmente las necesidades de agua para la agricultura campesina primordialmente de temporal, la cual ocupa entre 60 y 70% de la superficie agrícola, de tal modo que el éxito de los cultivos asociados con los pequeños reservorios depende de las variaciones en el tiempo atmosférico. La mayoría de estos embalses tienen una superficie entre una y diez hectáreas y se localizan principalmente en los estados de Jalisco y Guanajuato (Tinoco y Atanasio, 1988 citados en Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992). Aproximadamente el 90% son sistemas temporales (Arredondo-Figueroa y García-Calderón, 1982; Sugunan, 1997) con dimensiones menores a dos hectáreas.

Desafortunadamente estos ecosistemas están sujetos cada vez más a mayores presiones como consecuencia de las actividades humanas, ya que la sobrepoblación en las comunidades que se sirven de estos cuerpos de agua, genera un impacto negativo al realizar una explotación pesquera excesiva, la contaminación por agroquímicos, etc. Por lo tanto, es indispensable efectuar estudios enfocados a conocer las condiciones físicas y químicas que caracterizan a estos ambientes durante ciclos anuales, a fin de contribuir a su conocimiento ecológico y productivo y así, poder establecer la relación entre las variables físicas, químicas y biológicas que afectan directamente la producción primaria y el estado trófico de los sistemas (Barrera-Escorcia y Wong-Chang, 2007). La evaluación de las propiedades limnéticas de estos microembalses cobra relevancia cuando se quiere evitar su azolvamiento acelerado y mejorar la calidad del agua, que además de ser utilizado para el riego, es un recurso destinado al uso doméstico por algunos pobladores locales, especialmente en aquellas regiones donde, por condiciones climáticas y de relieve, no es posible tener gran disponibilidad de agua durante el periodo de sequía, problema común en grandes extensiones de México. Sin embargo, la importancia de evaluar esos microembalses, no se debe limitar a una perspectiva agrícola y de salud. Desde el punto de vista de conservación biológica, dichos microembalses a pesar de no ser de origen natural, son receptores de una gran cantidad de animales endémicos del país (López-Blanco y Zambrano-González, 2001).



En estudios realizados en los últimos años, se ha demostrado que los sistemas dulceacuícolas pequeños del tipo de los microembalses, bordos o pozas tienen una gran importancia ecológica y alta potencialidad de generación de recursos, tal es el caso del cultivo y producción de peces como la carpa y la tilapia en el Estado de México (peces alóctonos), que han alcanzado producciones de 3,311 toneladas y 400 toneladas respectivamente. Esa importancia es particularmente notable en aquellas zonas en que, debido a las condiciones del relieve, no es posible que se presente de manera natural, la acumulación o embalses de agua a partir de la lluvia y de los escurrimientos (Hernández-Avilés y col., 1995, 2002, 2007; Navarrete y col, 2000). En el caso del Estado de Morelos la producción de tilapia ha alcanzado las 580 toneladas (CONAPESCA 2008).

MARCO TEÓRICO

Margalef (1983) menciona que los cuerpos de agua continentales se dividen en dos grandes grupos: lóticos (ríos, arroyos, etc.) y lénticos (lagos, embalses, bordos, etc.); dentro de éstos últimos se encuentran los bordos permanentes y temporales, también llamados jagüeyes o microembalses, los cuales son reservorios artificiales de agua, con una cortina rústica construida de tierra o mampostería que generalmente están constituidos por aguas turbias debido a 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. Se clasifican como embalses permanentes porque conservan un volumen remanente de agua constante en el año. El tiempo de permanencia del agua en estos jagüeyes depende directamente de tres factores principales: precipitación, evaporación y el escurrimiento superficial, así como de otros procesos secundarios como flujo de agua subterránea, pérdidas por filtración y captura de agua por la vegetación aledaña a los jagüeyes (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Sugunan, 1997; Hernández-Avilés y col., 2007). Los microembalses cuentan con características limnéticas similares a las de los lagos naturales someros; la profundidad no es mayor a 2.5 m y prácticamente no tienen estratificación de la temperatura o de los nutrientes, por lo que no hay barreras físicas, esta similitud entre las condiciones de estos sistemas y los cuerpos de agua naturales ocasiona que los organismos que viven en los segundos encuentren un sitio de dispersión y de refugio en los microembalses (López-Blanco y Zambrano-González, 2001). Estos pueden ocuparse como abrevaderos de animales, riego agrícola, en el caso de los permanentes para el



criadero y producción de peces así como para actividades recreativas (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992).

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

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

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



a su vez a los diferentes organismos presentes en estos (Quiroz-Castelán y col, 2005).

Palua-Ibars (2003) menciona que la eutrofización en estos embalses es una alteración prácticamente inherente a su construcción y a su explotación especialmente en zonas semiáridas, bien soleadas, con un régimen hidrológico marcadamente estacional y redes hidrográficas densamente ocupadas por la población. La mayor susceptibilidad de los embalses a la eutrofia, con relación a los lagos, se explica por la carga de materia orgánica que los primeros deben procesar de golpe en su inicio y por la alta relación entre las superficies de la cuenca y de la lámina de agua, que favorece el mantenimiento de mayores aportaciones relativas de nutrientes por unidad de superficie. Fraile y col., (1995) mencionan que la eutrofización es el principal problema que se plantea en las aguas represadas, siendo el fósforo el nutriente clave para su control.

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 o en suspensión, bacterias, arcillas, materia orgánica, etc. La otra es a través de los contaminantes generados por el hombre producto de los desechos líquidos y sólidos que se vierten directa o indirectamente en el agua, por ejemplo: las sustancias de rellenos sanitarios, sustancias provenientes de desechos industriales, sustancias empleadas en el combate de plagas agrícolas y/o vectores de enfermedades (Lima-Mendoza, 2007). En el caso de la eutrofización, esta es percibida desde hace años como una alteración preocupante de la calidad de las aguas continentales y de amplia distribución en los ecosistemas acuáticos. En algunos lugares la eutrofización no es vivida como una perturbación de los ecosistemas acuáticos sino como una forma de cultivo acuático, fuente de alimento que hay que potenciar (Palua-Ibars, 2003).

Por otro lado, la naturaleza de las características físicas, químicas y biológicas de los recursos acuáticos, está directamente relacionada con el uso que le dará el ser humano (Mazari-Hiriart, 2003). Para evaluar los cambios en las condiciones del agua, se pueden emplear parámetros físicos, químicos y biológicos, que proporcionan ciertas características al agua; a estos se les denomina “indicadores de la calidad del agua” (Seóñez-Calvo, 1999).



Sin embargo, uno de los factores que afectan considerablemente la producción primaria así como la calidad del agua de estos embalses, es la limitación de la penetración de la luz por la turbidez en ambientes ricos en nutrientes, que es uno de los factores que más se cita como un mecanismo regulador de la producción primaria. 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 lo tanto, la profundidad de la zona fótica en la columna de agua. La producción primaria es muy importante porque es la base de todo el ciclo metabólico de biogénesis en las aguas; todo lo demás es consumo y destrucción. 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, los peces. Hay que tener en cuenta, siempre que se trate de consumidores, que no hay una verdadera producción, sino solo una reconstrucción de la materia orgánica ya presente (Peña-Messina y col., 2007; Barrera-Escorcía y Wong-Chang, 2007).

Morelos es uno de los estados que se caracteriza por tener, cuerpos de agua considerables. La totalidad de estos cuerpos de agua pertenecen a la cuenca del Balsas. Cuenta con siete ríos que recorren gran parte del estado, seis lagos que poseen características distintas, 124 cuerpos de agua entre presas y jagüeyes, así como un estimado de 50 manantiales. La distribución de los cuerpos de agua naturales se ve afectada por las características topográficas del Estado. Gracias a lo anteriormente dicho el Estado se divide en una zona norte por arriba de los 1000 metros sobre el nivel del mar, que posee un ambiente típico de zonas montañosas templadas, donde predominan arroyos, lagos y manantiales de aguas frías y cristalinas, mientras que hacia el sur dominan biotopos característicos de climas subtropicales en los que la temperatura del agua oscila entre los 22 °C y 30 °C y disminuye considerablemente la transparencia (Porrás y col, 1991; Contreras-MacBeath, 1995). Los principales cuerpos de agua del Estado se encuentran localizados en la región sur y oriente; sin embargo en la región noroeste del Estado se encuentran una serie de lagos cuya importancia radica en el uso de sus aguas para el consumo humano, su aprovechamiento como áreas turísticas y su utilización como zonas de recargas de acuíferos (Quiroz-Castelán y col, 2007).

Por otra parte, Morelos cuenta con cuerpos de agua de gran importancia económica, ecológica y cultural, Dentro de los que destacan tres cuerpos de agua natural de más de 100 ha: el lago El Rodeo, el lago Tequesquitengo y el lago Coatetelco. Pero muchos de los cuerpos de agua que se encuentran en el Estado de Morelos presentan problemas de contaminación por la incorporación de aguas



de desecho municipal que son vertidas de manera directa e indirecta a los cuerpos de agua, afectando así la composición de los ensambles ecológicos (Contreras-MacBeath, 1995; Gómez-Márquez y col., 2007a).

A pesar de la gran cantidad de cuerpos acuáticos en Morelos, la información que se tiene sobre las características del tipo de agua que albergan los bordos es mínima, por lo cual para tener un conocimiento más amplio de éstos, se requiere realizar estudios hidrobiológicos para así darles un mejor manejo y aprovechamiento de este recurso acuático, en beneficio de la población que habita a su alrededor.

ANTECEDENTES

Se realizó una búsqueda de información referente a las características de los sistemas acuáticos del estado de Morelos sobre aspectos limnológicos y biológicos de la mayoría de los embalses. A continuación se mencionan algunos trabajos revisados.

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

Porras y col. (1991) presentaron un inventario sobre el recurso acuático del Estado de Morelos, en éste se reconocieron 124 cuerpos de agua en donde 68.5% corresponden a embalses con superficies que van de 1 a 10 ha, éstos son utilizados para irrigar zonas de cultivo, como abrevaderos para ganado y actividades piscícolas. Reportan una biota de 63 géneros de algas fitoplanctónicas siendo predominantes las clorofitas; una fauna de invertebrados acuáticos de 35 géneros y 27 especies de los cuales destacan los rotíferos, crustáceos e insectos; además de un registro ictiofaunístico de 12 especies con 8 autóctonas y 4 introducidas.

Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) llevaron a cabo una investigación en los bordos semipermanentes Chavarría y Michapa, localizados en un municipio del



estado de Morelos, entre mayo de 1983 y enero de 1987, donde trabajaron en tres fases. Fase I monocultivo de *Oreochromis urolepis hornorum* (mojarra), fase II policultivo *Oreochromis urolepis hornorum* (machos), *Cyprinus carpio rubrofuscus* (carpa barrigona), *Hypophthalmichthys molitrix* (carpa plateada), *Aristichthys nobilis* (carpa cabezona), con densidades de carga de 0.4 org/m y fase III O. u. hornorum y C. c. *rubrofuscus* con densidades de carga de 6 org/m. Realizaron un análisis factorial donde las variables que se relacionan con el factor edáfico y la temperatura resultaron ser las más importantes para la determinación del comportamiento del bordo de Chavarría y los de auto regulación del sistema de carbono en el bordo de Michapa. El rendimiento fue de 102 y 304 kg/ha/año para Michapa y Chavarría respectivamente.

Magallón-Barajas y col. (1992) hicieron un estudio limnológico que duró 7 meses en la presa Los Carros en el estado de Morelos, donde registraron diferentes variables físico químicas y morfométricas, 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, esto permitió suponer que debido a su reciente inundación el embalse se encontraba en un proceso de estabilización.

Urbina-Torres y Robles-Dávila (1992) realizaron un listado de las especies de aves acuáticas que pertenecen a las familias de zambullidores, pelícanos y garzas que se han registrado para el estado de Morelos. La información generada contiene una monografía para cada especie (nombre común y científico, además de la descripción taxonómica, la dieta, el hábitat y su estatus).

Contreras-MacBeath (1995) realizó un estudio sobre la ictiofauna del Estado de Morelos. Menciona que éste cuenta con seis lagos, 124 embalses entre presas y bordos, así como alrededor de 50 manantiales. Referente a la ictiofauna reporta un total de ocho familias y 21 especies de las cuales 14 son introducidas, 5 son endémicas y solo dos son nativas del Estado. En cuanto a los lagos menciona por su importancia el de Tequesquitengo, entre las presas por su gran volumen Los Carros y Cayehuacán y el manantial más importante el de Las Estacas. También menciona una compleja problemática que presentan los ecosistemas acuáticos del Estado por la falta de conocimiento de ellos.

Quiroz-Castelán y col. (2000), analizaron la composición del zoobentos tomándolo como referencia de indicador del nivel trófico y del grado de contaminación en el lago "Zempoala", ya que este 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.

Dorantes y Zavala (2003) llevaron a cabo un estudio sobre la calidad de agua de tres cuerpos acuáticos, presa Emiliano Zapata, lago El Rodeo y lago Coatetelco, en el Estado de Morelos. De acuerdo al análisis espacio-tiempo-temperatura, la presa Emiliano Zapata y el lago El Rodeo los clasificaron como sistemas monomícticos cálidos y el lago Coatetelco como sistema cálido polimíctico discontinuo. También reportan que el lago el Rodeo se considera poco productivo por presentar valores de alcalinidad de 11.6 mg/L en promedio, con aguas moderadamente duras, baja conductividad ligeramente alcalino en época de secas y neutro en época de lluvias. En el caso de la presa Emiliano Zapata y el lago Coatetelco los reportaron como sistemas productivos. La concentración de nutrientes en los tres sistemas se situaron dentro de los intervalos reportados para aguas continentales por las Normas Oficiales Mexicanas. Respecto al fitoplancton en la presa Emiliano Zapata y el lago de Coatetelco se determinó un total de 26 especies y en el lago El Rodeo se identificaron 30 especies. En el caso del zooplancton mencionaron a los copépodos como el grupo con mayor abundancia para los tres sistemas acuáticos.

Granados-Ramírez y Suárez-Morales (2003) realizaron un estudio para determinar la composición, diversidad y distribución del zooplancton (Copepoda, Calonoida, Diaptomidae) en 23 localidades del Estado Morelos, encontraron una nueva especie del género de copépodos planctónicos de agua dulce *Hesperodiaptomus moreliensis nova sp.* Mencionan que esta especie está relacionada con *H. kiseri*, así como también que esta nueva especie parece estar restringida a zonas de gran altitud en México, siendo poco probable que se encuentre en el sur del continente americano.

Granados-Ramírez y col. (2003) efectuaron un estudio acerca de la variación poblacional de los rotíferos (clase: Monogononta) en tres cuerpos de agua de la subcuenca del río Cuautla, en el Estado de Morelos, durante el ciclo enero-diciembre 2003. Reconocieron 30 especies de rotíferos, con un índice de diversidad de 2.3 bits y 82.3% en el índice de similitud, con una dominancia y alta densidad del género *Brachionus* y las especies *Asplanchna sieboldii*, *Filinia longiseta* y *Horaëlla thomassoni*.

Granados-Ramírez y Álvarez-Del Ángel (2003) realizaron un estudio acerca de la diversidad de los rotíferos de tres sistemas (Bordo Amate amarillo, Las Teclas y Presa Palo blanco) acuáticos en la subcuenca del río Cuautla en Morelos. Determinaron 16 especies de rotíferos de las cuales una especie presentó amplia



distribución (*Horaëlla thomassoni*) considerando a diversos taxa de este grupo con una amplia distribución. Concluyeron que la composición de especies es homogénea en los tres ambientes, con la dominancia de algunos taxa durante el muestreo.

Quiroz-Castelán y col. (2005), analizaron algunas condiciones físicas y químicas del agua y sedimento del Lago Zempoala durante un ciclo anual. Los valores de oxígeno disuelto y el bióxido de carbono que encontraron, indicaron procesos de descomposición, sobre todo en algunas áreas de la zona litoral y en el fondo, relacionaron esto con la concentración de materia orgánica y consideraron que el proceso continuo de eutrofización provocado por diversas razones, permite observar claras diferencias entre la zona trofolítica y la zona trofogénica en este lago.

Parra-Flores (2006), realizó un estudio sobre la productividad primaria, productividad secundaria y las condiciones físicas y químicas del agua en dos embalses del alto Amacuzac (embalse San Ignacio y Laguna de en medio), para evaluar el crecimiento de la mojarra *Oreochromis niloticus* (hormonada). Encontró que los factores físicos y químicos indican que los niveles de concentración de cada parámetro son ideales para el desarrollo de la fauna acuática. Los resultados que obtuvo con respecto a la productividad indicaron que esta fue suficiente para mantener un crecimiento diario de 0.5 g por día en cada embalse siendo este un resultado óptimo para el desarrollo de la mojarra.

Parra-Flores y col. (2006) identificaron la riqueza de especies en dos embalses temporales del Estado de Morelos “San Ignacio” y “Laguna de Enmedio” y se evaluó la cantidad de biomasa generada por el zooplancton. Este estudio lo realizaron mensualmente con una estación para ambos embalses. En San Ignacio identificaron 15 especies del zooplancton, siendo los rotíferos los más diversos con 11 especies. En Laguna de Enmedio identificaron 13 especies, de las cuales 8 correspondieron a rotíferos. La abundancia del zooplancton con respecto a la cantidad de kilocalorías fueron entre 3.0 kcal/m²/día y 10.3 kcal/m²/día en San Ignacio, En Laguna de Enmedio valores de 3.5 kcal/m²/día a 14.6 kcal/m²/día, caracterizando a estos cuerpos de agua como altamente productivos y aptos para actividades piscícolas.

Ortiz (2006) actualizó el inventario de los cuerpos de agua (lénticos) del estado de Morelos en la parte centro poniente. Registró un total de 51 cuerpos de agua. Clasificó a los sistemas como hipereutróficos (un poco más del 50%) y en menor proporción en sistemas mesotróficos y mesotróficos-eutróficos. Reportó cinco divisiones de fitoplancton con un total de 90 especies; para el zooplancton señala



un total de 19 especies, 13 géneros y 9 familias y para la ictiofauna menciona un total de 10 especies, 10 géneros y 7 familias.

Mazari-Hiriart y col. (2007) evaluaron las condiciones de calidad de agua en la temporada de lluvias, en las presas El Comalillo en el estado de Hidalgo y El Abrevadero en el estado de Morelos. Ambos embalses presentaron valores promedio de pH mayores a 8, con una tendencia a la alcalinidad, las concentraciones de oxígeno disuelto fueron similares entre ambos sistemas. Las diferencias entre las tres secciones de cada presa: afluente, presa y efluente, con respecto a los parámetros evaluados muestran que, al igual que en la temporada de secas, la interrupción del caudal tiene efecto sobre la calidad del agua. Durante la temporada de lluvias la presa El Comalillo presentó características físico-químicas y microbiológicas que muestran una mejor calidad del agua con respecto a El Abrevadero.

Quiroz-Castelán y col. (2007) realizaron un estudio integral de los lagos Zempoala y Tonatiahua del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos. Este estudio comprendió análisis físico-químicos, nutrimentos, bacteriología, productividad primaria, fitoplancton, zooplancton, zoobentos, vegetación acuática, crustáceos, peces y pesquería. En cuanto a los factores químicos encontraron que las concentraciones de los nutrimentos en ambos lagos tenían patrones de variación en el tiempo y espacio extremadamente diferentes. Las bacterias que encontraron pertenecen al grupo de las entéricas. La concentración de clorofila-a más baja registrada en lago Zempoala fue durante la primavera, mientras que la más alta fue en verano. En el lago Tonatiahua los valores mínimos se presentaron durante el verano, en tanto que los valores más altos se registraron durante el invierno. Encontraron que en lago Zempoala, el fitoplancton está integrado por 29 especies, agrupadas en cinco divisiones que comprenden ocho clases. Respecto al lago Tonatiahua, el fitoplancton estuvo integrado por 31 especies, agrupadas en cinco divisiones que comprenden ocho clases. En el caso del zooplancton la fauna de lago Zempoala estuvo integrada por 26 especies, incluidas en tres grupos. Para el zooplancton del lago Tonatiahua este estuvo integrado por tres grupos y registraron 14 especies.

Gómez-Márquez y col. (2007 a) llevaron a cabo un estudio en el lago Coatetelco, Morelos, citan que este lago se caracteriza por presentar amplias fluctuaciones en su área superficial y volumen, debido a las condiciones que prevalecen en la zona y a que se encuentra ubicado en tierras de valles fértiles, junto a zonas agrícolas de alta tasa de producción. Los análisis físico-químicos del lago indicaron que este se caracteriza por tener aguas cálidas en toda la columna de agua en agosto, con promedio de 25 °C. Lo consideraron como un sistema de aguas duras. Los valores



de nitrógeno en forma de amonio, se encontraron por debajo de los niveles tóxicos. En el caso del fitoplancton reconocieron cuatro divisiones con los siguientes porcentajes: Chlorophyta 67.1%, Cyanophyta 27.5%, Chromophyta 4.2% y Euglenophyta 1.1% y para el zooplancton, un total de cinco especies fueron registradas; la variación y composición del zooplancton, mostró que el grupo más abundante fue el de los copépodos. La ictiofauna que se registro en el lago Coatetelco estuvo representada por la mojarra criolla, *Cichlasoma istlanum* y por *Poecilia sphenops*, miembro de la familia Poeciliidae.

Gómez-Márquez y col. (2007 b) realizaron un estudio limnológico en la presa Emiliano Zapata, Morelos, donde registraron que la profundidad y el volumen del embalse presentan cambios como consecuencia de las épocas de lluvias y estiaje. Con base en los registros térmicos que realizaron, se presentaron dos periodos, uno de mezcla que abarcó de octubre a febrero, en el cual se observa que el sistema se hace más homogéneo al presentar poca variación de la temperatura al nivel de la columna de agua y otro de estratificación, de marzo a septiembre. La concentración de oxígeno disuelto fue variable a lo largo del tiempo, en diciembre y enero se registraron condiciones de anoxia en las capas más profundas. Los valores de dureza total mostraron una estrecha relación con la temporada de lluvias y secas. Las concentraciones de sulfatos indicaron que se trata de un cuerpo de agua altamente sulfatado. Aunque estas concentraciones de nutrimentos se encuentran dentro del intervalo establecido para diversos cuerpos de agua templados y cálidos, la presa Emiliano Zapata se puede considerar como un sistema eutrófico-hipereutrófico. En cuanto a los parámetros microbiológicos, durante el estudio se detectó que durante la temporada de lluvias se incremento la contaminación bacteriana, caso contrario a lo que se observó en el periodo de secas, y con base en los resultados mencionan que la contaminación es de tipo fecal humana. A lo largo de nueve años de estudio en la presa se registraron 26 especies de fitoplancton. Con respecto a la comunidad del zooplancton, se registraron siete especies. En el caso de la ictiofauna se encuentran especies nativas e introducidas.

Ramírez (2008) realizó el diagnóstico de la situación del recurso acuático (sistemas lénticos) del Estado de Morelos en su parte norte-oriental. Registró 43 embalses distribuidos en 11 municipios; de estos, 10 temporales y 33 permanentes. Clasificó a los embalses como hipereutróficos (50%), eutróficos con tendencia a la hipereutrofia (48%) y el resto clasificados como eutróficos. Respecto al fitoplancton registró un total 145 especies pertenecientes a cinco divisiones. En el caso del zooplancton reportó 31 especies de tres familias. La ictiofauna estuvo representada por ocho especies pertenecientes a ocho géneros.



Gómez-Márquez y col. (2008) evaluaron la composición, abundancia y variación temporal de la comunidad del zooplancton durante un ciclo anual (2001-2002) en el lago El Rodeo y su relación con los factores físicos y químicos del embalse. Se determinaron tres clases dentro de las cuales la clase Maxillopoda (dos especies) representó el 59% de la densidad total de zooplancton, seguida de la clase Braquiópoda (dos especies) con el 37% y por último, la clase Eurotatoria (cuatro especies) con el 4%. Mediante el análisis de componentes principales, observaron que la abundancia del zooplancton se relaciona más con la cantidad de fitoplancton, la temperatura del agua y del ambiente y la precipitación pluvial.

Quiroz-Castelán y col. (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 en 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 entorno. El lago Zempoala se considero como meromíctico con tendencia a monomíctico cálido y Tonatiahua como monomíctico cálido.

Rosas, (2009) realizó el diagnóstico del recurso acuático (sistemas lénticos) del estado de Morelos en su parte sur-oriental. Registró 53 sistemas acuáticos; de estos 33 son permanentes y 20 temporales. Clasificó a los sistemas como eutróficos (10%), con tendencia a la hipertrofia (47%) e hipereutróficos (28%). Reportó 214 especies de fitoplancton pertenecientes a 6 clases; para el zooplancton registró 38 especies pertenecientes a 3 clases y la ictiofauna que registró en los sistemas pertenece a 3 familias en las que se incluyen 8 especies.



ÁREA DE ESTUDIO

El Estado de Morelos, se encuentra ubicado en la parte central de la República Mexicana, en la vertiente de la serranía del Ajusco y dentro de la cuenca del río Balsas, posee una altitud que varía desde los 3,000 m s.n.m., en los límites con el Distrito Federal, hasta los 850 m s.n.m., en la región de Huaxtla. Se ubica entre las coordenadas geográficas de 19° 08', y 18° 20' de latitud norte y entre los 98° 38' y 99° 30' de longitud oeste. Colinda al norte con el Distrito Federal y el Estado de México; al sur con Guerrero; al este con Puebla; y al oeste con el Estado de México y Guerrero. Está formado por 33 municipios y su extensión es de 4,892.73 km², representado el 0.249% de la superficie del país (INEGI, 2000).

El municipio de Ayala, lugar donde se encuentran los cuerpos de agua Amate amarillo y la Palapa (figura 1); se encuentra en la parte central del estado y se ubica entre los 18° 46' latitud norte y los 98° 59' longitud oeste, a una altura de 1,220 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con los municipios de Yautepec, Cuautla y Yecapixtla; al sur con Tepalcingo y Tlaquiltenango; al este con Temoac, Jantetelco y Jonacatepec y al oeste con Tlaltizapán y Yautepec. La distancia aproximada a la capital del estado es de 60 km. Tiene una extensión territorial de 345.69 kilómetros cuadrados y representa el 6.97% con respecto a la superficie del estado (INEGI, 2000).



Figura 1. Mapa del área de estudio para los sistemas Amate amarillo y la Palapa, Morelos



Las características de los puntos donde se encuentran los cuerpos de agua son las siguientes:

- ❖ Bordo Amate amarillo, Municipio de Ayala. Se ubica en las siguientes coordenadas 18°44'06.4" LN y 98°54'53" LO, a 1276 metros sobre el nivel del mar. El clima de la zona es Awo(w)(i')gw" cálido subhúmedo con temperatura media anual mayor de 22 °C y temperatura del mes más frío mayor de 18 °C. Precipitación media anual 800 mm y precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; con lluvias de verano e índice P/T menor de 43.2; porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Presenta 6 meses con suelos húmedos. Tipo de Vegetación: En la zona prevalece la selva baja caducifolia. La Geología corresponde a la K(s) Era Mesozoica del Periodo Cretácico de roca sedimentaria, T(s) Era Cenozoica del Periodo Terciario de roca sedimentaria y Q(Su) Era Cenozoica del Periodo Cuaternario. Los tipos de suelo es Vertisol pélico, suelo secundario es Regosol háplico, con textura fina (García, 2004).

- ❖ Bordo la Palapa, Municipio de Ayala. Se ubica en las siguientes coordenadas 18°43'13" LN y 98°54'42.7" LO y una altitud sobre el nivel del mar de 1243 m. El clima de la región es Awo(w)(i')gw" cálido subhúmedo con lluvias de verano (temperatura media anual mayor de 22 °C y temperatura del mes más frío mayor de 18 °C). La precipitación media anual es de 800 mm (precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.). Presenta 6 meses con suelos húmedos. El tipo de vegetación es selva baja caducifolia. Geología: K(s) Era Mesozoica del Periodo Cretácico de roca sedimentaria, T(s) Era Cenozoica del Periodo Terciario de roca sedimentaria y Q(Su) Era Cenozoica del Periodo Cuaternario. El tipo de suelo es Vertisol pélico, suelo secundario es Regosol háplico con textura fina. (García, 2004).



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Analizar la calidad del agua y producción primaria en los reservorios Amate amarillo y la Palapa, Edo. de Morelos y conocer como es la interacción de los componentes edáfico, climático y morfométrico sobre estos cuerpos de agua.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Realizar la caracterización morfométrica y batimétrica de ambos microembalses.
- Realizar el análisis físico y químico de estos cuerpos.
- Analizar la producción primaria por medio del método de la biomasa en un ciclo anual, tomando en cuenta la época de estiaje y de lluvias.
- Analizar la relación de los parámetros físicos y químicos con la producción primaria fitoplanctónica y el estado trófico que presentan.

MATERIALES Y MÉTODOS

FASE DE CAMPO

Para ambos sistemas se establecieron dos estaciones de muestreo (una en la parte central y otra en el afluente) a dos niveles de profundidad (0.30 y 1.0 m), georeferenciando los sitios de muestreo por medio de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) marca GARMIN modelo eTrex, estableciendo los puntos en coordenadas geográficas y UTM (Universe Transverse Mercator); así como también la altitud. Los muestreos se efectuaron mensualmente de septiembre del 2009 a agosto del 2010. Para la toma de muestras de agua se uso una botella Van Dorn de dos litros de capacidad y las muestras fueron almacenadas en botellas de polietileno de un litro para la determinación de los parámetros químicos. De cada sitio se determinaron los siguientes parámetros: Temperatura ambiental y del agua (con termómetros de $\pm 1^\circ\text{C}$), pH, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, con un multiparámetros marca HANNA modelo HI 991300, transparencia (mediante el disco de Secchi). Para la determinación del oxígeno disuelto se



utilizaron botellas tipo DBO de trescientos mililitros (Método de Winkler modificación de azida) y se utilizaron frascos de polietileno de 125 ml para la toma de muestras de fitoplancton (tabla 1).

Tabla 1. Determinación de parámetros *in situ*

PARÁMETRO	MÉTODO
Temperatura	Termómetro de inmersión total
Conductividad	Instrumental (multiparámetros marca HANNA modelo HI 991300)
Oxígeno disuelto	Winkler (modificación de azida de sodio)
Sólidos totales disueltos	Instrumental (multiparámetros marca HANNA modelo HI 991300)
pH	Instrumental (multiparámetros marca HANNA modelo HI 991300)
Alcalinidad	Indicadores (Fenolftaleína y anaranjado de metilo)
Dureza total y cálcica	Complejométrico

(Pacheco-Meneses y col., 1982; Cervantes, 1984; Arredondo-Figueroa, 1986)

FASE DE LABORATORIO

Para la determinación de los nutrimentos, se realizaron las siguientes técnicas descritas en la tabla 2.

Tabla 2. Determinaciones en laboratorio (nutrimentos)

PARÁMETRO	MÉTODO
Nitritos	Ácido sulfanílico (reactivo seco)
Nitratos	Acido fenoldisulfónico
Amonio	Azul de indofenol
Fósforo total	Digestión acida + Fosfomolibdato
Ortofosfatos	Fosfomolibdato
Clorofila "a"	Colorimétrico
Sulfatos	Turbimétrico

(Pacheco-Meneses y col., 1982; Arredondo-Figueroa, 1986; Cervantes, 1984, Contreras, 1994)



Determinación de la Biomasa:

Las muestras de fitoplancton en laboratorio, se colocaron en una cámara de sedimentación por 24 h y se realizaron las determinaciones con ayuda de manuales de microalgas (Ortega, 1984; Krammer y Lange-Bertalot, 1986; Krammer K. y Lange-Bertalot, 1988; Krammer K. y Lange-Bertalot, 1991a; Krammer K. y Lange-Bertalot, 1991b; John y col, 2002; Comas, 1996; Dillard, 1989; Needham y Needham, 1972; Ettl y Gärtner, 1988). El conteo del número de células y la identificación se hizo con ayuda de un microscopio invertido siguiendo la técnica de Uthermöhl (Schwoerbel, 1975). Los resultados se expresaron en número de células por unidad de volumen y la determinación se realizó hasta el nivel de género.

Para la determinación de biomasa del fitoplancton (clorofila "a") se filtraron 100 ml (en función de la cantidad de sólidos en suspensión) de la muestra de agua al vacío con un filtro de fibra de vidrio de 0.42 µm, se depositó el filtro en un tubo de centrifuga, se adicionaron de dos a tres ml de acetona al 90%, se maceró el filtro y se completó el volumen de acetona hasta 10 ml. Se colocó en la oscuridad durante 2 horas a temperatura ambiente y posteriormente se centrifugó durante 10 minutos a 4 000 rpm. Para determinar la clorofila se midió la extinción del extracto de acetona en un espectrofotómetro a longitudes de onda de 665 nm, 645 nm, 630 nm y 750 nm (filtros de color). Estas longitudes de onda corresponden a los máximos de absorción de clorofila a, b y c. Estas lecturas se llevaron a cabo contra un blanco de acetona al 90% (Contreras, 1994).

La concentración para la clorofila en µg/l se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Clorofila "a"} = 11.64E_{665} - 2.16E_{645} + 0.10E_{630}$$

Se restó la extracción a 750 nm de las extracciones a 665, 645 y 630; los valores obtenidos se multiplicaron por el volumen de la extracción en ml y se dividieron por el volumen de agua en litros (Contreras, 1994).

FASE DE GABINETE

Grado de Eutrofización:

Para determinar el grado de eutrofización de los cuerpos de agua se utilizó el índice de Carlson (1977). Esta es una medida del estado trófico de un cuerpo de agua que se obtiene a partir de varias medidas de la calidad del agua, incluyendo: la transparencia (usando la profundidad a la visibilidad del disco de Secchi), la concentración de clorofila a (la biomasa de algas) y los niveles de fósforo total



(habitualmente el nutriente en menor oferta para el crecimiento de algas). El Índice de Estado Trófico (IET) se basa en el intervalo de una escala de 0-100 que está en función de la relación entre la profundidad del disco de Secchi y las concentraciones de las aguas superficiales de la clorofila de las algas así como del fósforo total. Partiendo principalmente de la hipótesis de que el material particulado en suspensión en el agua, controla la profundidad de la visibilidad del disco de Secchi y que la biomasa de algas es la principal fuente de partículas, el valor más bajo (cero) correspondería a una profundidad de Secchi de 64 metros y un valor de 100 correspondería a un Secchi de sólo 6,4 cm (menos de 3 pulgadas). Un conjunto de ecuaciones ayudan a describir estas relaciones donde los valores más altos obtenidos corresponden a una mayor fertilidad, es decir, más eutróficos. Un aumento de la IET de 10 unidades corresponde a una reducción a la mitad de la profundidad de Secchi y la duplicación de la concentración de fósforo.

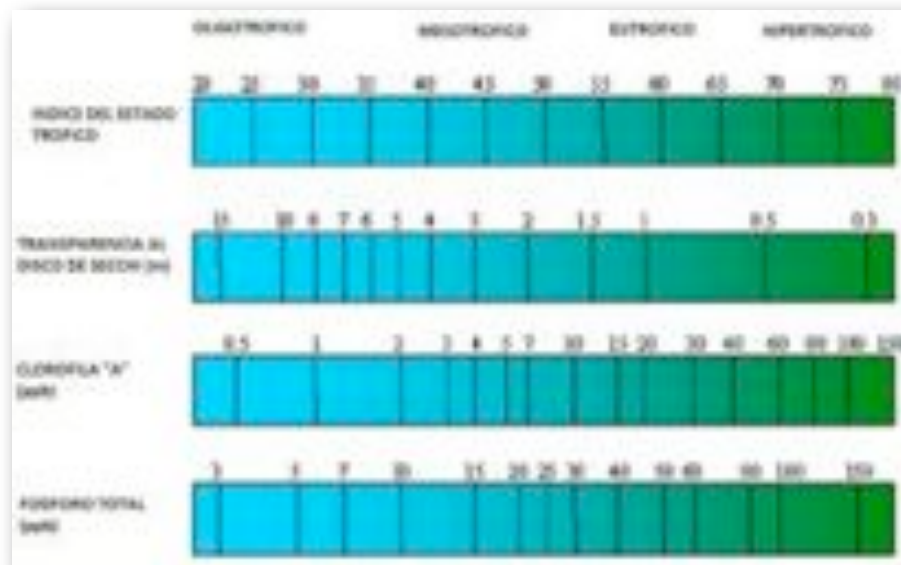
Las ecuaciones para calcular el IET son (Ruibal, 2000; Echaniz y Vignatti, 2009):

$$IET \text{ de fósforo total (IETFt)} = 14.2 * [\ln(Ft \text{ promedio})] + 4.15$$

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

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

El fósforo total y la clorofila "a" son medidos en microgramos por litro ($\mu\text{g/l}$) y la transparencia al disco de Secchi en metros (m). Los valores extremos del IET son 0 (ultra-oligotrófico) y 100 (hipereutrófico). Valores de estado trófico crecientes indican más condiciones eutróficas. (Ruibal, 2000; Echaniz y Vignatti, 2009). Por lo tanto, el índice y las categorías de estado trófico son (Carlson y Simpson, 1996):





Determinación de la calidad biológica:

El concepto de trofismo se refiere a la cantidad de nutrimentos disponibles en un cuerpo de agua, relacionado a su vez, con la capacidad productiva del mismo. Dicho concepto se refiere también, al proceso de eutrofización en la naturaleza, que se lleva a cabo en intervalos de tiempos considerablemente largos; sin embargo, el hombre ha acelerado intensamente este proceso (Ortega y col. 1994).

La contaminación de un sistema acuático se manifiesta en las poblaciones por el desarrollo de dos fenómenos inversos y simultáneos; por una parte, la aparición y la proliferación de especies selectivas y por otra, la desaparición de parte o de toda la población inicial del medio (Ortega y col. 1994).

Para determinar la calidad biológica en el presente trabajo, se uso el método que utiliza las poblaciones acuáticas (en específico el fitoplancton) como marco de referencia, considerando la presencia y ausencia de los organismos en sus respectivas divisiones: Clorofita, Cianofita, Bacillariofita y Euglenofita.

En este método se utiliza el análisis de poblaciones de algas o “Cociente de Asociación” sugerido por Thunmarck (1945), por Nygaard (1947) y Gayral (1954) citados en Ortega y col. (1994), definido de la manera siguiente:

$$C = \frac{Cy + Ch + Ce + Eu}{De}$$

Donde su variación está indicada por:

- Cy = Cianofitas
- Ch = Clorofitas (Chlorococcales)
- Ce = Bacilariofitas (Centrales)
- Eu = Euglenofitas
- De = Clorofitas (Desmidiales)

Cociente de Asociación	Estados tróficos
$C \leq 1$	Oligotróficos
$C = 1.1 - 2.5$	Mesotróficos
$C = 2.6 - 2.9$	Eutrófico
$C \geq 3$	Saprotrofico



Análisis estadístico:

Se realizó un análisis exploratorio de datos por métodos gráficos previo al análisis estadístico multivariado. Para ello se elaboraron gráficas de caja y bigote con muesca (Salgado, 1992), la representación gráfica de las variables en el tiempo para entender su tendencia; posteriormente, la determinación de la aleatoriedad, linealidad y homocedasticidad, para seleccionar la transformación de los datos. Todo esto ayudó a exhibir características o patrones ocultos dentro de los datos y resaltar con claridad la tendencia que conforman los datos (Ponce-Palafox y col., 2007). Se aplicó la prueba t-student y una correlación de Pearson a los datos que cumplieron con los supuestos establecidos por el método, mientras que para los datos que no cumplieron con estos supuestos, se aplicó el análisis no paramétrico (prueba de Mann-Whitney). Después se procedió a realizar el análisis estadístico multivariado (Análisis de Componentes Principales) que es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. El análisis de componentes principales (ACP) tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por lo tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total. Este análisis se efectuará con la finalidad de establecer el grado de dependencia que existe entre las variables físicas, químicas y bióticas (Peña-Sánchez, 1987; Ponce-Palafox y col., 2007). Por último se realizó un test de asociación no paramétrico de Olmstead Tukey.



RESULTADOS

NOMOGRAMA DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

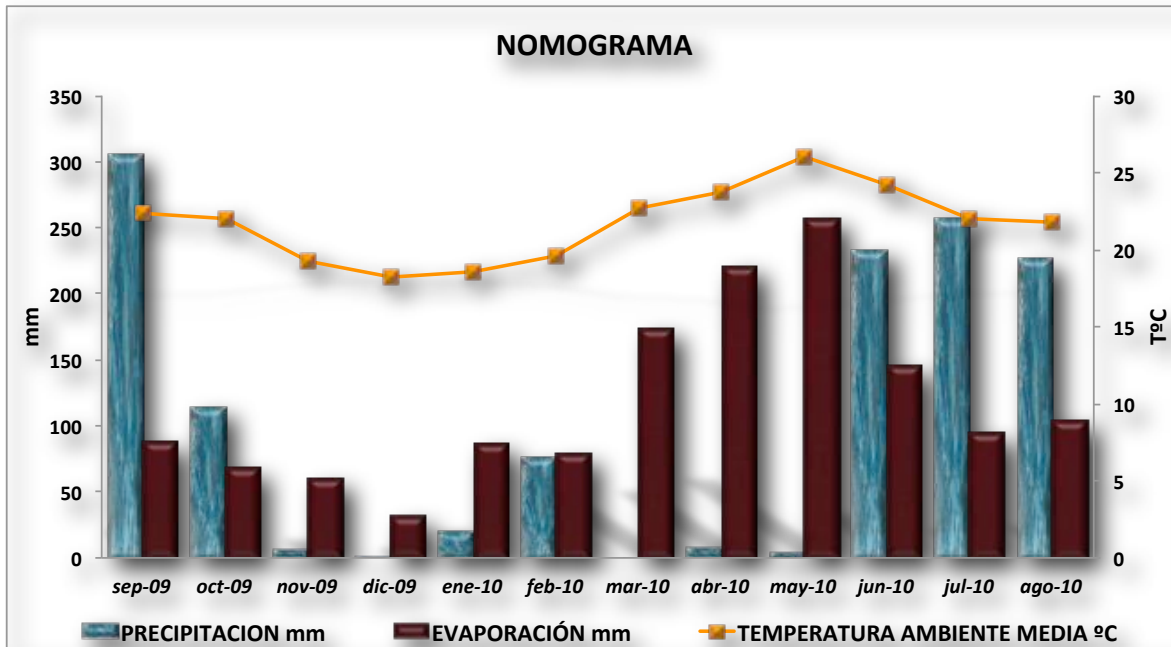


Figura 2. Nomograma realizado con datos climatológicos del 2009-2010 obtenidos del Servicio Nacional Meteorológico, estación de Cuautla.

El área de estudio está regida por dos épocas, la de estiaje y la de lluvias. En el periodo de lluvias, la precipitación tiene una gran influencia en los sistemas hídricos en los meses de julio a septiembre (figura 2), ya que es en estos meses cuando el aporte de agua pluvial aumenta el volumen de los sistemas la Palapa y Amate amarillo, repercutiendo directamente sobre los parámetros morfométricos, batimétricos, físicos y químicos. El periodo de secas comprendido entre los meses cálidos de marzo a mayo y los meses fríos de noviembre a febrero, el volumen de los sistemas se ve afectado de manera directa por la evaporación del agua provocando una concentración de los elementos en los sistemas; esta evaporación es causada por una elevación de la temperatura en este periodo, la evaporación alcanzó sus niveles máximos en los meses cálidos de marzo a mayo, en estos meses se registraron niveles de profundidad muy bajos en los sistemas. Por lo cual, se puede ver que estos cuerpos de agua están regidos por un periodo de dilución y uno de concentración. Esta dinámica afecta directamente a la calidad del agua así como su estado trófico.



MORFOMETRÍA Y BATIMETRÍA DEL SISTEMA AMATE AMARILLO

El Amate amarillo es un sistema artificial construido por el hombre con el fin de retención de agua para el uso agrícola, así mismo también es utilizado para la acuicultura. En el mapa batimétrico (figura 3) puede observar las dos entradas de agua en la parte superior, una pequeña salida de agua cuando el sistema está a su máximo nivel y una compuerta en la parte suroeste inferior que sirve para regular el nivel de agua de acuerdo a las necesidades de los ejidatarios para los cultivos de la zona; en el mapa se pueden apreciar las distintas profundidades (isóbatas), este fue realizado a través de transectos en el mes de octubre del 2010.

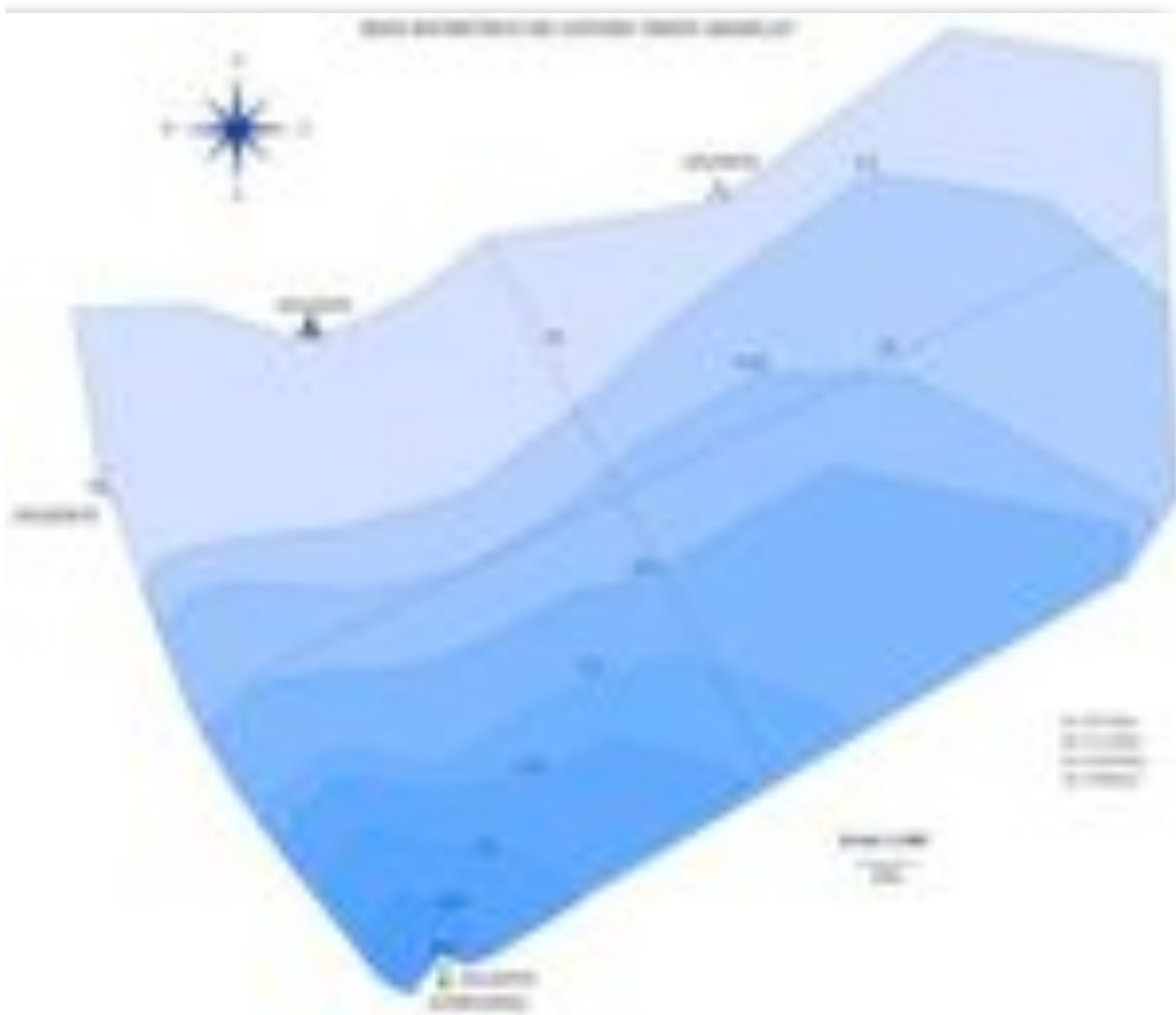


Figura 3. Mapa realizado en el mes de octubre del 2010

Como se puede ver, se trata de un sistema somero con una profundidad máxima (Zm) de 2m y un área superficial (A) de 7.56 ha en octubre, desviándose de la forma circular; por lo tanto, una gran extensión del sistema que es poco profunda indica que existe una gran relación con el sedimento, por lo cual la columna de



agua es susceptible a que haya una gran disponibilidad de los nutrimentos a lo largo de la misma. A partir de la construcción del mapa batimétrico se procedió a determinar los parámetros morfométricos y batimétricos (Tabla 3).

Tabla 3. Características morfométricas del bordo Amate amarillo, Morelos

	SÍMBOLO	VALOR
Longitud máxima (m)	l	379.20
Anchura máxima (m)	b	214.80
Anchura media (m)	\bar{b}	199.39
Longitud del litoral (m)	L	1160.60
Área (m ²)	A	75608.00
Volumen (m ³)	V	45468.18
Desarrolló litoral	D_L	1.19
Desarrolló del volumen	D_V	1.10
Profundidad máxima (m)	Z_m	2.00
Profundidad media (m)	\bar{Z}	0.73
Profundidad relativa (%)	Z_r	0.64
Relación $\bar{Z} : Z_m$	$\bar{Z} : Z_m$	0.37

El valor registrado en la curva hipsográfica absoluta (figura 4) para la zona fótica en la cual se lleva a cabo la producción, es de 1.08 m que corresponde casi al 54% de la profundidad total.

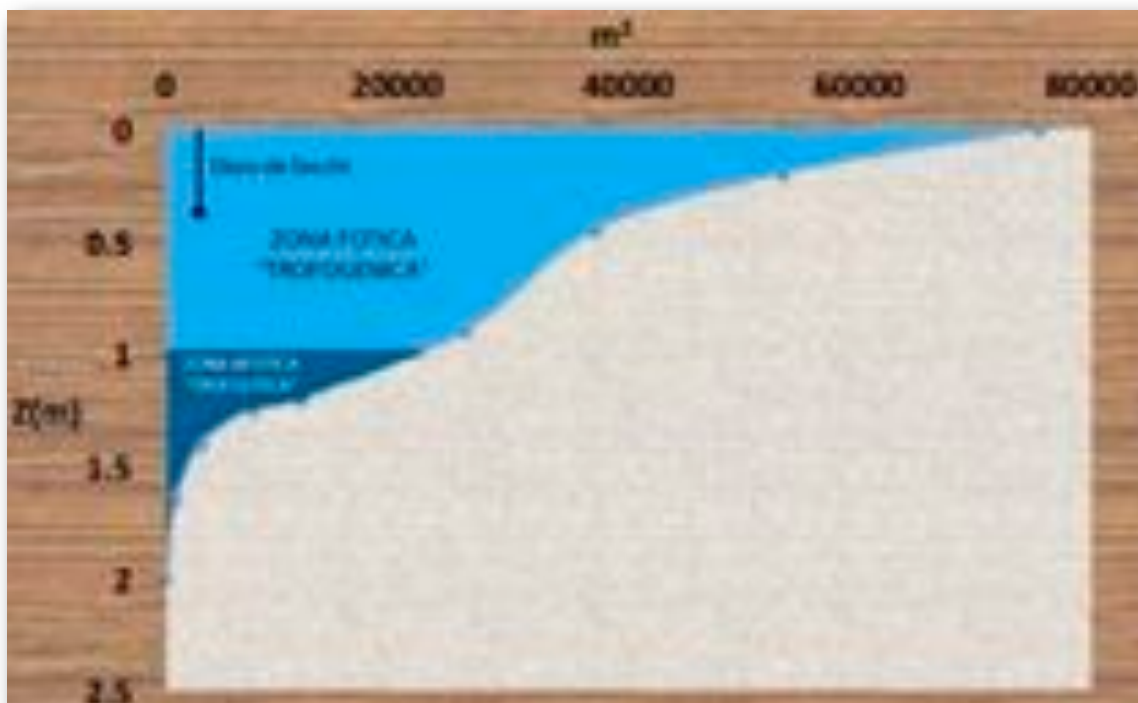


Figura 4. Curva hipsográfica absoluta para el bordo Amate amarillo, Mor



La forma de la curva relativa es ligeramente convexa (figura 5), se aprecia como poco más de 3 ha no rebasan el metro de profundidad, esto quiere decir que más del 80% de la extensión del sistema es somero o sea, que más de 30,000 m³ de agua tienen una estrecha relación con el sedimento obteniendo así una zona fótica altamente productiva.

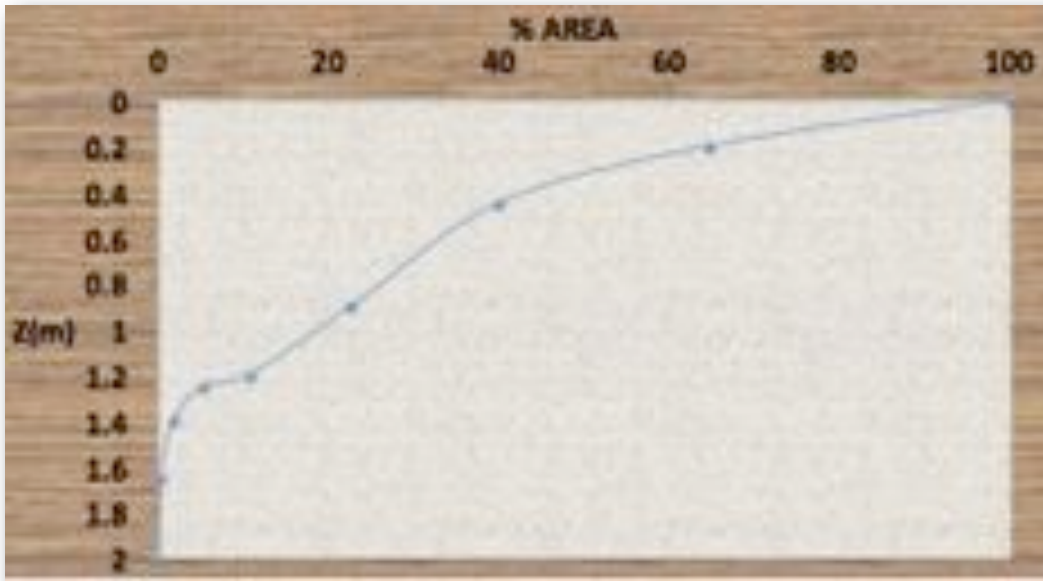


Figura 5. Curva hipsográfica relativa para el bordo Amate amarillo, Mor

De manera similar a la anterior, la curva de profundidad-volumen indica la relación que hay entre el volumen del sistema y su profundidad, siendo el volumen del sistema una integral de los volúmenes de cada estrato (figuras 6). Al ser un sistema con poca profundidad, entonces el volumen es menor comparado con el área superficial del mismo.

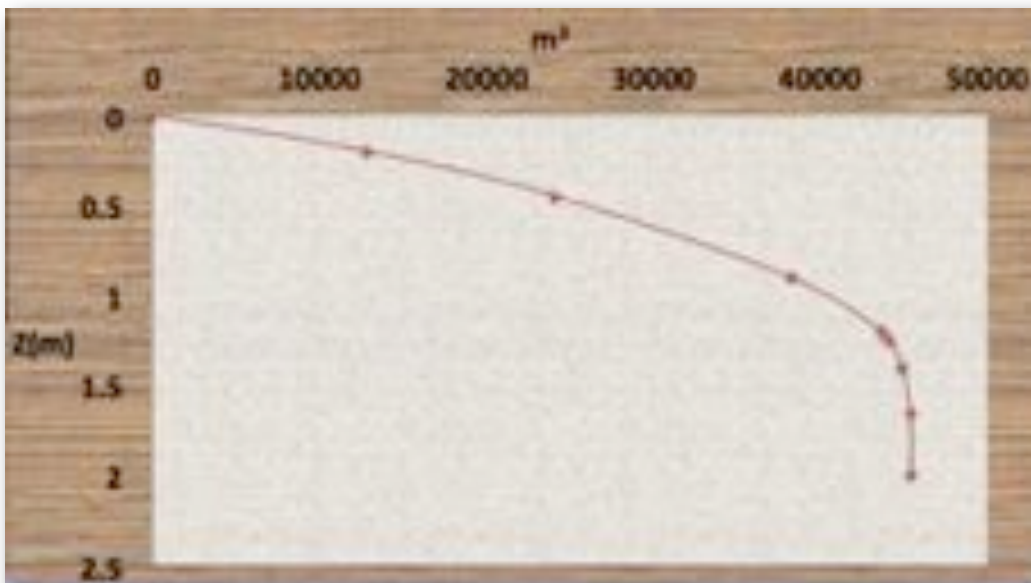


Figura 6. Curva profundidad-volumen absoluta para el Amate amarillo, Mor



PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIÓTICOS DEL “AMATE AMARILLO”

Tabla 4. Parámetros físicos, químicos, nutrimentos, clorofila “a” e IET del bordo Amate amarillo

Parámetros	Máxima	Promedio	Mínima
Temperatura H ₂ O (°C)	28.2	25.1	22
Temperatura ambiente (°C)	31.4	26.55	21.7
Temperatura media mensual °C	26.08	22.14	18.2
Profundidad (m)	3.07	1.97	0.87
Transparencia (m)	0.5	0.37	0.25
Oxígeno disuelto (mg/L)	17.74	10.88	4.03
Alcalinidad total (mg/L)	233.75	128.28	22.81
Dureza total (mg/L)	718.47	509.85	301.24
pH	8.74	8.14	7.54
Nitratos (mg/L)	0.518	0.289	0.059
Nitritos (mg/L)	0.032	0.016	0.000
Amonio (mg/L)	0.816	0.463	0.111
Ortofosfatos (mg/L)	0.411	0.209	0.008
Fósforo total (mg/L)	1.245	0.706	0.166
Silicatos (mg/L)	49.62	25.61	1.59
Sulfatos (mg/L)	161.52	89.37	17.23
Clorofila "a" (µm/L)	52.75	34.04	15.34
Índice del Estado Trófico	83.02	78.33	73.64
Dureza Cálctica (mg/L)	536.04	325.50	114.98
Sólidos totales	1.93	1.02	0.11
Sólidos Totales Disueltos	1443	950.87	458.75
Precipitación (mm)	305.4	152.7	0

En la tabla 4 se puede ver el valor mínimo de temperatura del agua que se registró en este sistema a lo largo de los doce meses de estudio, éste fue en noviembre con 22.0 °C y el máximo ocurrió en el mes de agosto con 28.2 °C. La profundidad mínima que se obtuvo en este sistema fue de 0.8 m en la estación uno y la máxima con 3 m en la estación dos. En el caso de la transparencia los valores fueron similares en ambas estaciones pero esta varió durante los doce meses, presentando una mayor visibilidad al disco de Secchi en los meses lluviosos y menor en los meses secos ya que está influenciada por la densidad de los organismos fitoplanctónicos y los sólidos en suspensión. En el Índice del Estado



Trófico también se puede ver que se trata de un sistema eutrófico con una alta tendencia a la hipereutrofia.

A continuación se muestran las gráficas de cada uno de los parámetros obtenidos en el sistema Amate amarillo, haciendo hincapié en las relaciones que tienen.

Oxígeno y temperatura del agua

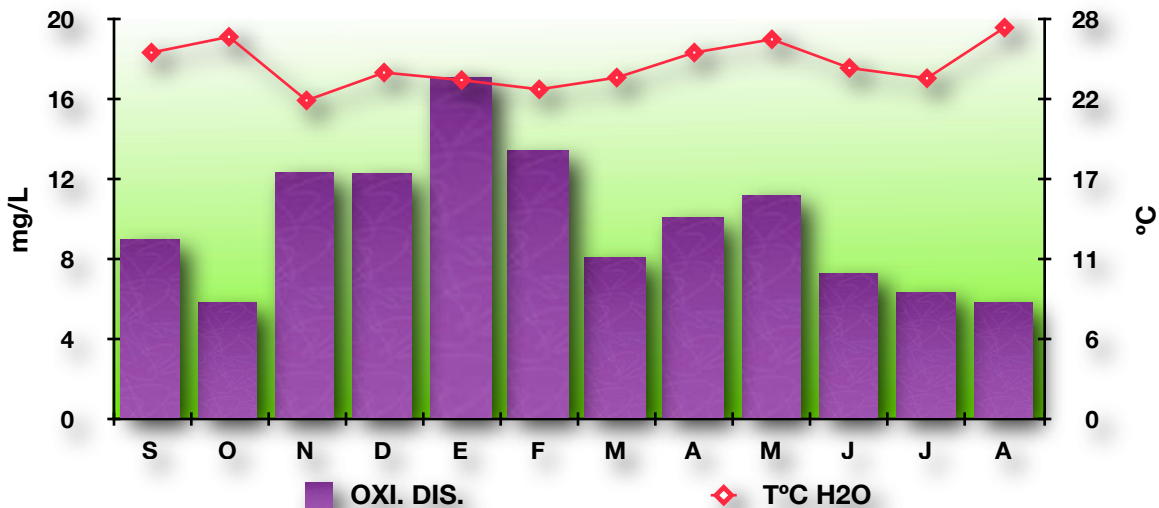


Figura 7. Relación del oxígeno y la temperatura promedio del sistema "Amate amarillo"

La relación que hay entre el oxígeno disuelto y la temperatura del agua es inversa, como se puede observar en la figura 7, la concentración de oxígeno aumenta cuando la temperatura disminuye, esto puede deberse a que los procesos de descomposición de la materia orgánica genera que haya menos oxígeno disponible en el sistema, además de que el oxígeno es menos soluble en el agua en temperaturas elevadas. Estos dos parámetros tienen un comportamiento similar en las dos estaciones, por lo que se puede decir que la temperatura y el oxígeno se comportan homogéneamente en el sistema. Algo que se puede observar también son las fluctuaciones que tuvo la concentración de oxígeno, siendo en los meses con lluvias una baja concentración debido a la gran cantidad de organismos que lo demandaban y la carga de materia orgánica al sistema por el aporte, así como también debido a la poca solubilidad que presenta el oxígeno en temperaturas cálidas, además del proceso de dilución, de esta manera el oxígeno estaba en mayor disponibilidad en los meses secos fríos. Se realizó una prueba de t-student a los datos obtenidos de la estación 1 y 2 con respecto a la temperatura y el oxígeno y se encontró que no existían diferencias significativas entre las medias de las estaciones, ($t\text{-student} = 0.3655$; $P > 0.05$). Para el caso de los valores de oxígeno en cada estación se obtuvo un valor de $t\text{-student} = 0.5725$



($P > 0.05$), por lo que tampoco se registró diferencia significativa entre las dos estaciones.

Alcalinidad total, dureza total y pH

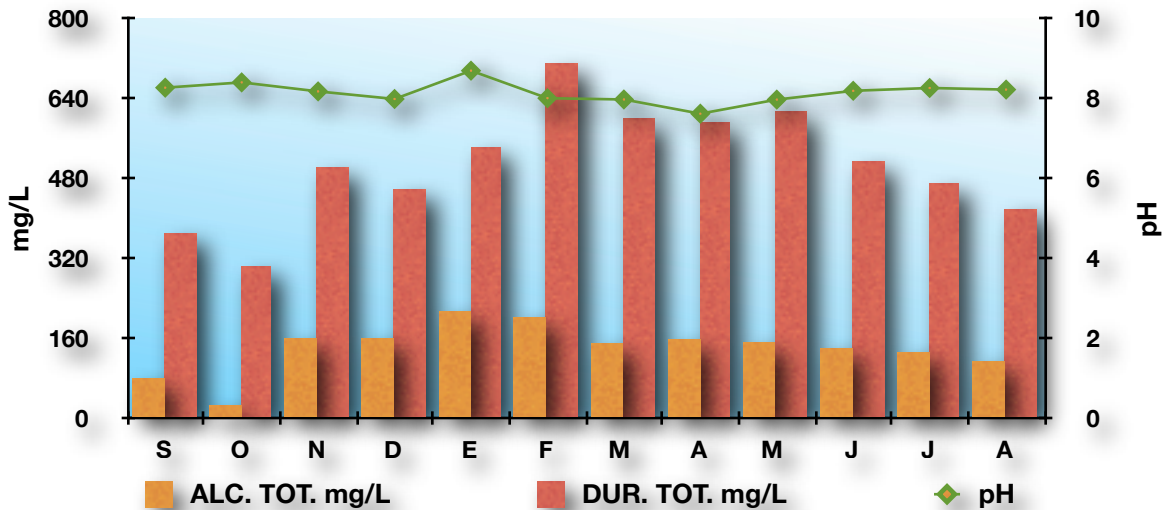


Figura 8. Relación del pH, Dureza Total y Alcalinidad promedio del sistema "Amate amarillo"

Los valores obtenidos de la alcalinidad muestran que está relacionada con la dureza (figura 8) ya que se considera que la alcalinidad registrada es debida solo al carbonato y bicarbonato de calcio asociada a los valores de pH, por lo que el agua de este sistema tiene una dureza que oscila desde agua dura en los meses de dilución (de junio a octubre), hasta muy dura en los meses de concentración (de noviembre a mayo) del sistema (en el intervalo de 301.24 a 718.47 mg/L). En la figura 8 se puede apreciar la relación que hay entre estos parámetros, ya que el sistema presenta valores de pH que van de 7.5 a 8.7, esto lo hace un sistema ligeramente alcalino. Muchos nutrimentos tienden a incrementar con la alcalinidad, entonces se puede considerar a este parámetro como otro posible indicador de productividad en el sistema. Cabe señalar que estos valores son elevados, en específico los de la dureza total, porque influye el factor geológico de la zona y la composición de carbonato de calcio en los suelos de la entidad, que dan los aportes necesarios para que estos valores se presenten de esta manera. Se realizó una prueba de t-student para los valores de la alcalinidad total registrados en ambas estaciones y se obtuvo una $t\text{-student}=0.1401$ ($P > 0.05$) por lo que no hay diferencia significativa. Para los valores de dureza total de cada estación los resultados de la prueba fueron una $t\text{-student}=-0.1428$ ($P > 0.05$); por lo tanto no existe diferencia significativa entre las estaciones para la dureza total. Por último para los valores de pH obtenidos en cada estación se obtuvo una $t\text{-student}=-0.3084$ ($P > 0.05$) por lo que no hay diferencia significativa entre las dos



estaciones. Entonces, se puede inferir que no se registró diferencia significativa entre la estación 1 y la estación 2 con respecto a los tres parámetros.

Fósforo total, ortofosfatos y sulfatos

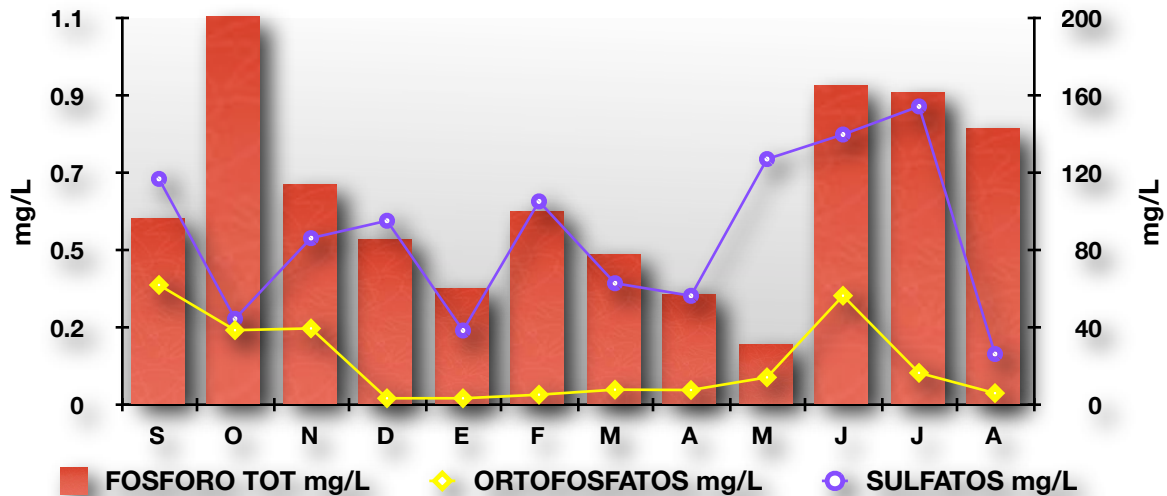


Figura 9. Variación del fósforo total, ortofosfatos y sulfatos promedio del sistema "Amate amarillo"

El fósforo se identifica como el nutriente que en caso de estar ausente limitará la fotosíntesis en el cuerpo de agua y por lo tanto su producción, y su reducida disponibilidad mantendrá una limitada productividad. Durante el desarrollo del proyecto el número de organismos aumentó en los primeros cuatro meses, incrementando con ello la demanda de fósforo, reduciendo así la concentración de ortofosfatos ó fósforo reactivo disuelto en esos mismos meses. De la misma forma, los ortofosfatos tienen una relación estrecha con la temporada de lluvias que fue cuando se obtuvieron los máximos valores, mientras que en la época de secas la concentración disminuyó, esto se debe a los escurrimientos que se presentan con la lluvia provocando que haya un gran aporte de nutrientes de las zonas aledañas, más aún porque estas zonas son de producción agrícola. Con respecto a los compuestos de azufre presentes en el sistema, estos proceden de las rocas, de los fertilizantes y del transporte atmosférico por la precipitación y la deposición de material seco. Algo importante en este microreservorio es la presencia de lodo negro ó de materia orgánica rica en compuestos sulfurados como el H_2S en el fondo del sistema, el cual es altamente inestable y se oxida rápidamente en presencia de oxígeno formando iones sulfatos en solución o asociándose al hierro, con el cual forma el sulfuro de hierro dependiendo del estado de oxidación en el sistema. Los sulfatos (figura 9) sostienen una relación con el fósforo, debido a que ambos dependen de la cantidad de oxígeno disuelto, influyendo en el estado de oxidación del fósforo y el azufre. Se realizó la prueba t-student para el fósforo total entre estaciones y se obtuvo una $t\text{-student}=0.1974$



($P > 0.05$) por lo que no hay diferencia significativa entre los valores de las dos estaciones. Para la comparación de los valores de ortofosfatos de cada estación se obtuvo una $t\text{-student} = -0.7961$ ($P > 0.05$), por lo que no se registraron diferencias significativas entre estaciones. Por último, para los valores de sulfatos obtenidos en cada estación se obtuvo una $t\text{-student} = -1.3203$ ($P > 0.05$) por lo que no hay diferencia significativa entre las dos estaciones. Entonces, se puede inferir que no hay diferencia significativa entre la estación 1 y la estación 2 con respecto a estos parámetros.

Nitratos, nitritos y amonio

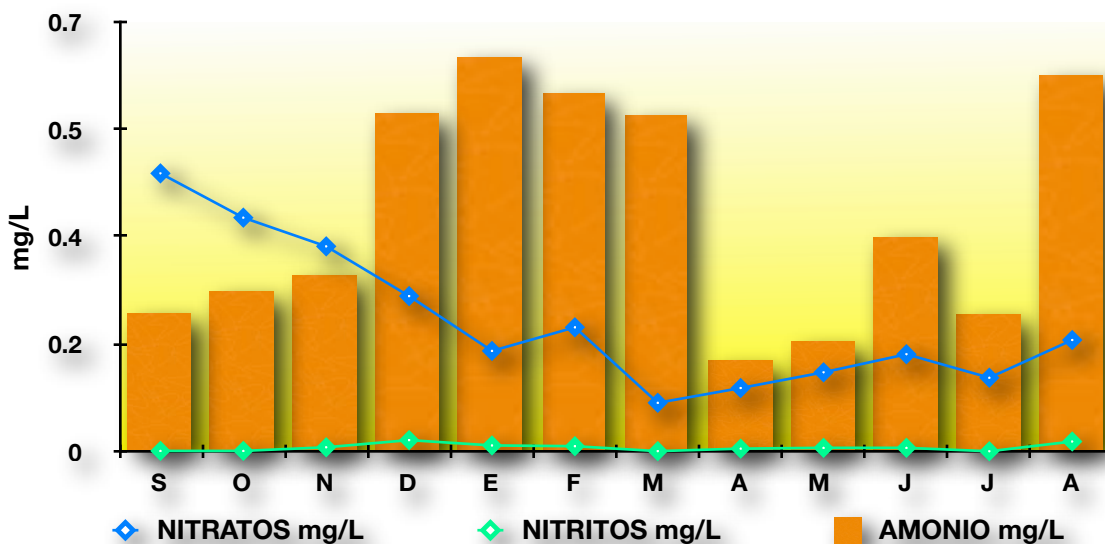


Figura 10. Comportamiento promedio de las diferentes formas del nitrógeno en el sistema "Amate amarillo"

La descomposición de la materia orgánica a pH de 7.5 a 8.7 se vió reflejada en el incremento del amonio, entre 0.13 mg/L y 0.69 mg/L, valores que se encuentran por debajo de los niveles tóxicos, aunque bien cabría decir que durante los doce meses de muestreo se observa que este nutriente tiende a incrementarse en la época de secas cuando disminuye el volumen del sistema. En el caso de los nitratos (figura 10) tiene un comportamiento inverso al del amonio, esto puede deberse a que a partir del mes de diciembre la abundancia fitoplanctónica empieza a aumentar y dado que los nitratos son la forma asimilable del nitrógeno para los organismos algales, se hace notar una disminución en la concentración de nitratos, el aumento en la concentración de este nutriente en los meses de lluvias también está relacionado con la escorrentía como ya se mencionó con el fósforo, así como con la baja concentración de oxígeno disuelto durante este periodo. Los nitritos por su parte fueron bajos con valores que oscilaron entre 0.0001 mg/L y 0.01 mg/L como máximo. Se realizó la prueba $t\text{-student}$ y para el



caso de los valores obtenidos de nitratos tanto de la E1 como de la E2 se obtuvo una $t\text{-student}=0.3166$ ($P>0.05$) por lo que no hay diferencia significativa entre las dos estaciones. Para los nitritos se obtuvo una $t\text{-student}=-0.0915$ ($P>0.05$) por lo que no se registraron diferencia significativa entre las dos muestras de nitritos. Por último, para los valores de amonio obtenidos en cada estación se obtuvo un valor de $t\text{-student}=0.4522$ ($P>0.05$), por lo que no se obtuvieron diferencias significativas entre las dos estaciones de monitoreo.

Abundancia de fitoplancton y concentración de clorofila “a”

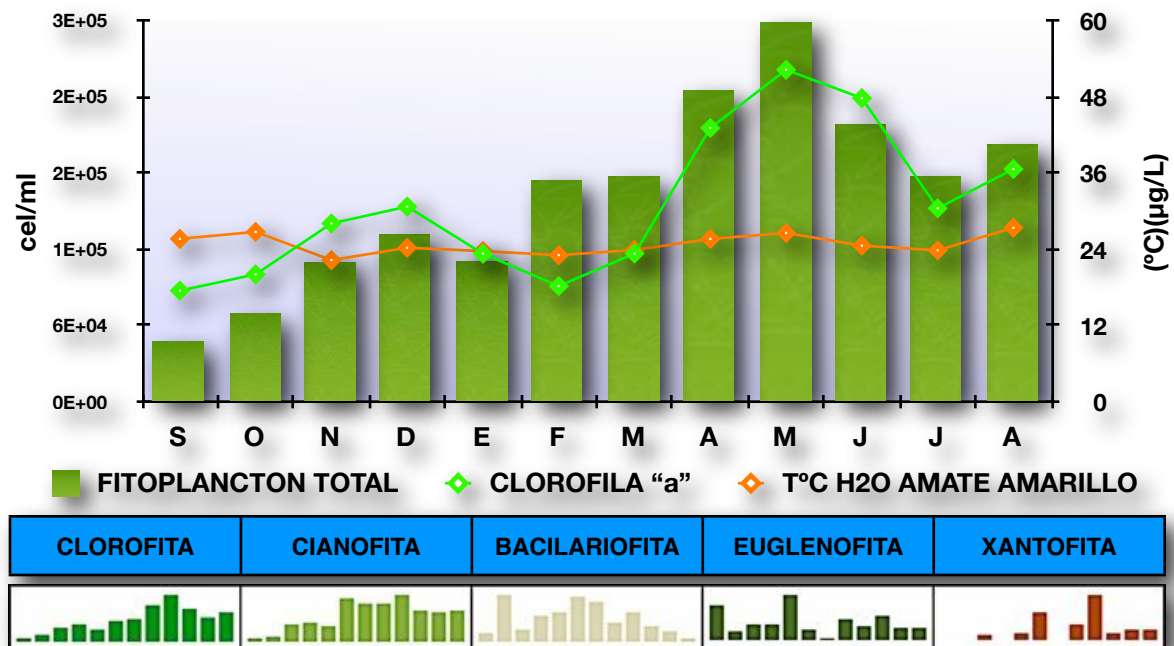


Figura 11. Proporción de los grupos fitoplanctónicos y su relación con la clorofila “a” promedio del sistema “Amate amarillo”

La abundancia de los organismos fitoplanctónicos registrados en todos los meses para este sistema se ve representada en la figura 11, comparándola con las cantidades de clorofila “a” en el sistema. Se puede ver claramente que existe una correspondencia entre los volúmenes de fitoplancton con las concentraciones de clorofila “a”, aumentando y disminuyendo de manera directa, la tendencia que se puede observar es que en los meses cálidos los organismos fitoplanctónicos alcanzan sus máximos niveles de abundancia aumentando con ello la producción de clorofila “a”, mientras que hacia los meses con lluvias y meses fríos, se presenta una baja en la producción de clorofila “a” debido a que los organismos fotosintéticos están en menor proporción en este periodo. Hablando en particular de las divisiones, tanto la Chlorophyta, Cianophyta y Xantophyta siguen el comportamiento anteriormente descrito, siendo las Bacillariophyta y Euglenophyta



las que presentan un comportamiento inverso, claramente se puede ver que en los meses secos fríos como cálidos hay ciertos incrementos en estas dos últimas divisiones. Por otro lado las cianofitas también presentaron un incremento en la época de secas (figura 11), esta situación se relaciona con el incremento de nutrimentos como el amonio y los nitritos.

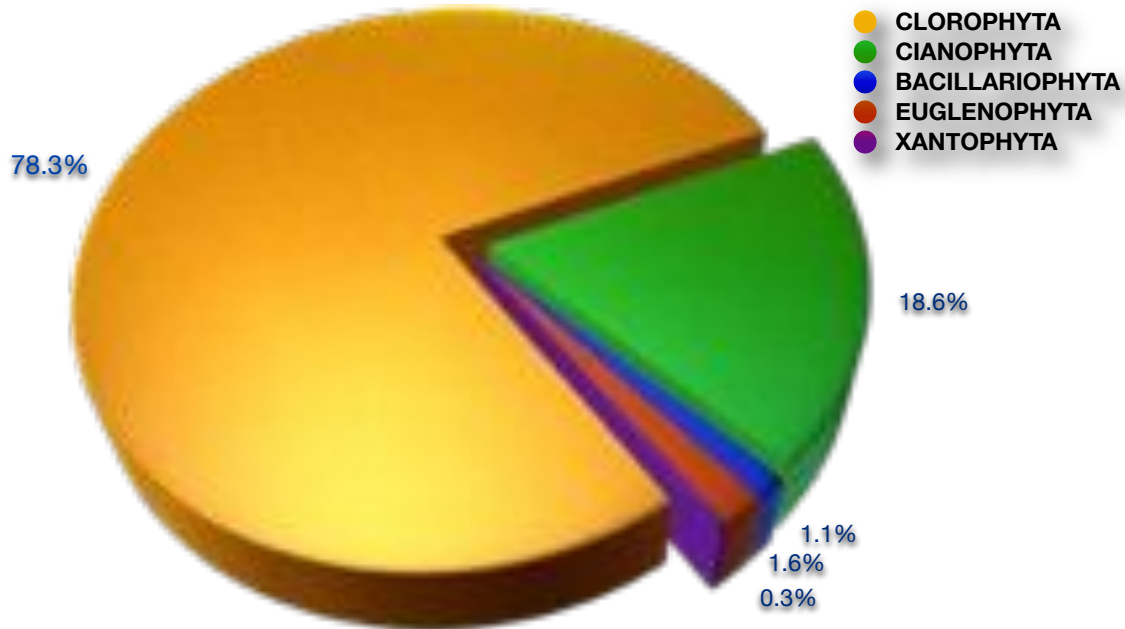


Figura 12. Principales divisiones fitoplanctónicas registradas para "Amate amarillo"

En cuanto a la proporción (figura 12), se registraron cinco grupos principales: Chlorophyta con 78.3%, Cyanophyta con 18.6%, Bacillariophyta con 1.1%, Euglenophyta con 1.6% y Xantophyta con el 0.3%; presentando mayor proporción las primeras dos. Son las clorofitas los organismos que aportan la mayor cantidad de clorofila "a" al sistema, la abundancia de estos organismos cambió a lo largo de los doce meses, pero sostuvo la tendencia de incrementar en la época de secas cuando hay una concentración del sistema. Se realizó la prueba de t-student con respecto a los datos obtenidos de la estación 1 y 2 para la clorofila "a" y la abundancia de fitoplancton y se encontró que los valores de clorofila "a" para cada estación no mostraban diferencia significativa entre las medias, obteniendo un valor de t-student = 1.6015 ($P > 0.05$). Para la abundancia de fitoplancton se obtuvo un valor de t-student = -0.2529 ($P > 0.05$), por lo que tampoco hay diferencia significativa entre las dos estaciones.



Silicatos y abundancia de bacillariophytas

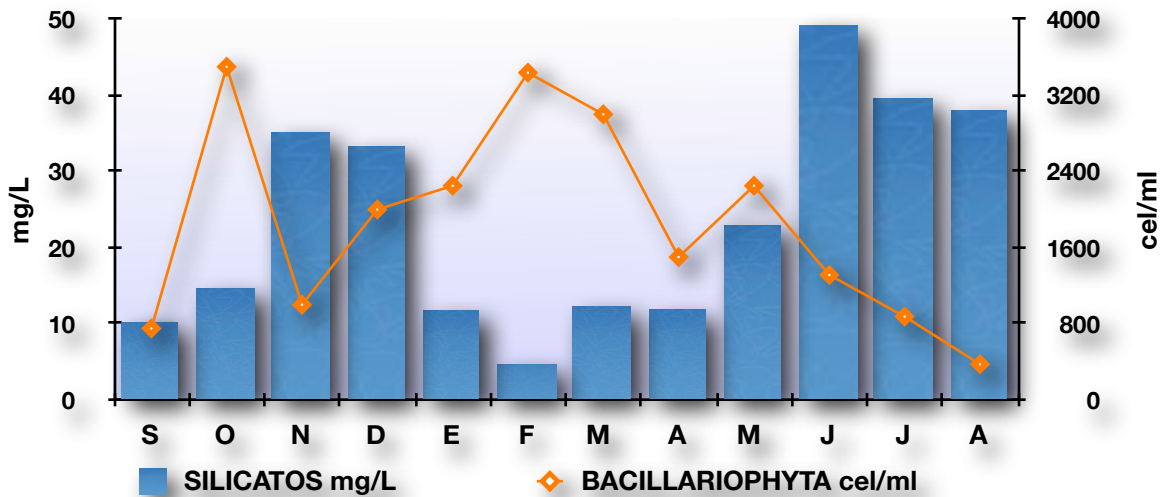


Figura 13. Relación de los silicatos y la abundancia de las bacilariofitas promedio del sistema "Amate amarillo"

Las concentraciones de sílice están asociadas también con la asimilación de dicho elemento por parte de las diatomeas, ya que el comportamiento de dichos elementos muestra que cuando incrementa la cantidad de algas, los silicatos disminuyen y se produce la sedimentación de estas desde la zona trofogénica, proceso que adquiere una velocidad mayor que la de reemplazamiento del sílice al sistema (figura 13).

Se realizó una prueba de t-student con los datos obtenidos de la estación 1 y 2 con respecto a la abundancia de bacilariofitas y la concentración de silicatos y se encontró que los valores de la abundancia de bacilariofitas no presentaron diferencia significativa entre las estaciones ($t\text{-student} = -0.3350$; $P > 0.05$). Para el caso de los valores obtenidos de la concentración de silicatos se obtuvo un valor de $t\text{-student} = 0.3052$ ($P > 0.05$), por lo que tampoco hay diferencia significativa entre las dos muestras.

Por lo tanto, se puede decir que la estación uno y la estación dos de el sistema "Amate amarillo" se están comportando de manera similar a lo largo de los ocho meses, tanto en la época de lluvias y en la época de secas. Los parámetros físicos, químicos así como los nutrientes se encuentran en concentraciones semejantes en ambas estaciones, esto quiere decir que el sistema se comporta de forma homogénea y no hay diferencias significativas entre las estaciones.



Listado ficológico Amate amarillo

En la Tabla 5, se muestra la clasificación taxonómica de los organismos fitoplanctónicos para el sistema Amate amarillo, en donde se observan las cinco divisiones reportadas en el estudio con sus respectivos ordenes y géneros. Para la división Chlorophyta se registraron 5 ordenes con 25 géneros, en la Cianophyta se registraron 3 ordenes con 8 géneros, para la división Bacillariophyta se reportan 2 ordenes con 21 géneros, en la Euglenophyta se registró un orden con 3 géneros y por último, en la división Xantophyta se reporta un orden con 2 géneros; los promedios que se muestran en esta tabla no representan la variación a lo largo del estudio, solo indican la proporción en que se encontraron los diferentes géneros.

Tabla 5. Clasificación de los organismos fitoplanctónicos registrados en el bordo Amate amarillo

DIVISIÓN	ORDEN	GENERO	CEL/mL	
CHLOROPHYTA	Chlorococcales	<i>Actinastrum</i>	749	
		<i>Ankistrodesmus</i>	5262	
		<i>Botryosphaerella</i>	250	
		<i>Chlorella</i>	692619	
		<i>Chlorochytrium</i>	416	
		<i>Chlorococcum</i>	169582	
		<i>Closteriopsis</i>	1248	
		<i>Coelastrum</i>	250	
		<i>Crucigenia</i>	2954	
		<i>Crucigeniella</i>	3370	
		<i>Dictyosphaerium</i>	13166	
		<i>Kirchneriella</i>	55744	
		<i>Monoraphidium</i>	62795	
		<i>Oocystis</i>	1248	
		<i>Pediastrum</i>	749	
		<i>Scenedesmus</i>	10192	
		<i>Selenastrum</i>	374	
		<i>Tetraedron</i>	749	
		<i>Tetrastrum</i>	749	
		Tetrasporales	<i>Apiocystis</i>	250
		Microsporales	<i>Microspora</i>	21507
		Ulotrichales	<i>Desmococcus</i>	4867
			<i>Ulothrix</i>	873
		Desmidiales	<i>Cosmarium</i>	4826
			<i>Staurastrum</i>	374



DIVISIÓN	ORDEN	GENERO	CEL/mL
CYANOPHYTA	Chroococcales	<i>Chroococcus</i>	169582
		<i>Merismopedia</i>	5158
		<i>Microcystis</i>	21258
	Oscillatoriales	<i>Oscillatoria</i>	37814
		<i>Spirulina</i>	1248
		<i>Anabaena</i>	1747
	Nostocales	<i>Anabaenopsis</i>	749
		<i>Nostoc</i>	4722
BACILLARIOFITA	Centrales	<i>Cyclotella</i>	998
		<i>Stephanodiscus</i>	9838
	Pennales	<i>Achnanthes</i>	250
		<i>Anomoeoneis</i>	250
		<i>Caloneis</i>	250
		<i>Cymatopleura</i>	998
		<i>Cymbella</i>	998
		<i>Denticula</i>	250
		<i>Epithemia</i>	250
		<i>Fragillaria</i>	4451
		<i>Gomphonema</i>	1997
		<i>Gyrosigma</i>	998
		<i>Hantzschia</i>	7654
		<i>Navicula</i>	3453
		<i>Neidium</i>	1498
		<i>Nitzschia</i>	2371
		<i>Pinnularia</i>	832
		<i>Rhoicosphenia</i>	250
		<i>Stauroneis</i>	998
		<i>Surirella</i>	1996
<i>Synedra</i>	1498		
EUGLENOFITA	Euglenales	<i>Euglena</i>	5158
		<i>Phacus</i>	25480
		<i>Trachelomonas</i>	499
XANTOFITA	Mischococcales	<i>Bumilleriopsis</i>	7509
		<i>Goniochloris</i>	749



Variación de los principales géneros fitoplanctónicos según su división a lo largo del tiempo

Como se puede apreciar en la figura 14 la variación de las clorofitas está dominada principalmente por *Chlorella* siendo el género más representativo de esta división, los cuatro géneros restantes fluctuaron a lo largo del tiempo, presentando una tendencia a incrementar en los meses secos cálidos.

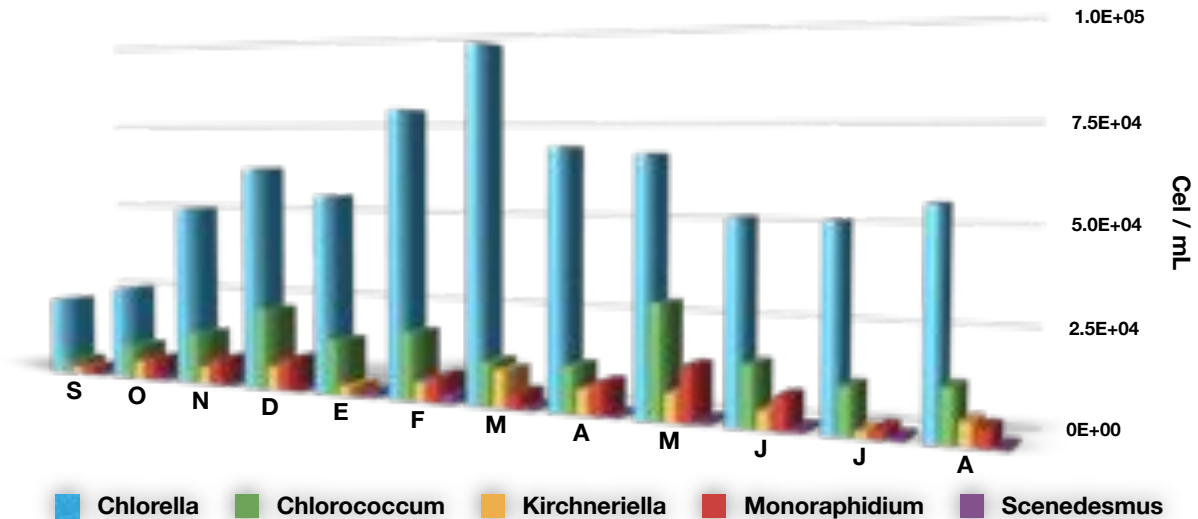


Figura 14. Variación de los principales géneros de clorofitas en "Amate amarillo", Morelos

En la figura 15 el género más representativo y abundante de las cianofitas fueron *Chroococcus* y en seguida de este, fue *Oscillatoria* siendo el menos abundante *Microcystis*.

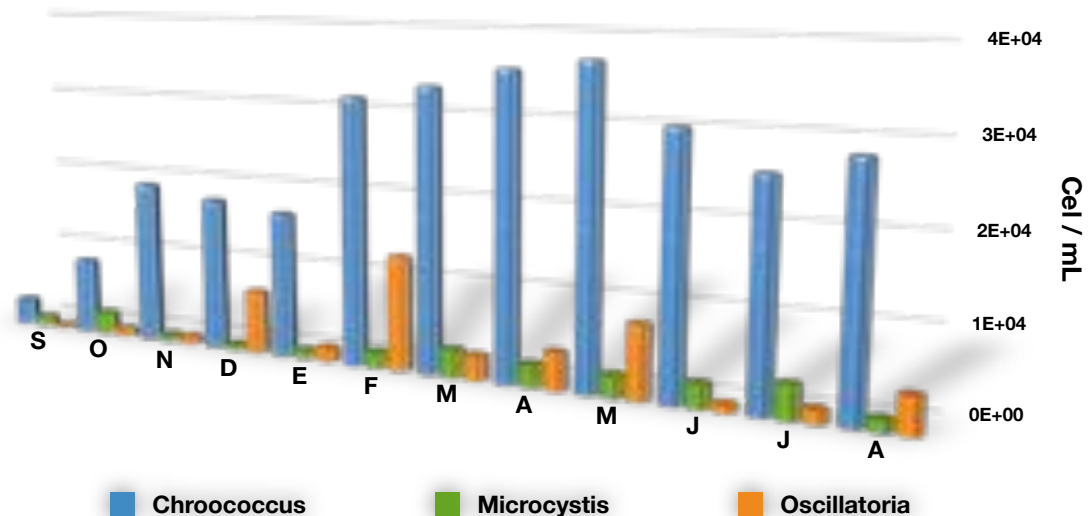


Figura 15. Variación de los principales géneros de cianofitas en "Amate amarillo", Morelos



En el caso de la gráfica 16 se observa que *Stephanodiscus* es el más representativo de la división Bacillariophyta a excepción de los meses septiembre y mayo que fue cuando el género *Fragillaria* presentó mayor abundancia.

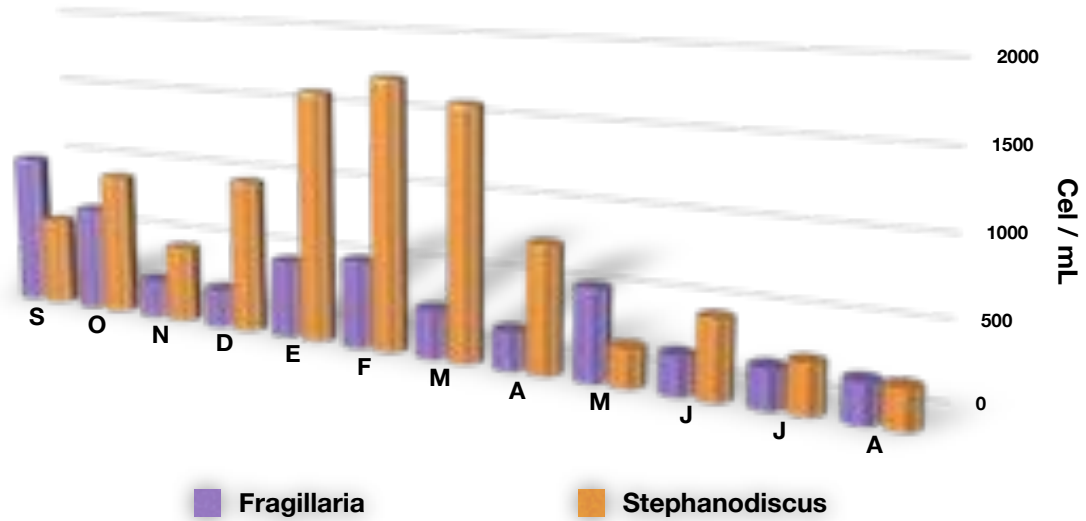


Figura 16. Variación de los principales géneros de bacilariofitas en “Amate amarillo”, Morelos

En el caso de la división Euglenophyta (figura 17), *Phacus* fue el más abundante y por ello el más representativo a lo largo del estudio.

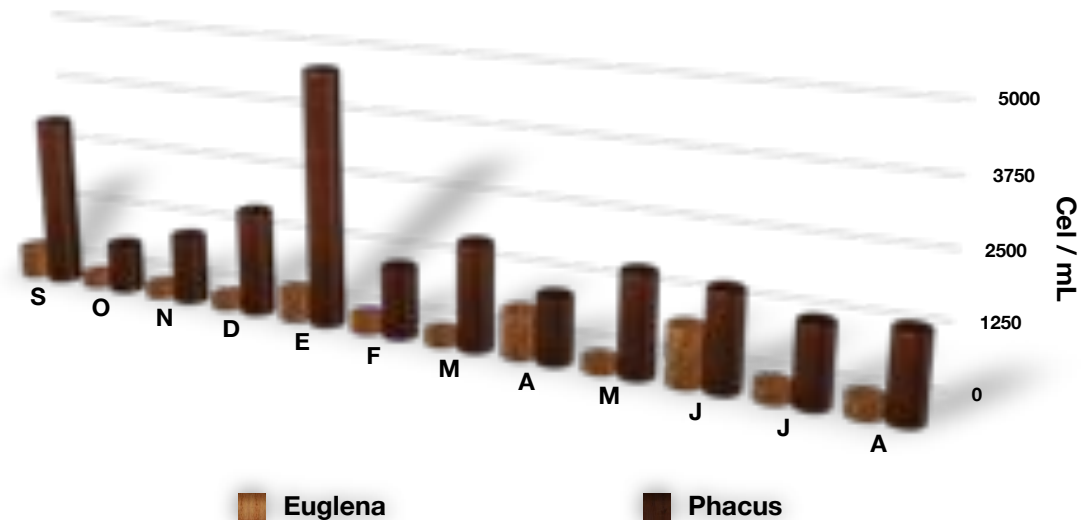


Figura 17. Variación de los principales géneros de euglenofitas en “Amate amarillo”, Morelos



Test de asociación de Olmstead y Tukey de los géneros fitoplanctónicos en el sistema Amate amarillo a lo largo del estudio

En seguida se muestra el diagrama de asociación (figura 18) de Olmstead y Tukey con los géneros fitoplanctónicos registrados en el sistema Amate amarillo. Los géneros se agruparon según su abundancia y frecuencia en cuatro categorías (tabla 6): Raras, Ocasionales, Constantes y Dominantes. Mencionando algunos de los géneros raros son: *Achnanthes*, *Anomoeoneis*, *Staurastrum*, *Pediastrum*, *Closteriopsis*, *Chlorochytrium*, *Ulothrix*, *Tetraedron*, *Oocystis*, *Cyclotella* y *Synedra*; mientras que en los ocasionales se tienen por ejemplo a: *Hantzschia* y *Cosmarium*; géneros constantes se mencionan a: *Surirella* y *Synedra*; y finalmente los dominantes que son los organismos más abundantes y frecuentes a lo largo del estudio, mencionando algunos de ellos como: *Chlorella*, *Chroococcus*, *Chlorococcum*, *Monoraphidium*, *Kirchneriella*, *Oscillatoria*, *Phacus*, *Scenedesmus*, *Microcystis*, *Dictyosphaerium*, *Euglena*, *Bumelloriopsis*, *Merismopedia*, *Ankistrodesmus*, *Desmococcus*, *Crucigeniella*, *Crucigenia* y *Fragilaria*.

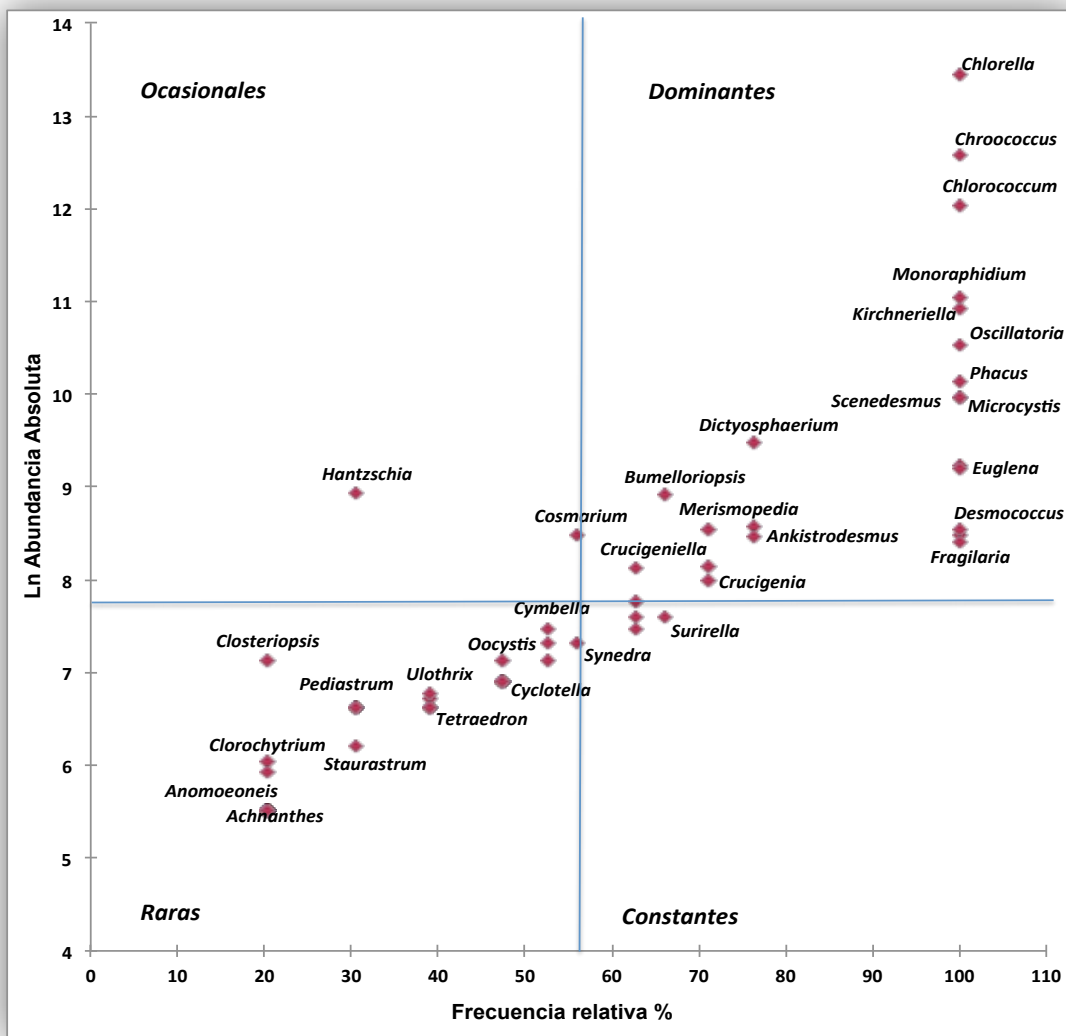


Figura 18. Diagrama de asociación de Olmstead y Tukey, Amate amarillo, Morelos



Tabla 6. Composición y categoría (D=Dominantes, C=Constantes, O=Ocasionales, R = Raras) del fitoplancton en el bordo Amate amarillo, Morelos

Genero	Categoría	Genero	Categoría
<i>Achnanthes</i>	R	<i>Gyrosigma</i>	R
<i>Actinastrum</i>	R	<i>Hantzschia</i>	O
<i>Anabaena</i>	C	<i>Kirchneriella</i>	D
<i>Anabaenopsis</i>	R	<i>Merismopedia</i>	D
<i>Ankistrodesmus</i>	D	<i>Microcystis</i>	D
<i>Anomoeoneis</i>	R	<i>Microspora</i>	D
<i>Apiocystis</i>	R	<i>Monoraphidium</i>	D
<i>Botryosphaerella</i>	R	<i>Navicula</i>	D
<i>Bumilleriopsis</i>	D	<i>Neidium</i>	R
<i>Caloneis</i>	R	<i>Nitzschia</i>	C
<i>Chlorella</i>	D	<i>Nostoc</i>	D
<i>Chlorochytrium</i>	R	<i>Oocystis</i>	R
<i>Chlorococcum</i>	D	<i>Oscillatoria</i>	D
<i>Chroococcus</i>	D	<i>Pediastrum</i>	R
<i>Closteriopsis</i>	R	<i>Phacus</i>	D
<i>Coelastrum</i>	R	<i>Pinnularia</i>	R
<i>Cosmarium</i>	O	<i>Rhoicosphenia</i>	R
<i>Crucigenia</i>	D	<i>Scenedesmus</i>	D
<i>Crucigeniella</i>	D	<i>Selenastrum</i>	R
<i>Cyclotella</i>	R	<i>Spirulina</i>	R
<i>Cymatopleura</i>	R	<i>Staurastrum</i>	R
<i>Cymbella</i>	R	<i>Stauroneis</i>	R
<i>Denticula</i>	R	<i>Stephanodiscus</i>	D
<i>Desmococcus</i>	D	<i>Surirella</i>	C
<i>Dictyosphaerium</i>	D	<i>Synedra</i>	R
<i>Epithemia</i>	R	<i>Tetraedron</i>	R
<i>Euglena</i>	D	<i>Trachelomonas</i>	R
<i>Fragilaria</i>	D	<i>Tetrastrum</i>	R
<i>Gomphonema</i>	C	<i>Ulothrix</i>	R
<i>Goniochloris</i>	R		



Índice del estado trófico para el Amate amarillo

Tabla 7. Variación del Índice del Estado Trófico (IET)

	IET disco de Secchi	IET clorofila "a"	IET de fósforo total	IET PROMEDIO
SEPTIEMBRE	73.21	58.54	94.05	75.27
OCTUBRE	73.21	59.49	105.74	79.48
NOVIEMBRE	78.67	63.28	97.30	79.75
DICIEMBRE	78.67	63.67	92.38	78.24
ENERO	71.17	61.43	88.14	73.58
FEBRERO	70.91	59.00	95.44	75.12
MARZO	72.36	61.45	91.82	75.21
ABRIL	77.86	67.49	87.04	77.46
MAYO	75.14	69.38	78.94	74.49
JUNIO	77.86	68.51	102.68	83.01
JULIO	79.43	64.09	102.37	81.97
AGOSTO	72.36	65.89	100.56	79.60

Como se puede observar en la tabla 7, la visibilidad y la concentración de fósforo total son los que repercuten más en el IET para este sistema, el valor de IET promedio es de 79.03, esto quiere decir que el sistema se encuentra en un estado eutrófico con tendencias a ser hipereutrófico. Los valores de IET promedio a lo largo de los doce meses va disminuyendo ligeramente de septiembre a abril, esto es debido a que en la época de lluvias el aporte del fósforo era mayor que en la época de secas siendo este uno de los elementos a considerar ya que tiene una gran repercusión en IET promedio de este cuerpo de agua. También se contempla que la visibilidad al disco de Secchi se mantuvo más o menos constante con solo pequeñas variaciones en los meses en que se vaciaba de más el sistema, esto quiere decir, que al tener menos volumen de agua en el bordo se incrementaba la concentración de la materia particulada suspendida (orgánica e inorgánica).



La visibilidad al disco de Secchi y la cantidad de clorofila "a" son dos parámetros que se encuentran estrechamente relacionados pero de forma inversa, ya que esta última es producto de la abundancia del fitoplancton presente en el sistema, por lo cual afecta la transparencia (figura 19).

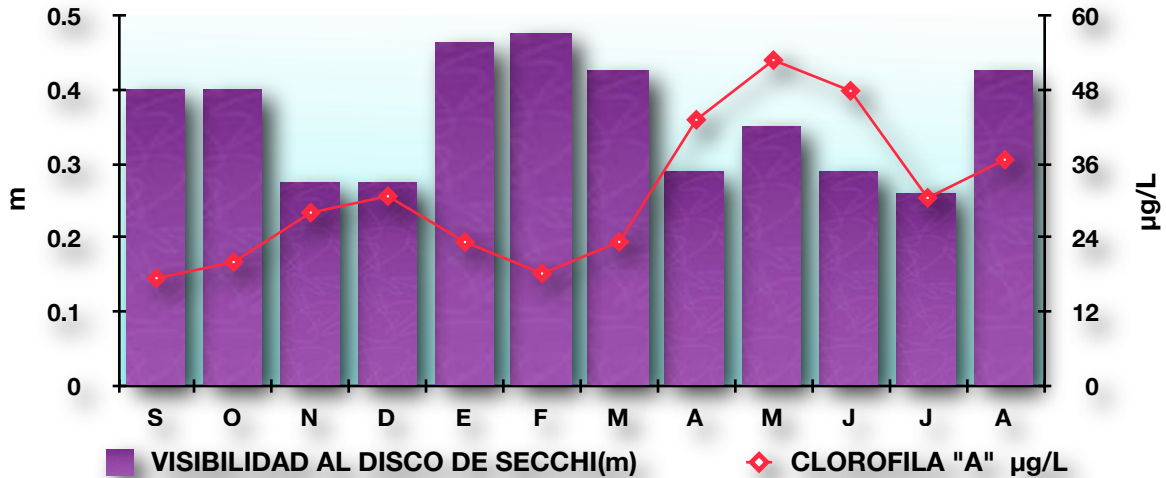


Figura 19. Visibilidad y clorofila "a" del bordo "Amate amarillo"

En cuanto al IET, este se ve más influenciado por el fósforo presente en el sistema, por lo que se puede decir que el principal factor de eutrofización en el sistema es el fósforo, debido al gran aporte de nutrientes alóctonos que recibe el bordo Amate amarillo en la época de lluvias, ocurriendo lo contrario a lo que se esperaba ya que el IET es más elevado en la época de lluvias que en la de secas (figura 20); es decir, en la fase de concentración del sistema en los meses secos, este índice disminuye, por lo cual la visibilidad (disminuye en la fase de concentración) y la clorofila (incrementa en la fase de concentración) no son de tanto peso en este índice establecido por Carlson (1977).

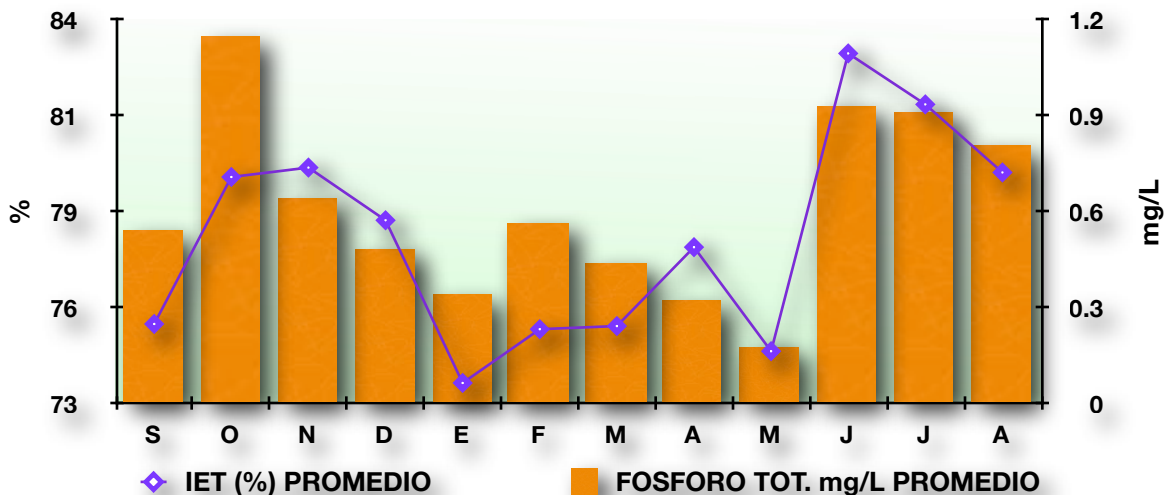


Figura 20. Índice del estado Trófico (IET) y fósforo total del bordo "Amate amarillo"



Caracterización del sistema Amate amarillo

Para poder caracterizar este cuerpo de agua con base en la clasificación descrita por Lewis (1983), se llevó a cabo un estudio de 24 horas (ciclo nictimeral), evaluando a lo largo de la columna de agua la temperatura y la concentración del oxígeno disuelto y así identificar si se presentaba estratificación en el sistema y que tanto duraba; además de identificar los periodos de mezcla en el sistema. Para esto se realizó un monitoreo cada tres horas durante 24 horas, en la época de secas como en la de lluvias, en los meses de abril y agosto respectivamente.

En la figura 21, se puede observar como la estratificación térmica comienza a formarse a partir de las 12:00 h momento en el que la incidencia del sol es directa y el calentamiento de las aguas superficiales empieza a aumentar, formando una estratificación que se puede apreciar en las lecturas de temperatura a las 15:00 h y 18:00 h, donde la diferencia de más de 1°C de temperatura se registró entre 0.5 m y 1 m de profundidad, por lo cual se infiere que en esos momentos el sistema se encuentra estratificado con la presencia de una termoclina en el intervalo de profundidad antes mencionado.

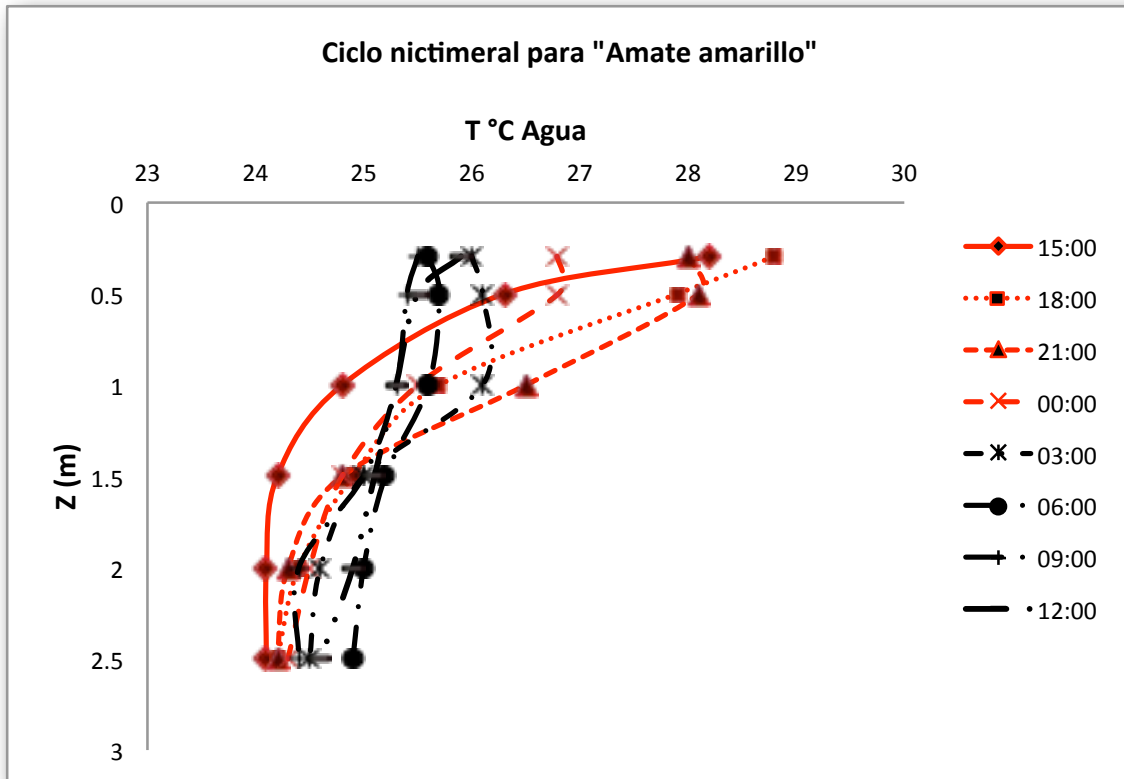


Figura 21. Ciclo nictimeral de la temperatura del agua en el "Amate amarillo", 10 de abril del 2010



En la figura 22, el oxígeno presentó el comportamiento de una curva clinógrada típica de cuerpos de agua eutróficos, se puede apreciar que a lo largo del ciclo, el oxígeno va disminuyendo de la superficie al fondo, y se llegan a formar ligeramente curvas heterógradas positivas entre las 15:00 h y las 21:00 h, presentándose una curva heterógrada negativa a las 06:00 h, esto es debido a que en el sistema hay una circulación del agua causada por los vientos. Se observa también la disminución de la concentración de oxígeno en la superficie conforme transcurre el día y la noche, ocurriendo un máximo de 14.9 mg/L a las 18:00 h y una concentración mínima de oxígeno de 6.4 mg/L a las 06:00 h debido a la inactividad fotosintética de los organismos fotosintéticos que ocurre en la noche, ya que en esas horas de ausencia de luz también el oxígeno es consumido por los organismos que dependen de él.

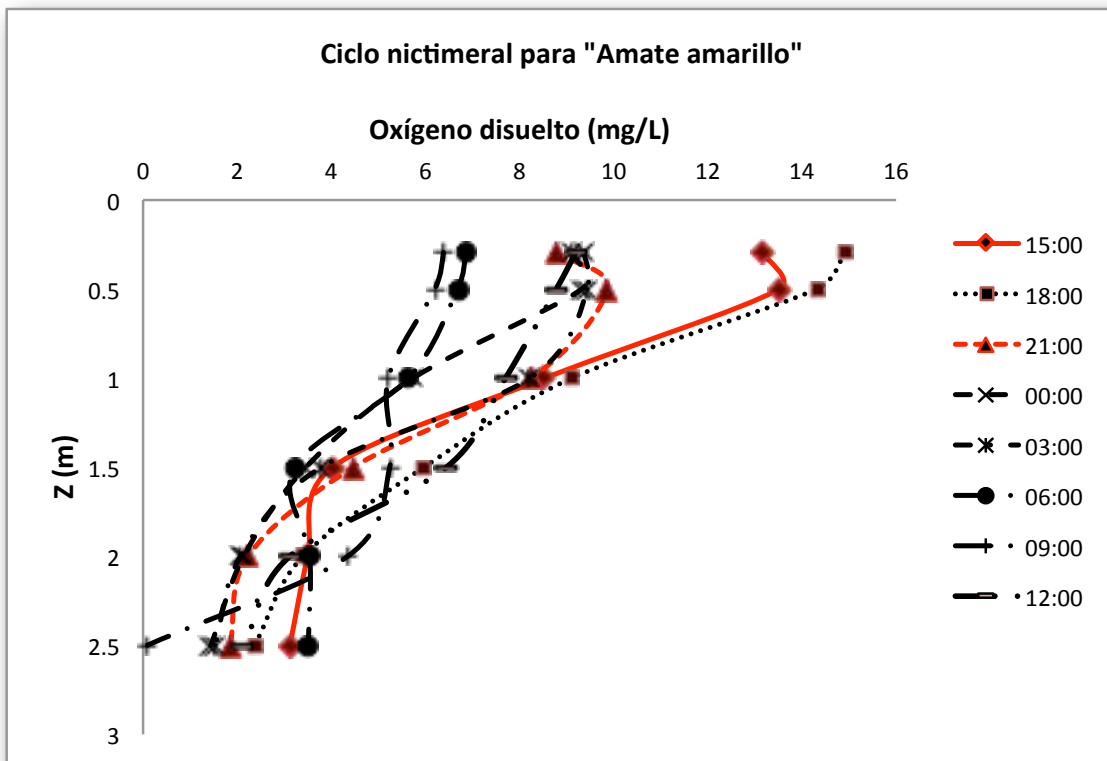


Figura 22. Ciclo nictimeral del oxígeno disuelto en el "Amate amarillo", 10 de abril del 2010

Esta estratificación se ve interrumpida por los procesos de convección del agua de mayor temperatura y el agua fría que se encuentra en la parte inferior, además de que el viento juega un papel importante en la circulación del agua formando secas que participan también en la mezcla del sistema. Por lo tanto, este sistema se comporta como un cuerpo de agua cálido polimíctico discontinuo (Lewis, 1983), ya que en el día se estratifica y en la noche se produce la mezcla del agua a lo largo de la columna.



También se puede observar en la figura 23 como se presenta la estratificación térmica entre las 12 y las 18 h y posteriormente un periodo continuo de mezcla, además de que el viento juega un papel importante en la circulación del agua formando secas que participan también en la mezcla del sistema, las lluvias que se presentan en esta época también interrumpen la formación de una estratificación en el sistema.

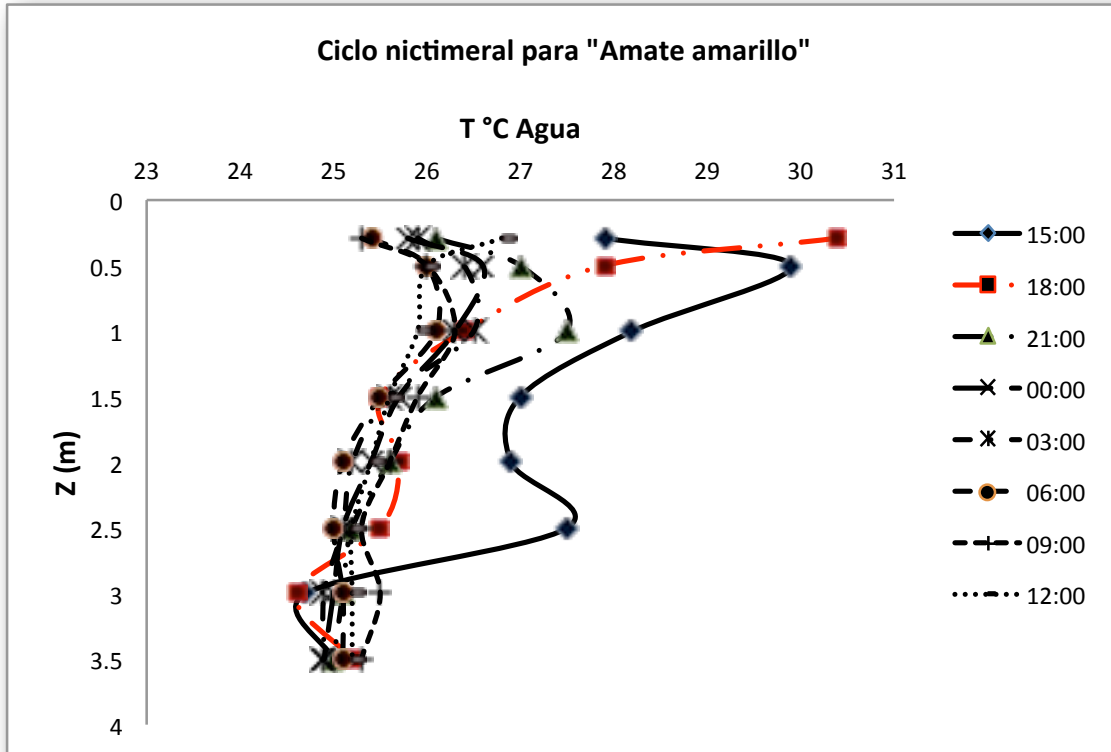


Figura 23. Ciclo nictimeral de la temperatura del agua en el "Amate amarillo", 28 de agosto del 2010

En la figura 24 se observa que el oxígeno presentó curvas clinógradas y heterógradas positivas; estas últimas son producto de la fotoinhibición de los organismos fitoplanctónicos generada por la incidencia de sol lo cual se aprecia en las curvas de las 9 y 12 horas, pero las otra curvas heterógradas positivas (3, 6 y 21 horas) se generaron a raíz de la mezcla que ocurre en el sistema, condición que predomina en el periodo de lluvias. Se observa también la disminución de la concentración de oxígeno en la superficie conforme transcurre el día y la noche, ocurriendo un máximo de 14.3 mg/L a las 18:00 h y una concentración mínima de oxígeno de 6.5 mg/L a las 06:00 h debido a la inactividad fotosintética de los organismos fitoplanctónicos que ocurre en la noche ya que en esas horas de ausencia de luz también el oxígeno es consumido por los organismos que dependen de él.

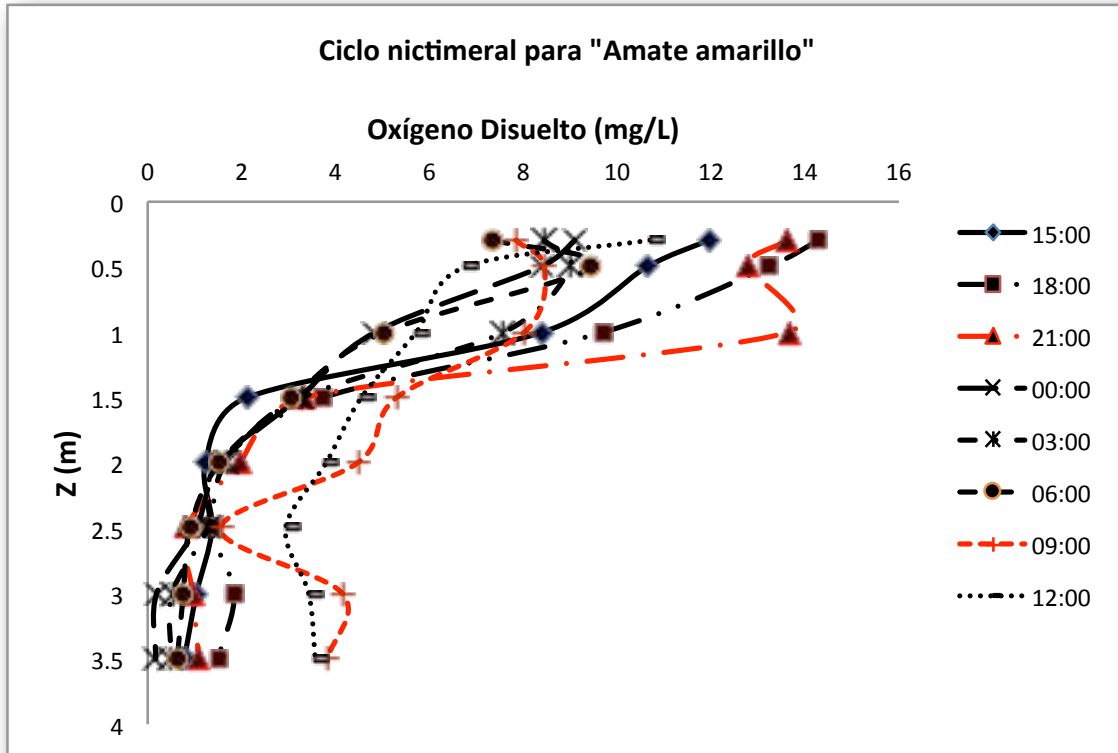


Figura 24. Ciclo nictimeral del oxígeno disuelto en el "Amate amarillo", 28 de agosto del 2010

Comparando los dos ciclos estudiados tanto en secas como en lluvias, se infiere que el sistema registra estratificaciones en la época de secas las cuales desaparecen en el transcurso del día interrumpiendo la mezcla generada en la noche y en las horas de menor incidencia solar. Durante la época de lluvias se observa que la formación de una termoclina duradera es inapreciable, manteniendo un periodo de mezcla continuo. Por lo cual, este sistema se comporta como un cuerpo de agua cálido polimíctico discontinuo en ambas épocas del año que se realizó el estudio y posiblemente durante todo el año de acuerdo a lo propuesto por Lewis (1983).



MORFOMETRÍA Y BATIMETRÍA DE EL SISTEMA LA PALAPA

La forma del sistema influye sobre los parámetros físicos, químicos, los nutrimentos y los organismos. En el mapa Batimétrico (figura 25) se pueden observar tres entradas de agua en la parte superior, una pequeña salida de agua en la parte inferior derecha cuando el sistema se encuentra en su máximo nivel y es por donde se vierte el excedente del agua, así como una compuerta que se ubica en la parte inferior y en medio que sirve para regular el nivel de agua en función de la necesidad de los cultivos; la forma es triangular alargada (como la de un triángulo isósceles). El mapa muestra además las distintas profundidades (isóbatas), que a diferencia del Amate amarillo, es más profundo, ya que la batimetría fue realizada en el mes de octubre del 2010.

A partir de la construcción del Mapa Batimétrico se procedió a determinar los parámetros morfométricos, estos se pueden apreciar en la tabla 8.

Tabla 8. Características morfométricas del bordo la Palapa, Mor

MORFOMETRÍA Y BATIMETRÍA DE "LA PALAPA"		
	SÍMBOLO	VALOR
Longitud máxima (m)	l	320
Anchura máxima (m)	b	159
Anchura media (m)	\bar{b}	109.13
Longitud del litoral (m)	L	851.2
Área (m ²)	A	34920
Volumen (m ³)	V	41090.67
Desarrolló litoral	D_L	1.28
Desarrolló del volumen	D_V	1.31
Profundidad máxima (m)	Z_m	2.7
Profundidad media (m)	\bar{Z}	1.18
Profundidad relativa (%)	Z_r	1.28
Relación $\bar{Z}: Z_m$	$\bar{Z}: Z_m$	0.44

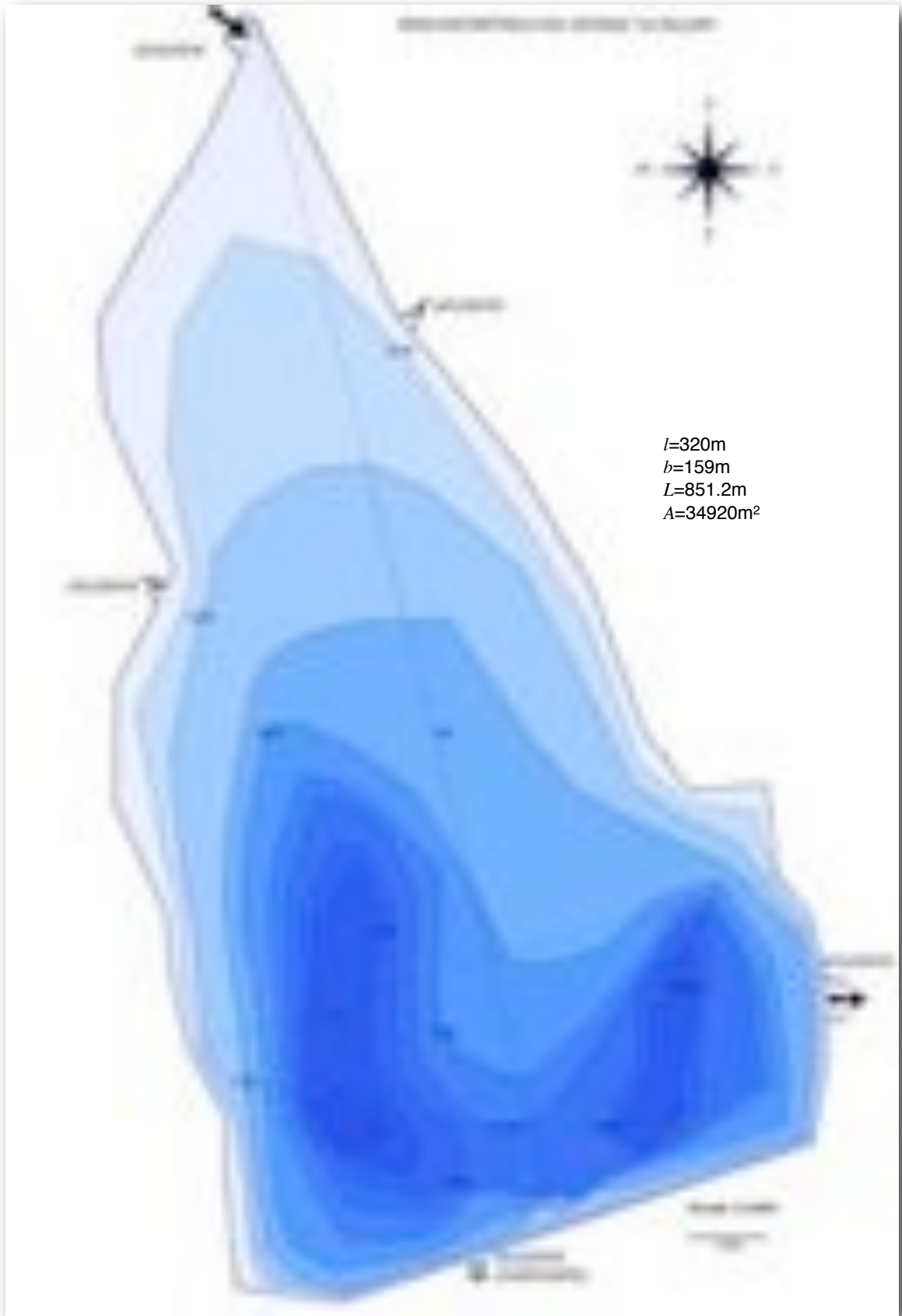


Figura 25. Mapa realizado en el mes de octubre del 2010



Las curvas hipsográficas representan la proporción relativa de la forma del fondo de la Palapa, incluida entre los estratos considerados. En el microreservorio la Palapa la productividad biológica también es elevada aunque muestra una menor superposición de las zonas de producción fotosintéticas y de descomposición principalmente durante la época de lluvia, con respecto al microembalse Amate amarillo. Asimismo, posee una cantidad de agua considerable de acuerdo al área que presenta. En la figura 26 se aprecia como poco más de 1 ha no rebasa el metro de profundidad, el valor registrado para la zona fótica en la cual se lleva a cabo la producción, es de 1.012 m que corresponde también a casi el 37.5% de la profundidad total.



Figura 26. Curva hipsográfica absoluta del fondo la Palapa



En la curva hipsográfica relativa se puede ver la representación de la relación que tiene la superficie del sistema con su profundidad, a pesar de ser más profundo que el Amate amarillo se trata de un sistema somero con una gran superficie (área). La forma de la curva relativa es ligeramente convexa (figura 27).

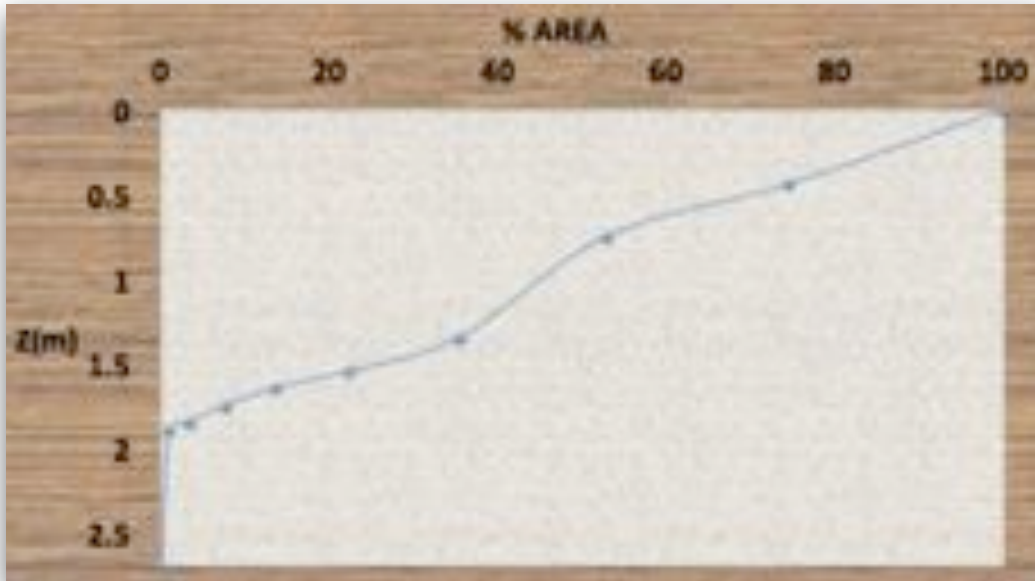


Figura 27. Curva hipsográfica relativa para el bordo la Palapa

En cuanto a la curva de profundidad-volumen (figura 28), esta muestra la relación que hay entre el volumen del sistema y su profundidad, el cual es menor con respecto al área del sistema, poco menos del 50% de la extensión del sistema es menor a un metro, o sea que menos de 30,000 m³ de agua tienen una estrecha relación con el sedimento, a diferencia del sistema Amate amarillo.

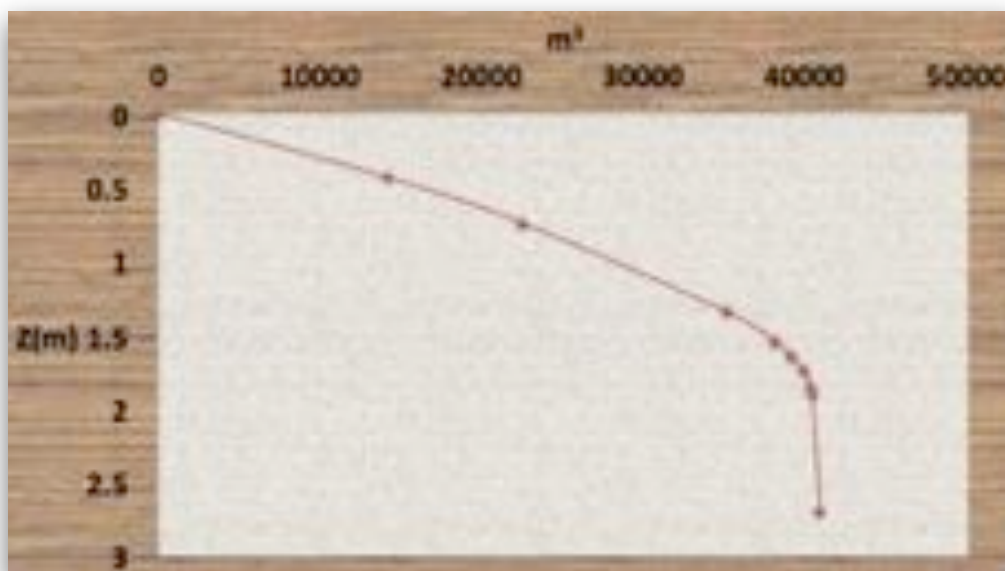


Figura 28. Curva absoluta de profundidad-volumen para el bordo la Palapa



PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIÓTICOS DE “LA PALAPA”

Tabla 9. Parámetros físicos, químicos, nutrimentos, clorofila “a” e IET del bordo la Palapa

Parámetros	Máxima	Promedio	Mínima
Temperatura H2O (°C)	29.95	25.77	21.6
Temperatura ambiente (°C)	31.2	25.6	20
Temperatura media mensual °C	26.08	22.14	18.2
Profundidad (m)	3.6	2.45	1.3
Transparencia (m)	0.50	0.35	0.21
Oxígeno disuelto (mg/L)	13.85	8.51	3.17
Alcalinidad total (mg/L)	185	119.37	53.75
Dureza total (mg/L)	680.18	539.98	399.77
pH	8.76	8.13	7.50
Nitratos (mg/L)	0.762	0.403	0.044
Nitritos (mg/L)	0.012	0.006	0.000
Amonio (mg/L)	0.777	0.433	0.088
Ortofosfatos (mg/L)	0.585	0.296	0.006
Fósforo total (mg/L)	1.386	0.742	0.098
Silicatos (mg/L)	45.39	23.27	1.14
Sulfatos (mg/L)	150.99	88.44	25.90
Clorofila "a" (µg/L)	93.13	54.84	16.55
Índice del Estado Trófico	83.41	79.82	76.22
Dureza Cálcica (mg/L)	511.26	286.04	60.81
Sólidos totales	2.14	1.19	0.22
Sólidos Totales Disueltos	764	604.75	445.5
Precipitación (mm)	305.4	152.7	0.00

En la tabla 9 se muestran los valores máximos y mínimos promedio de ambas estaciones. El valor mínimo de temperatura que se registró en este sistema fue en el mes de febrero con 21.4 °C en la estación uno y el máximo ocurrió en el mes de junio con 30.00 °C en la estación dos. La profundidad mínima que se registro en este sistema fue de 1.15 m en el mes de diciembre en la estación dos y la máxima en el mes de octubre con 4 m en la estación uno. En el caso de la transparencia los valores fueron similares en ambas estaciones y se mantuvieron más o menos uniformes durante el ciclo anual. Con respecto a los valores obtenidos para el Índice del Estado Trófico se puede ver que se trata de un sistema eutrófico, con tendencia a la hipereutrofia.



A continuación se muestran las gráficas de cada uno de los parámetros obtenidos en el sistema la Palapa, haciendo hincapié en las relaciones que tienen.

Oxígeno y temperatura del agua

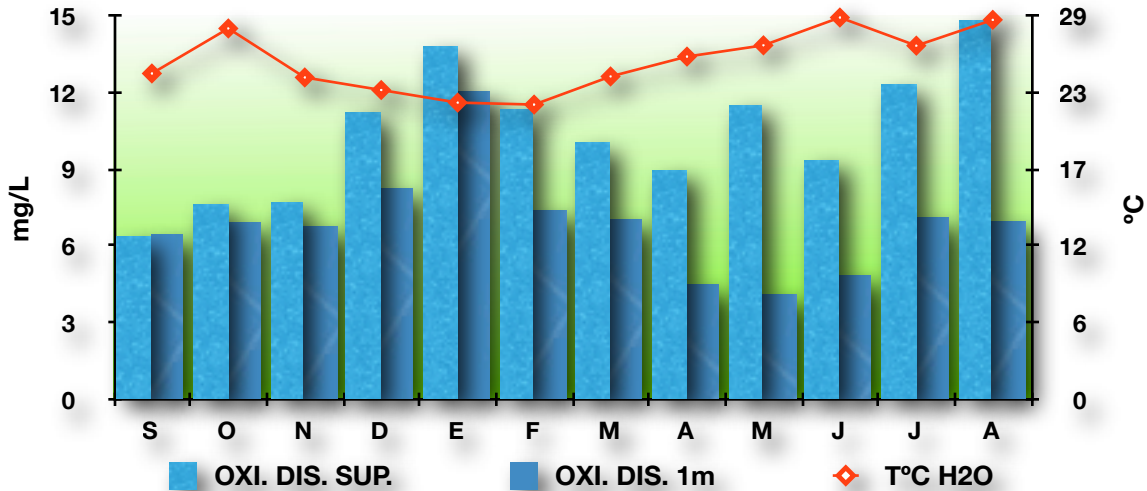


Figura 29. Relación del oxígeno y la temperatura promedio del sistema "la Palapa"

Como se observa en la figura 29, en la Palapa el oxígeno disuelto (OD) si mostró una diferencia significativa ($W=53.0$; $P<0.05$) entre la superficie y el fondo pero con valores similares en el mismo estrato para cada estación, además de que la variación de la concentración de OD en el tiempo tanto en superficie como en el fondo presentaron la misma tendencia en los meses en que disminuía la temperatura del agua así como en los que esta incrementaba. Esta diferencia de concentración de OD en el agua en superficie y a un metro se debe a la poca perturbación que presenta el sistema, contrario a lo que se observó en el sistema Amate amarillo el cual presentaba una mayor actividad pesquera, impidiendo una estratificación de este elemento. la concentración de oxígeno en la Palapa fue incrementando con el correr de los meses, esto es debido a que la concentración o abundancia de los organismos fitoplanctónicos también fue en aumento. La concentración de oxígeno tiene una estrecha relación con la variación de la temperatura del agua encontrándose altas concentraciones de oxígeno en los meses secos fríos, pero a diferencia del sistema Amate amarillo, en los meses de lluvia de junio, julio y agosto la concentración de oxígeno se incremento sin tener ninguna influencia negativa por parte de las altas temperaturas del agua. Lo que indica buenas condiciones para los organismos que habitan en él. Se realizó una prueba de t-student a los datos obtenidos de la estación 1 y 2 con respecto a la temperatura y el oxígeno (E1 sup., E2 sup. y E1 1m, E2 1m) y se encontró que para los valores de temperatura entre estaciones no había diferencia significativa entre las medias ($t\text{-student}=0.2428$; $P>0.05$). Para el caso de los valores obtenidos de oxígeno entre estaciones (E1 y E2) en superficie ($t\text{-student}=0.8773$; $P>0.05$) y a



un metro de profundidad ($t\text{-student}=0.6473$; $P>0.05$), tampoco se registró diferencia significativa entre la dos muestras.

Alcalinidad total, dureza total y pH

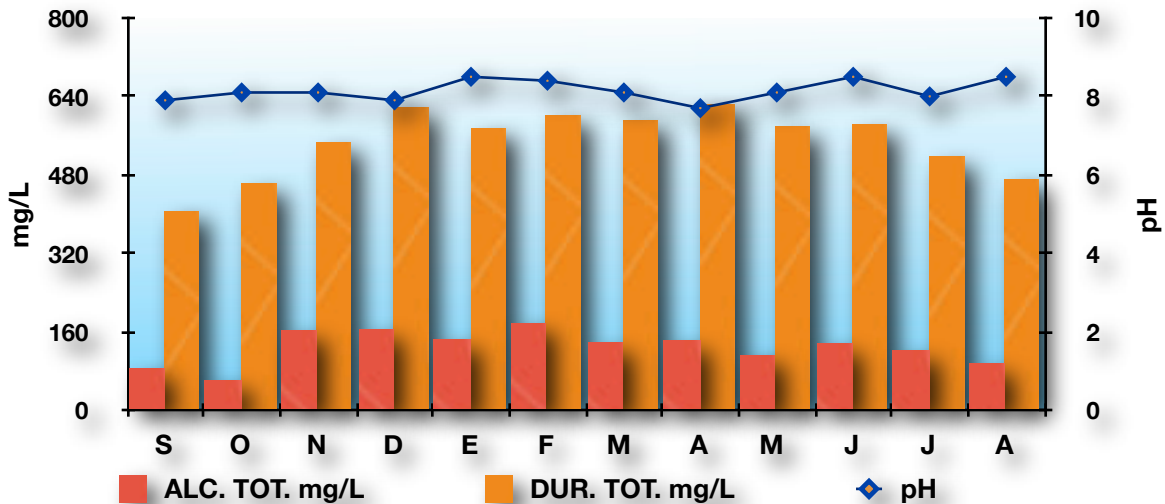


Figura 30. Relación del pH, Dureza Total y Alcalinidad Total promedio del sistema "la Palapa"

En la figura 30 se aprecia que en la Palapa los valores de pH (7.6 a 8.5) lo hacen un sistema ligeramente alcalino; además, los valores de alcalinidad total entre 51.2 mg/L y 181.2 mg/L al igual que el Amate amarillo indican que la Palapa se encuentra en condiciones de alta productividad. La variación de la concentración de la dureza total estuvo relacionada con el periodo de lluvias y de seca encontrándose una concentración mínima en lluvias (405.97 mg/L) y un máximo en la época de secas (623.87 mg/L).

Este comportamiento se puede observar similar en ambas estaciones. Se realizó una prueba t-student para cada parámetro; los valores obtenidos para la alcalinidad en ambas estaciones fue de $t\text{-student}=-0.1491$ ($P>0.05$) por lo que no hay diferencia significativa entre las dos estaciones, para la dureza total se obtuvo una $t\text{-student}=0.1595$ ($P>0.05$) por lo que tampoco existe diferencia significativa entre las dos estaciones. Por último, para los valores de pH se obtuvo una $t\text{-student}=0.09193$ ($P>0.05$) por lo que no hay diferencia significativa entre las dos estaciones.



Fósforo total, ortofosfatos y sulfatos

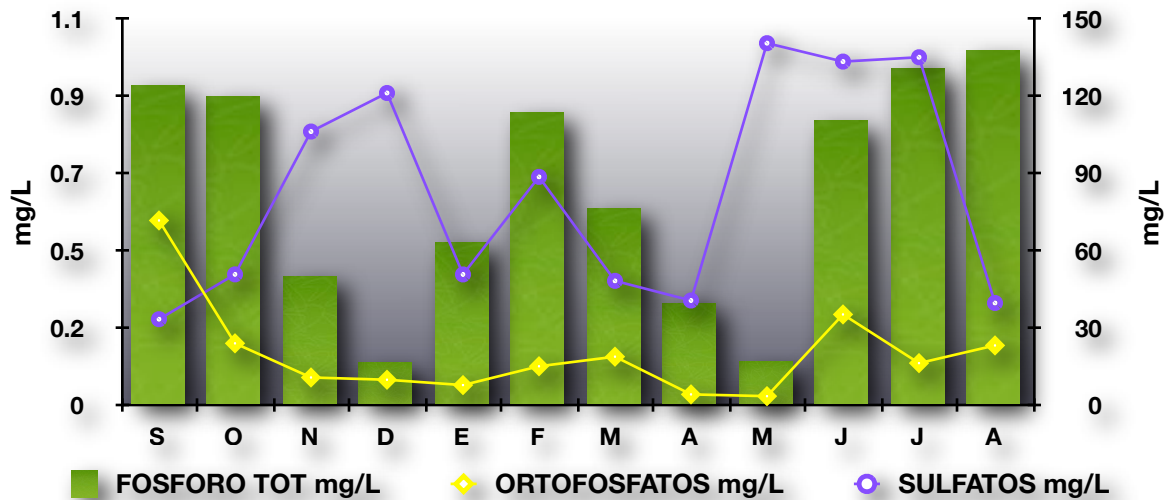


Figura 31. Relación del fósforo total, ortofosfatos y sulfatos promedio del sistema "la Palapa"

Las concentraciones de ortofosfatos (figura 31) en este sistema tienden a disminuir cuando incrementa la densidad fitoplanctónica, regido principalmente por la ausencia y presencia de lluvias los cuales oscilaron entre 0.01 y 0.55 mg/L. La concentración de fósforo total mínima registrada fue de 0.12 mg/L para el mes de diciembre y la concentración máxima de 0.92 mg/L en septiembre. En este sistema también los sulfatos sostienen una relación con el fósforo, ya que ambos dependen de la cantidad de oxígeno disuelto, ya que según el oxígeno disuelto que se encuentra a lo largo de la columna de agua va en un gradiente de mayor a menor concentración, esto influye en el estado de oxidación del fósforo y el azufre.

El comportamiento de estos tres nutrientes parece ser igual en las dos estaciones. Por lo que se realizó una prueba t-student para el fósforo total entre ambas estaciones y se obtuvo una t-student=0.0756 ($P>0.05$) por lo que no hay diferencia significativa entre las dos estaciones. Para los valores de ortofosfatos de cada estación se aplicó una prueba no paramétrica, ya que la distribución de los datos no eran normales y se le aplicó la prueba de Mann-Whitney obteniéndose una $W=9.0$ ($P>0.05$); por lo tanto, no existe diferencia significativa entre las estaciones. Por último, para los valores de sulfatos obtenidos en cada estación se obtuvo una t-student=0.1219 ($P>0.05$) por lo que tampoco mostraron diferencia significativa entre las estaciones.



Nitratos, nitritos y amonio

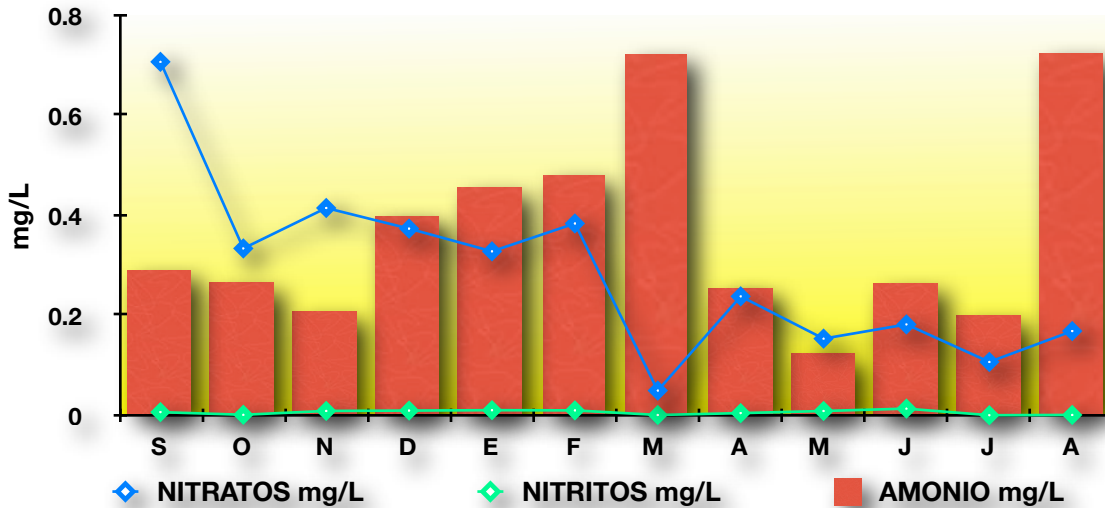


Figura 32. Relación de los diferentes formas químicas del nitrógeno promedio del sistema “la Palapa”

Los valores de amonio en el sistema (figura 32) fluctuaron entre 0.12 mg/L y 0.72 mg/L, los cuales se encuentran por debajo de los niveles tóxicos, aunque se observa que este nutrimento tiende a incrementarse en la época de secas cuando disminuye el volumen del sistema y la profundidad del mismo. En el caso de los nitratos estos tienen un comportamiento inverso al del amonio, que pasan desde una mayor concentración a una menor a lo largo del tiempo, esto puede deberse a que a partir del mes de diciembre la abundancia fitoplanctónica empieza a aumentar debido a que los nitratos son la forma asimilable del nitrógeno para los organismos algales.

La forma de nitrógeno que se encontró en bajas concentraciones fue el nitrito, con valores que oscilaron entre 0.0006 mg/L y 0.01 mg/L, ya que concentraciones elevadas o cercanas a 0.1 mg/L son tóxicas para la biota en un sistema acuático. También se realizó una prueba t-student para cada parámetro y para los valores obtenidos de nitratos tanto de la E1 como de la E2 se obtuvo una $t\text{-student} = -0.5522$ ($P > 0.05$) por lo que no hay diferencia significativa entre las estaciones. Para los valores de nitritos entre estaciones no existe diferencia significativa ($t\text{-student} = -0.3487$; $P > 0.05$). Por último, para los valores de amonio obtenidos entre estaciones se obtuvo una $t\text{-student} = -0.3524$ ($P > 0.05$) por lo que no se registraron diferencias significativas entre las dos estaciones.

Por lo tanto se puede decir que la estación uno y la estación dos del sistema “la Palapa” se están comportando de manera similar en época de lluvias y en época



de secas esto quiere decir que el sistema se comporta de forma homogénea y no hay diferencias significativas entre las estaciones.

Abundancia de fitoplancton y concentración de clorofila “a”

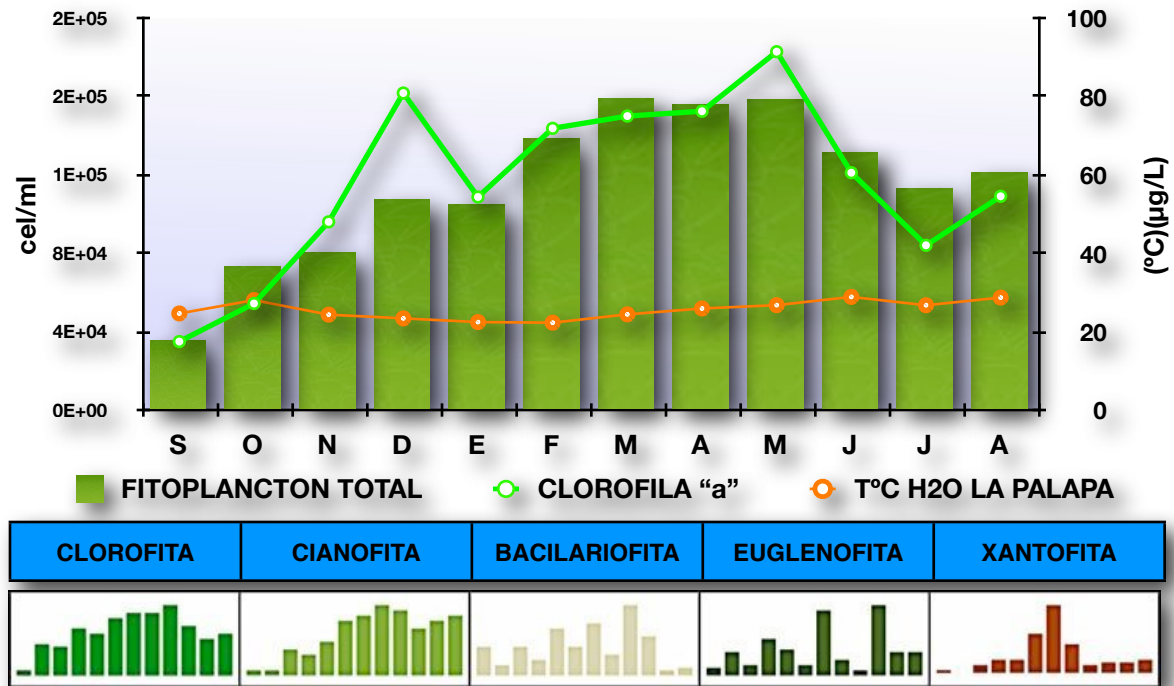


Figura 33. Proporción de los grupos fitoplanctónicos y su relación con la clorofila “a” promedio del sistema “la Palapa”

La abundancia de los organismos fitoplanctónicos registrados en los doce meses para la Palapa se puede ver en la figura 33, comparándola con las cantidades de clorofila “a”. Existe una correspondencia directa entre los volúmenes de fitoplancton con las concentraciones de clorofila “a”, aumentando y disminuyendo de manera directa; la tendencia que se puede observar es un aumento hacia los meses secos cálidos donde los organismos fitoplanctónicos alcanzan sus máximos niveles de abundancia aumentando con ello la producción de clorofila “a”, mientras que hacia los meses con lluvias y meses fríos se presenta una baja en la producción de clorofila “a” debido a que los organismos fotosintéticos tienden a disminuir y estar en menor proporción en este periodo. A diferencia del Amate amarillo, tanto las clorofitas, cianofitas, bacilariofitas, euglenofitas y xantofitas siguen el comportamiento anteriormente descrito.

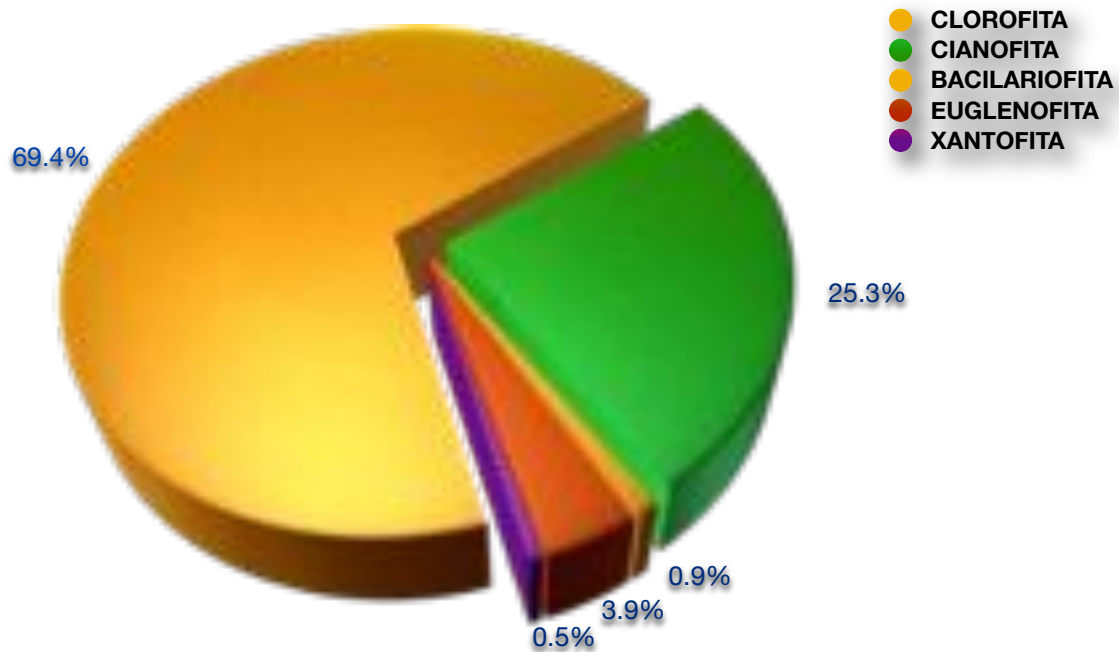


Figura 34. Principales divisiones fitoplanctónicas registradas para la Palapa

En cuanto a la proporción (figura 34), se registraron cinco grupos principales: Clorofita con 69.4%, Cianofita con 25.3%, Bacillariofita con 0.9%, Euglenofita con 3.9% y Xantofita 0.5%; presentando una clara dominancia por parte de las clorofitas. Estas últimas son las que aportan la mayor cantidad de clorofila "a" al sistema; la abundancia de estos organismos cambió a lo largo de los doce meses, pero sostuvo la tendencia de incrementar en la época de secas cuando hay una disminución del volumen y con ello una concentración del sistema. Se aplicó la prueba t-student con los datos obtenidos de la estación 1 y 2 con respecto a la clorofila "a" y la abundancia de fitoplancton y se encontró que los valores de clorofila para cada estación no mostraron diferencia significativa entre las medias ($t\text{-student}=0.6504$; $P>0.05$). Para el caso de los datos de la abundancia de fitoplancton en cada estación, el valor de $t\text{-student}=0.2394$ ($P>0.05$), por lo que tampoco hay diferencia significativa entre estaciones.



Silicatos y abundancia de bacillariophytas

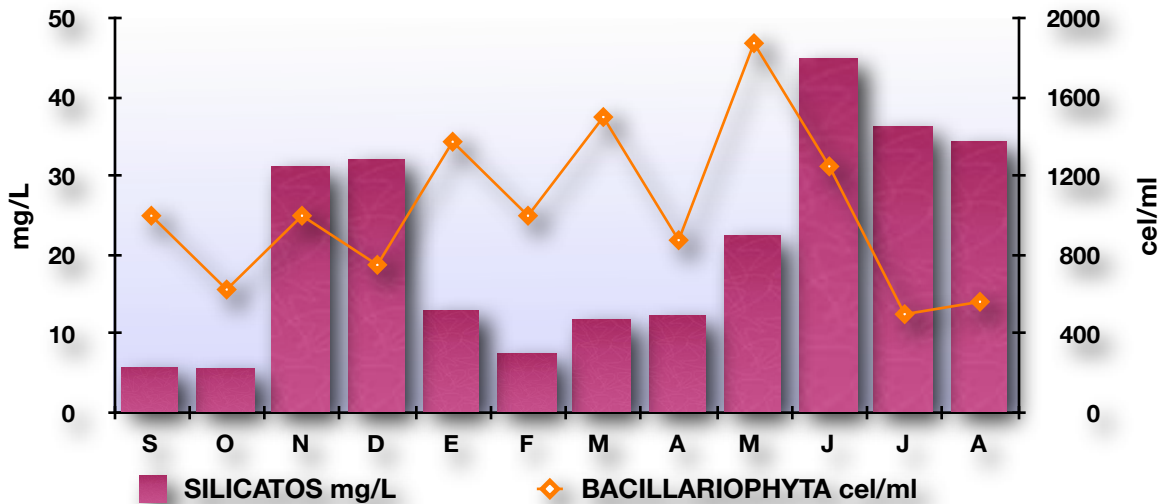


Figura 35. Relación de los silicatos y la abundancia de Bacillariophyta promedio del sistema “la Palapa”

En la figura 35, el silicio presente en el sistema está muy relacionado con la abundancia de ciertos organismos como las bacilariofitas, ya que estas contienen sílice en su estructura, construidas a partir de la deshidratación y polimerización del ácido silícico. Es por esto que a pesar de su poca reactividad química es de gran importancia para el ciclo de las diatomeas, ya que el comportamiento del silicio y la abundancia de las diatomeas que se observa en este sistema reflejan en gran medida la dinámica del flujo de sílice de los cuerpos de agua.

Se realizó una prueba de t-student para comparar la abundancia de bacilariofitas entre las estaciones, encontrándose que no registraron diferencia significativa entre las medias ($t\text{-student} = -1.25006$; $P > 0.05$). Para el caso de los valores obtenidos de la concentración de silicatos en cada estación se obtuvo un valor de $t\text{-student} = -0.1265$ ($P > 0.05$), por lo que tampoco hay diferencia significativa entre ambas estaciones, por lo que se puede inferir en cuanto a estos dos parámetros que no hay diferencia entre las dos estaciones.



Listado ficológico la Palapa

En la Tabla 10, en el bordo la Palapa para la división Chlorophyta se registraron 5 ordenes con 26 géneros, en la Cyanophyta se registraron 3 ordenes con 11 géneros, para la división Bacillariophyta se reportan 2 ordenes con 15 géneros, en la Euglenophyta se registró un orden con 3 géneros y por último, en la división Xantophyta se reporta un orden con 2 géneros.

Tabla 10. Clasificación de los organismos fitoplanctónicos registrados en el bordo la Palapa

DIVISIÓN	ORDEN	GENERO	CEL/mL
CHLOROPHYTA	Chlorococcales	<i>Actinastrum</i>	749
		<i>Ankistrodesmus</i>	4056
		<i>Botryosphaerella</i>	250
		<i>Chlorella</i>	620818
		<i>Chlorococcum</i>	159536
		<i>Closteriopsis</i>	250
		<i>Coelastrum</i>	749
		<i>Crucigenia</i>	3037
		<i>Crucigeniella</i>	1622
		<i>Dictyosphaerium</i>	19053
		<i>Kirchneriella</i>	50856
		<i>Monoraphidium</i>	50024
		<i>Oocystis</i>	1373
		<i>Pediastrum</i>	1498
		<i>Scenedesmus</i>	10483
		<i>Schroederia</i>	250
		<i>Tetraedron</i>	2330
		<i>Tetrastrum</i>	499
	Tetrasporales	<i>Apiocystis</i>	250
	Microsporales	<i>Microspora</i>	3494
	Ulotrichales	<i>Desmococcus</i>	4867
		<i>Ulothrix</i>	749
	Desmidiales	<i>Closterium</i>	749
		<i>Cosmarium</i>	2163
		<i>Pleurotaenium</i>	250
		<i>Staurastrum</i>	499
CYANOPHYTA	Chroococcales	<i>Chroococcus</i>	274664
		<i>Merismopedia</i>	4222
		<i>Microcystis</i>	21798
		<i>Rabdoderma</i>	2371



DIVISIÓN	ORDEN	GENERO	CEL/mL
CYANOPHYTA	Oscillatoriales	<i>Arthrospira</i>	250
		<i>Microcoleus</i>	250
		<i>Oscillatoria</i>	39166
		<i>Spirulina</i>	250
	Nostocales	<i>Anabaena</i>	3037
		<i>Anabaenopsis</i>	250
<i>Nostoc</i>		6843	
BACILLARIOFITA	Centrales	<i>Cyclotella</i>	874
		<i>Melosira</i>	250
		<i>Stephanodiscus</i>	4784
	Pennales	<i>Achnanthes</i>	250
		<i>Cocconeis</i>	624
		<i>Fragilaria</i>	4181
		<i>Gomphonema</i>	749
		<i>Gyrosigma</i>	499
		<i>Navicula</i>	2163
		<i>Neidium</i>	250
		<i>Nitzschia</i>	1498
		<i>Pinnularia</i>	1747
		<i>Stauroneis</i>	749
		<i>Surirella</i>	749
		<i>Synedra</i>	250
EUGLENOFITA	Euglenales	<i>Euglena</i>	13478
		<i>Phacus</i>	40082
		<i>Trachelomonas</i>	499
XANTOFITA	Mischococcales	<i>Bumilleriopsis</i>	8091
		<i>Goniochloris</i>	499



Variación de los principales géneros fitoplanctónicos según su división a lo largo del tiempo.

Como se puede observar en la figura 36 la variación de las clorofitas es similar a la encontrada en el Amate amarillo, ya que la dominancia está dada principalmente por *Chlorella* siendo el género más representativo, los cuatro géneros restantes fluctuaron a lo largo del tiempo, presentando una tendencia a incrementar en los meses secos cálidos, como ya se menciono de forma similar al sistema Amate amarillo.

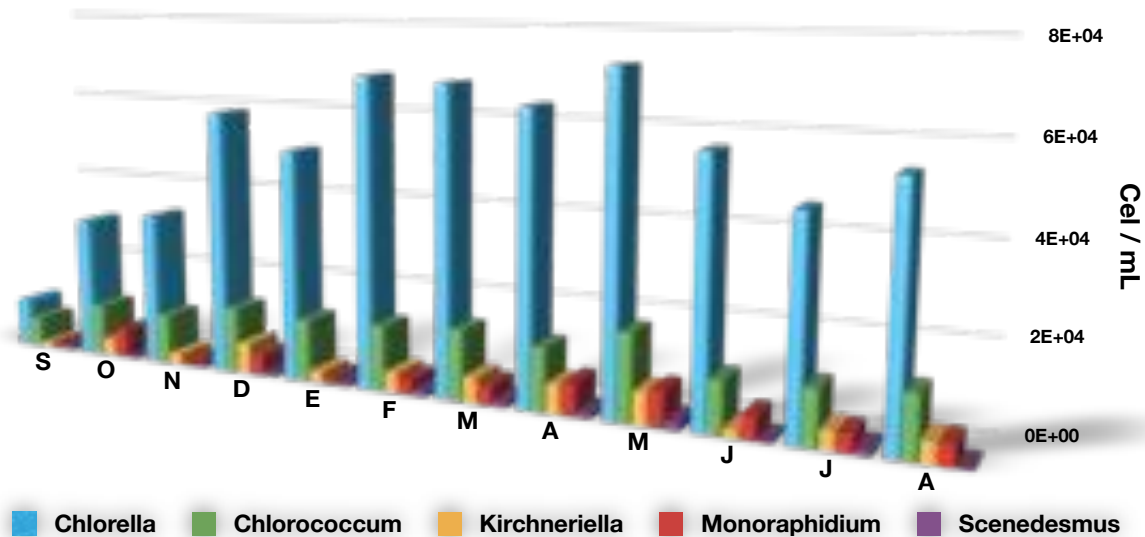


Figura 36. Variación de los principales géneros de clorofitas en "la Palapa", Morelos

En la figura 37 el género más representativo y abundante de las cianofitas fue *Chroococcus* y en seguida de este *Oscillatoria*, siendo el menos abundante *Microcystis*, esta variación también es similar en el Amate amarillo.

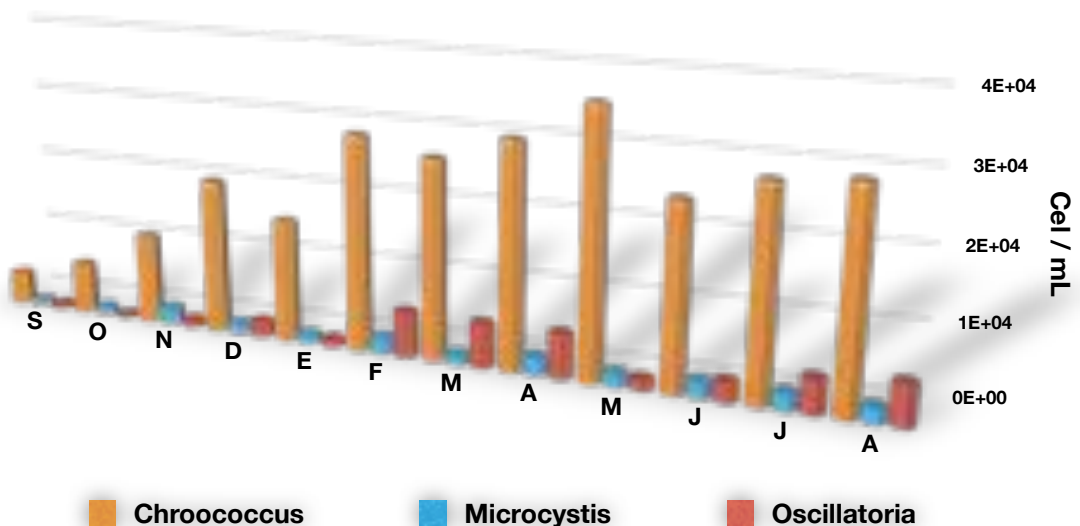


Figura 37. Variación de los principales géneros de cianofitas en "la Palapa", Morelos



En el caso de la gráfica 38 se observa que El género *Stephanodiscus* es el más representativo de la división Bacillariofitas a excepción de la época de lluvias que fue cuando el género *Fragillaria* presento mayor abundancia.

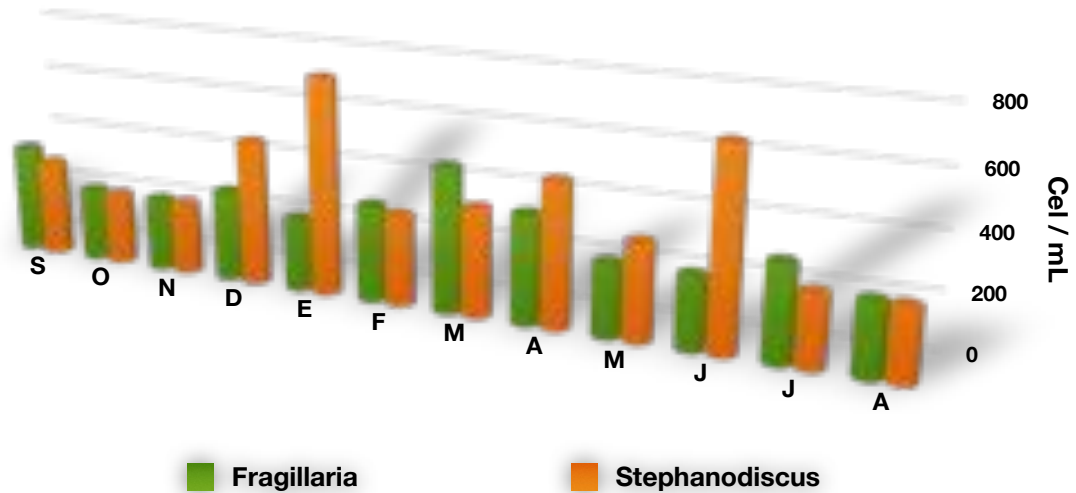


Figura 38. Variación de los principales géneros de bacilariofitas en "la Palapa", Morelos

En la división Euglenofita (figura 39), el género *Phacus* fue el más abundante y por ello el más representativo a lo largo del estudio.

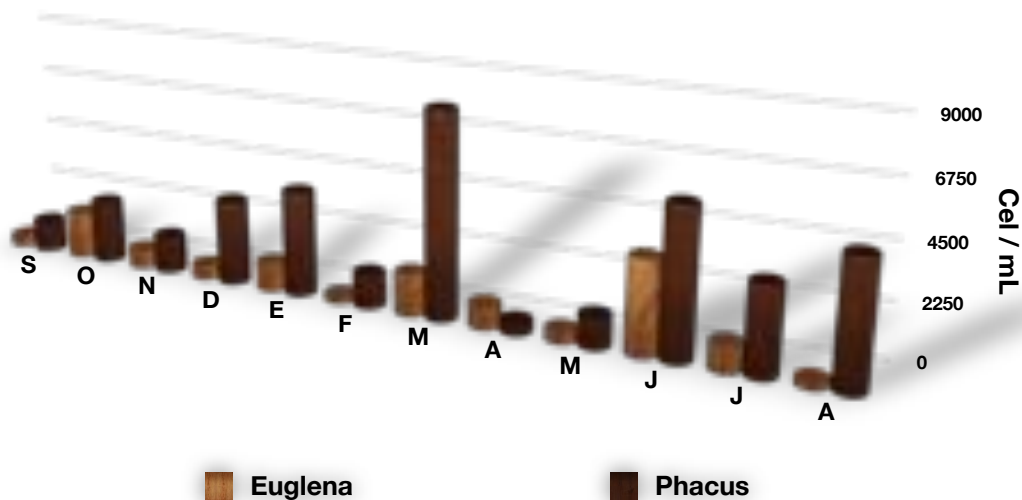


Figura 39. Variación de los principales géneros de euglenofitas en "la Palapa", Morelos



Test de asociación de Olmstead y Tukey de los géneros fitoplanctónicos en el sistema la Palapa a lo largo del estudio

En el siguiente diagrama (figura 40) de asociación de Olmstead y Tukey se muestran los géneros fitoplanctónicos registrados en el sistema la Palapa. De la misma forma que en el Amate amarillo, los géneros están agrupados según su abundancia y frecuencia en (tabla 11): Raras, Ocasionales, Constantes y Dominantes. Mencionando algunos exponentes de los géneros raros están: *Melosira*, *Oocystis*, *Synedra*, *Tetrastrum*, *Cocconeis*, *Cyclotella*, *Gyrosigma*, *Stauroneis* y *Coelastrum*; en cuanto a los géneros ocasionales se tienen por ejemplo a: *Rabdoderma*; mientras que los géneros constantes están representados por: *Pediastrum*; y finalmente mencionando solo algunos de los organismos dominantes son: *Chlorella*, *Chroococcus*, *Chlorococcum*, *Monoraphidium*, *Phacus*, *Microcystis*, *Dictyosphaerium*, *Euglena*, *Scenedesmus*, *Bumilleriopsis*, *Nostoc*, *Ankistrodesmus*, *Desmococcus*, *Stephanodiscus*, *Fragilaria*, *Tetraedron*, *Cosmarium*, *Anabaena*, *Pinularia*, *Oocystis*, *Stauroneis*, *Coelastrum*, *Cocconeis*, *Tetrastrum*, *Gyrosigma*, *Synedra* y *Melosira*.

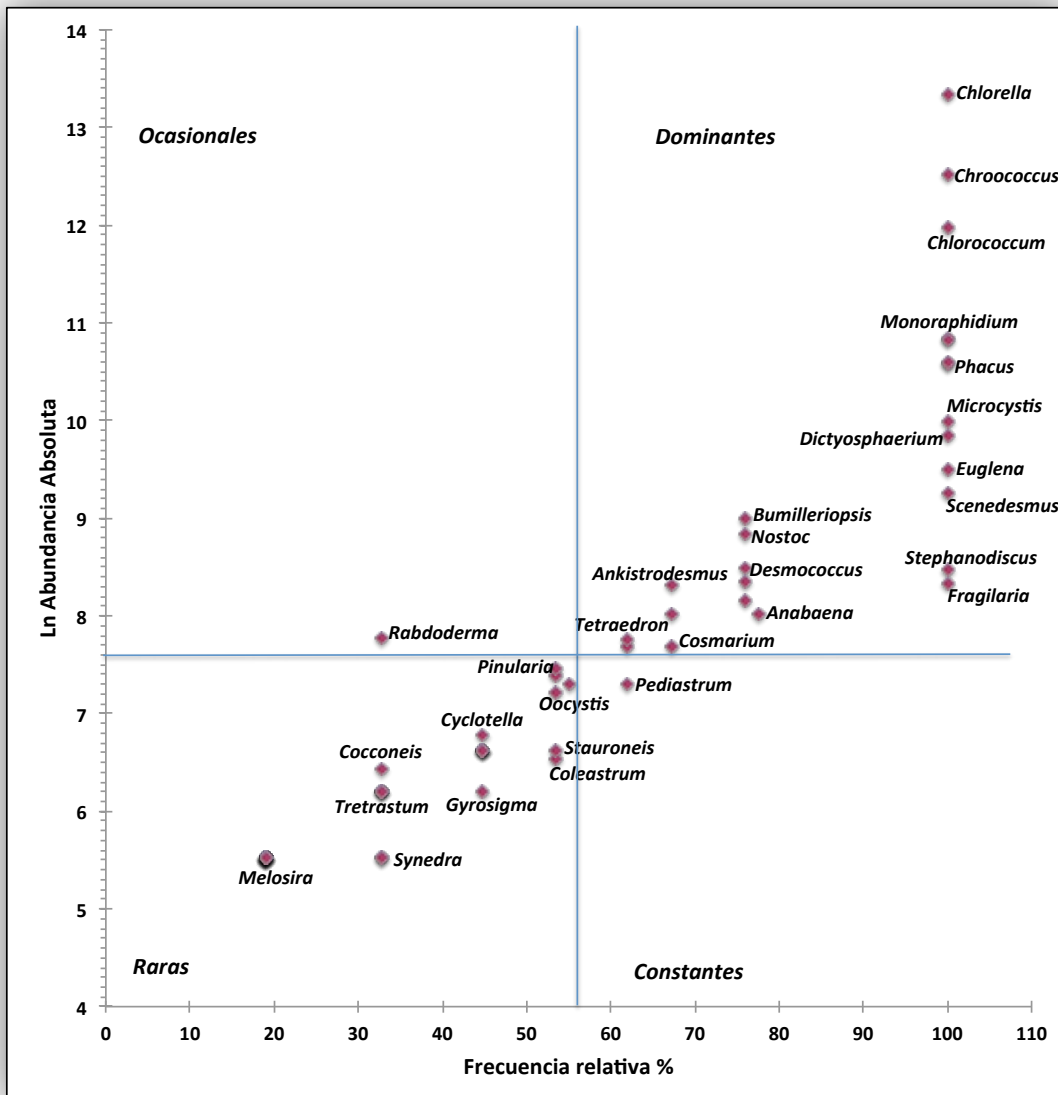


Figura 40. Diagrama de asociación de Olmstead y Tukey, la Palapa, Morelos

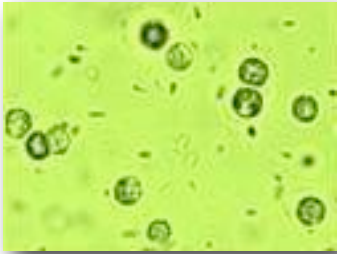


Tabla 11. Composición y categoría (D=Dominantes, C=Constantes, O=Ocasionales, R = Raras) del fitoplancton en el bordo la Palapa, Morelos

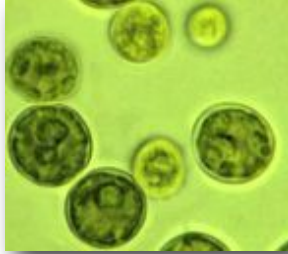
Genero	Categoría	Genero	Categoría
<i>Achnanthes</i>	R	<i>Merismopedia</i>	D
<i>Actinastrum</i>	R	<i>Microcoleus</i>	R
<i>Anabaena</i>	D	<i>Microcystis</i>	D
<i>Anabaenopsis</i>	R	<i>Microspora</i>	D
<i>Ankistrodesmus</i>	D	<i>Monoraphidium</i>	D
<i>Apiocystis</i>	R	<i>Navicula</i>	D
<i>Arthrospira</i>	R	<i>Neidium</i>	R
<i>Botryosphaerella</i>	R	<i>Nitzschia</i>	R
<i>Bumilleriopsis</i>	D	<i>Nostoc</i>	D
<i>Chlorella</i>	D	<i>Oocystis</i>	R
<i>Chlorococcum</i>	D	<i>Oscillatoria</i>	D
<i>Chroococcus</i>	D	<i>Pediastrum</i>	C
<i>Closteriopsis</i>	R	<i>Phacus</i>	D
<i>Closterium</i>	R	<i>Pinnularia</i>	R
<i>Cocconeis</i>	R	<i>Pleurotaenium</i>	R
<i>Coelastrum</i>	R	<i>Rabdoderma</i>	O
<i>Cosmarium</i>	D	<i>Scenedesmus</i>	D
<i>Crucigenia</i>	D	<i>Schroederia</i>	R
<i>Crucigeniella</i>	R	<i>Spirulina</i>	R
<i>Cyclotella</i>	R	<i>Staurastrum</i>	R
<i>Desmococcus</i>	D	<i>Stauroneis</i>	R
<i>Dictyosphaerium</i>	D	<i>Stephanodiscus</i>	D
<i>Euglena</i>	D	<i>Surirella</i>	R
<i>Fragilaria</i>	D	<i>Synedra</i>	R
<i>Gomphonema</i>	R	<i>Tetraedron</i>	D
<i>Goniochloris</i>	R	<i>Trachelomonas</i>	R
<i>Gyrosigma</i>	R	<i>Tetrastrum</i>	R
<i>Kirchneriella</i>	D	<i>Ulothrix</i>	R
<i>Melosira</i>	R		



Principales géneros de organismos fitoplanctónicos que se presentaron constantemente en los sistemas: Amate amarillo y la Palapa



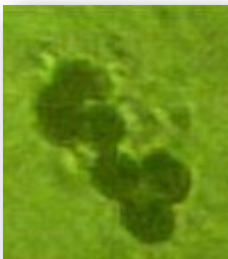
Chlorella sp.



Chlorococcum sp.



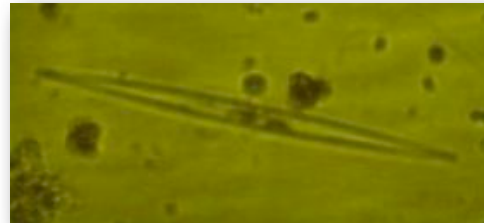
Chroococcus sp.



Desmococcus sp.



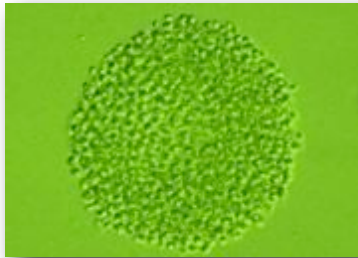
Euglena sp.



Fragilaria sp.



Kirchneriella sp.



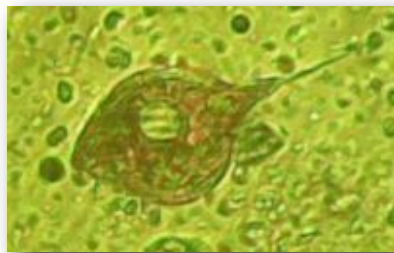
Microcystis sp.



Monoraphidium sp.



Oscillatoria sp.



Phacus sp.



Scenedesmus sp.



Stephanodiscus sp.



Índice del estado trófico para la Palapa

Tabla 12. Datos para el cálculo del Índice del Estado Trófico

	IET disco de Secchi	IET clorofila "a"	IET de fósforo total	IET PROMEDIO
SEPTIEMBRE	74.175	58.475	102.635	78.43
OCTUBRE	74.175	61.26	101.915	79.115
NOVIEMBRE	75.75	68.54	89.105	77.795
DICIEMBRE	81.67	74.82	73.535	76.68
ENERO	72.715	69.715	92.915	78.45
FEBRERO	70.97	68.41	101.25	80.21
MARZO	73.325	66.91	95.64	78.62
ABRIL	76.495	67.54	86.175	76.735
MAYO	81.6	74.925	72.315	76.275
JUNIO	70.47	70.84	100.96	80.755
JULIO	73.215	67.245	103.735	81.395
AGOSTO	76.25	69.79	104.2	83.415

En la tabla 12 se puede ver que la transparencia y la concentración de fósforo total son los parámetros que repercuten más en el IET, el valor de IET promedio es de 78.98, esto nos dice que el sistema se encuentra en un estado eutrófico con una tendencia a ser hipereutrófico. Los valores de IET promedio a lo largo de los doce meses se mantienen casi constantes, esto debido a las diferentes fluctuaciones que tiene el fósforo. La visibilidad al disco de Secchi también se mantuvo más o menos constante, esto es debido a que este sistema es más profundo que el Amate amarillo por ello cuando este es vaciado a causa de las actividades agrícolas su volumen no disminuye tan drásticamente, por lo cual la concentración de la materia particulada orgánica e inorgánica no tiende a afectar tanto en la transparencia.



La visibilidad al disco de Secchi y la cantidad de clorofila "a" son dos parámetros que se encuentran estrechamente relacionados de manera inversa, ya que esta última es producto de la abundancia del fitoplancton presente en el sistema, por lo cual afecta la transparencia (figura 41).

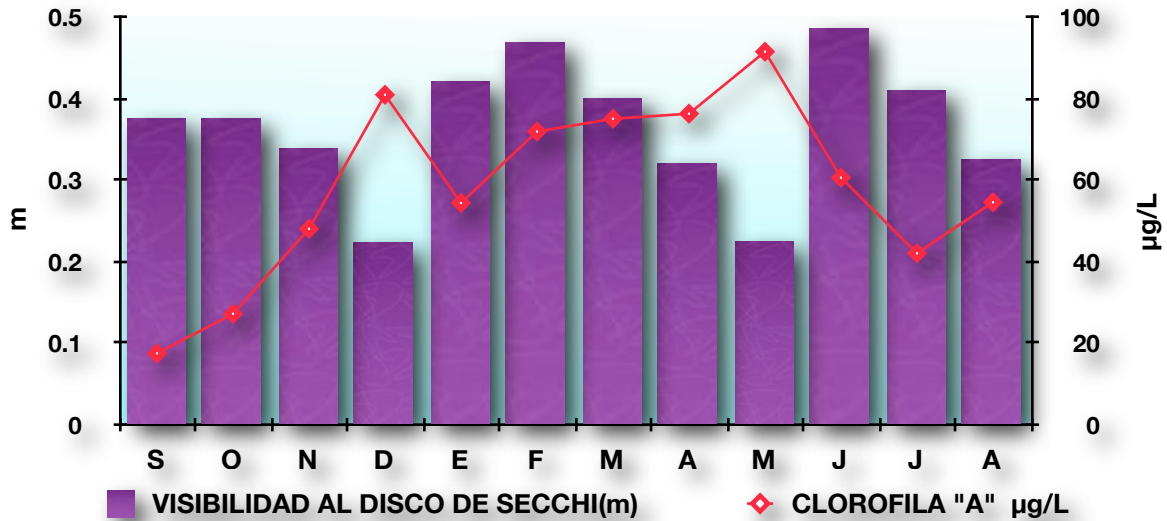


Figura 41. Visibilidad y clorofila "a" del bordo "la Palapa"

Por otro lado el IET al igual que en el Amate amarillo, vuelve a ser factor crucial el fósforo en el incremento de la productividad del sistema como se puede ver en la figura 42, incrementando el IET en los meses con lluvia y disminuyendo en los meses secos.

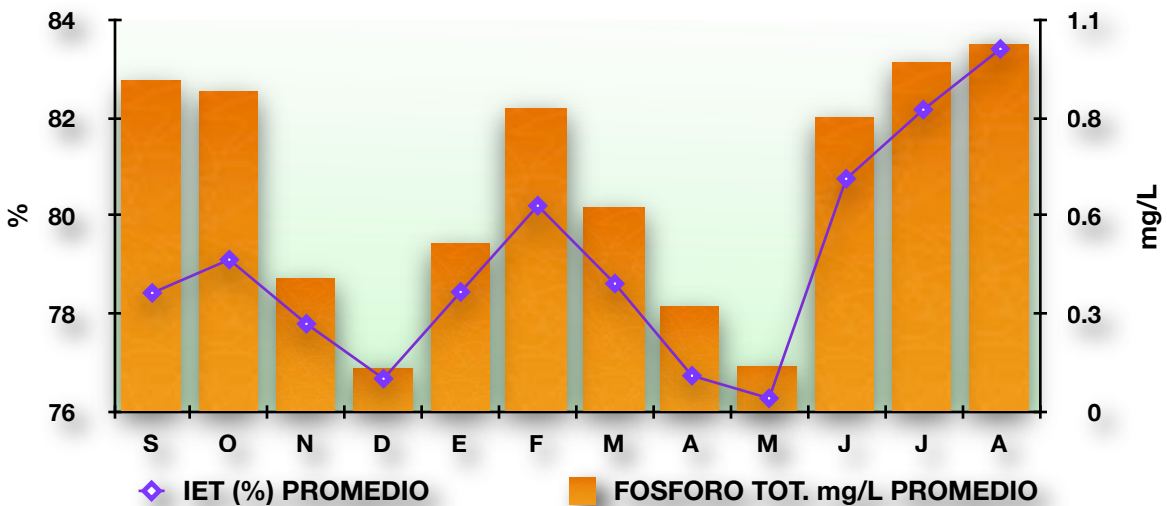


Figura 42. Índice del Estado Trófico (IET) y fósforo total del bordo "la Palapa"



Perfiles de la Palapa

Se puede observar que la temperatura presenta un gradiente en la época de secas y de transición, pero en la de dilución en el fondo del perfil observamos un incremento de la temperatura debido a la circulación que presentan estos sistemas en la época de lluvias (figura 43).

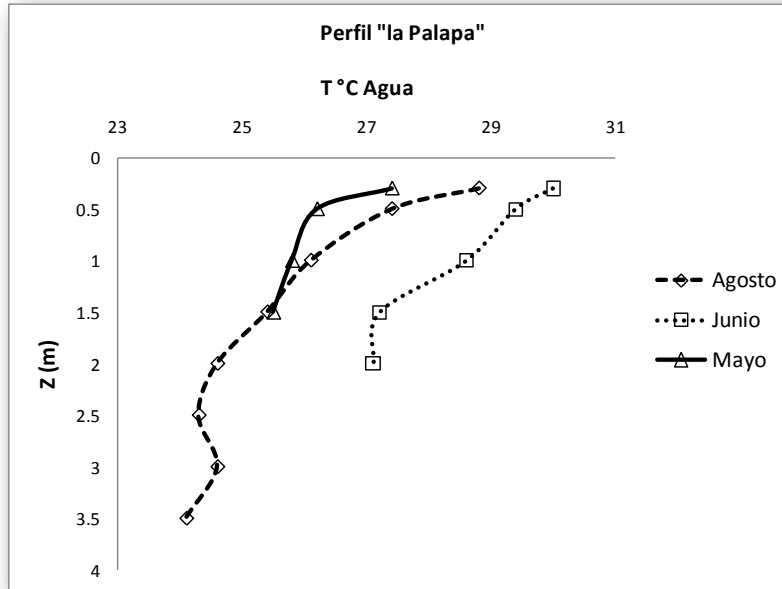


Figura 43. Perfiles de temperatura del agua para el bordo "la Palapa"

En cuanto al oxígeno disuelto se observa que durante los tres periodos el sistema se encuentra bien oxigenado en el estrato superior, formándose curvas clinógradas y heterógradas positivas típicas de cuerpos de agua eutróficos.

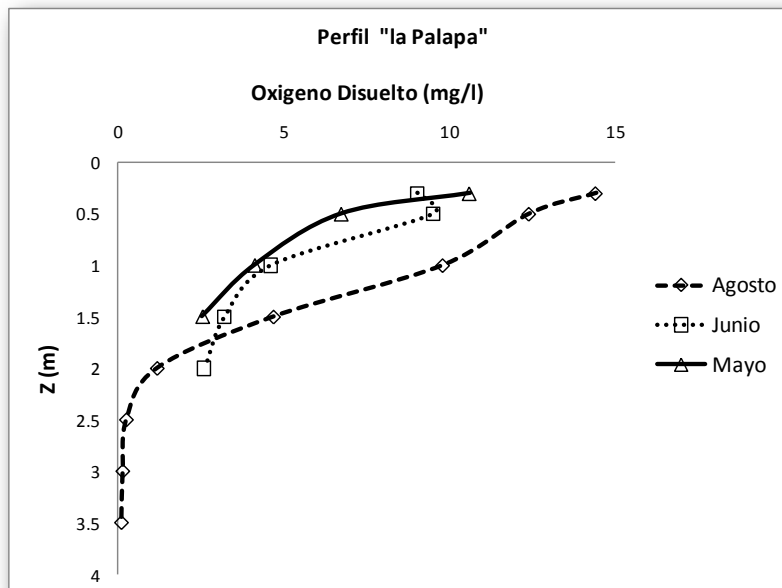


Figura 44. Perfiles de oxígeno disuelto para el bordo "la Palapa"



En la Palapa no se llevó a cabo ningún estudio de 24 horas para caracterizar el sistema, ya que la infraestructura con la que se cuenta en este microembalse impidió que se estableciera un punto de monitoreo inamovible, por eso solo se realizaron perfiles de la columna de agua en el mes de mayo como periodo de concentración, junio como transición y agosto como de dilución.

CALIDAD BIOLÓGICA

En la Tabla 13 se puede ver el resultado del cálculo del cociente de asociación para la determinación de la calidad biológica.

Tabla 13. Estado trófico y Cociente de Asociación para los sistemas Amate amarillo y la Palapa

	AMATE AMARILLO	LA PALAPA
Cianofitas	8	11
Clorofitas (Chlorococcales)	19	18
Bacilariofitas (Centrales)	2	3
Euglenofitas	3	3
Clorofitas (Desmidiáles)	2	4
Cociente de Asociación	16	8.75
Estado Trófico	Saprotrofico	Saprotrofico

(Ortega y col., 1994)

Estos datos en conjunto sirvieron para calcular el cociente de asociación y ubicar a los sistemas dentro de su estado trófico correspondiente; el resultado fue que ambos sistemas se pueden considerar como saprotrofos, es decir, se encuentran con una gran cantidad de nutrimentos disponibles para el desarrollo de los organismos fitoplanctónicos, haciéndolos muy productivos y como ya se mencionó anteriormente, una gran dominancia de las clorofitas sobre las demás divisiones.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Finalmente se aplicó el análisis estadístico multivariado (Análisis de Componentes Principales) que es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. El análisis de componentes principales no tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por lo tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total. Este análisis se realizó con la finalidad de establecer el grado en que afectan las variables físicas, químicas y bióticas, en el comportamiento cada uno de los sistemas. Se tomaron en cuenta 24 variables para la realización del análisis multivariado en cada sistema, estas se dividieron en 4 componentes: climático, edáfico, morfométrico y biológico. De las 24 variables originales estudiadas en cada uno de los dos sistemas, se redujeron a seis componentes para el Amate amarillo y cinco para la Palapa (tabla 14 y 15 respectivamente) que explican en el sistema Amate amarillo el 88.18% de la variabilidad total, así como en el sistema la Palapa explican el 86.14%. Para poder identificar el número de componentes que se tomarían en cuenta se analizó el porcentaje acumulado de cada uno, así se concluyó cuales serían los componentes que explican tal porcentaje.

Tabla 14. Análisis de Componentes Principales del Amate amarillo

Componente Numero	Porcentaje de		Porcentaje
	Eigenvalor	Varianza	Acumulado
1	7.77505	32.396	32.396
2	5.40102	22.504	54.9
3	2.95492	12.312	67.212
4	2.00461	8.353	75.565
5	1.55273	6.47	82.035
6	1.47698	6.154	88.189

Tabla 15. Análisis de Componentes Principales para la Palapa

Componente Numero	Porcentaje de		Porcentaje
	Eigenvalor	Varianza	Acumulado
1	7.48723	31.197	31.197
2	4.39548	18.315	49.511
3	3.60714	15.03	64.541
4	3.18934	13.289	77.83
5	1.99592	8.316	86.146



En el Amate amarillo los tres primeros componentes principales explicaron 67.21% de la variación total. Utilizando el criterio de González-Villela y Banderas-Tarayay (2002), CP4, CP5 y CP6 no se incluyeron en el análisis, ya que sus variaciones individuales fueron menos del 10%.

Tabla 16. Pesos de los Componentes Amate amarillo

	CP1	CP2	CP3
OD	0.740	-0.438	-0.005
CLOROFILA a	0.131	0.806	0.341
PO ₄	-0.723	0.092	-0.221
NO ₃	-0.585	-0.481	-0.344
NO ₂	0.291	-0.331	0.621
SiO ₃	-0.434	0.286	0.785
SO ₄	-0.160	0.439	0.160
pH	-0.374	-0.638	0.002
T °C (H ₂ O)	-0.343	0.331	-0.306
SOL. TOT. DISUELTOS	0.692	-0.372	-0.015
ALC T	0.840	-0.106	0.379
TEM. AMBIENTE MEDIA °C	-0.160	0.868	-0.322
EVAPORACIÓN mm	0.364	0.812	-0.296
N T	0.003	-0.890	0.175
PRECIPITACIÓN mm	-0.764	0.041	0.047
DUR CÁLCICA	0.697	0.387	0.255
IET	-0.664	0.287	0.621
TRANSPARENCIA m	-0.664	0.287	0.621
DUR T	0.839	0.255	0.112
NH ₄	0.363	-0.657	0.388
FITO T	0.762	0.400	0.246
F T	-0.835	-0.102	0.284
SOL T	0.452	0.045	-0.203
PROFUNDIDAD MÁXIMA m	-0.420	-0.281	-0.039

Como se puede apreciar en la tabla anterior (tabla 16), el primer componente (CP1) incluyó los ortofosfatos PO₄ (-0.723), la precipitación (-0.764) y el fósforo total (-0.835) la alcalinidad total (0.840), dureza total (0.839), el fitoplancton total (0.762) y el oxígeno disuelto (0.740); en este CP1 se puede apreciar la influencia que tiene la lluvia y el aporte de nutrientes generado por la misma, sobre el componente edáfico y la abundancia de fitoplancton, aunque los tres primeros tienen una relación inversa y los cuatro últimos una relación directa.



El segundo componente (CP2) incluyó el nitrógeno total (-0.890) la evaporación (0.812), la temperatura ambiente media (0.868) y la clorofila "a" (0.806); en este CP se observa la influencia que tiene el clima con otro de los principales nutrimentos el nitrógeno y la clorofila "a", esta relación que se establece aquí denota la variación que tiene el nitrógeno a causa de la evaporación y la temperatura ambiente, éstas dos últimas están estrechamente relacionadas pues al aumentar la temperatura ambiente incrementa la evaporación del agua, pero el nitrógeno juega un papel importante, ya que es un elemento que también incrementa con las lluvias, tiende a disminuir cuando la evaporación y la temperatura ambiente incrementan; al igual que la concentración de clorofila "a" el nitrógeno total disminuye cuando esta incrementa.

El tercer componente (CP3) está influenciado por el factor edáfico y está dominado por los silicatos (0.785), nitritos (0.621), transparencia (0.621) y el IET (0.621), variable poco relacionada con el resto y que determinan por si solos un componente principal.

Los puntos en el biplot de los pesos y los parámetros (Figura 45) formado por una distribución de las variables que está definida por los doce meses.

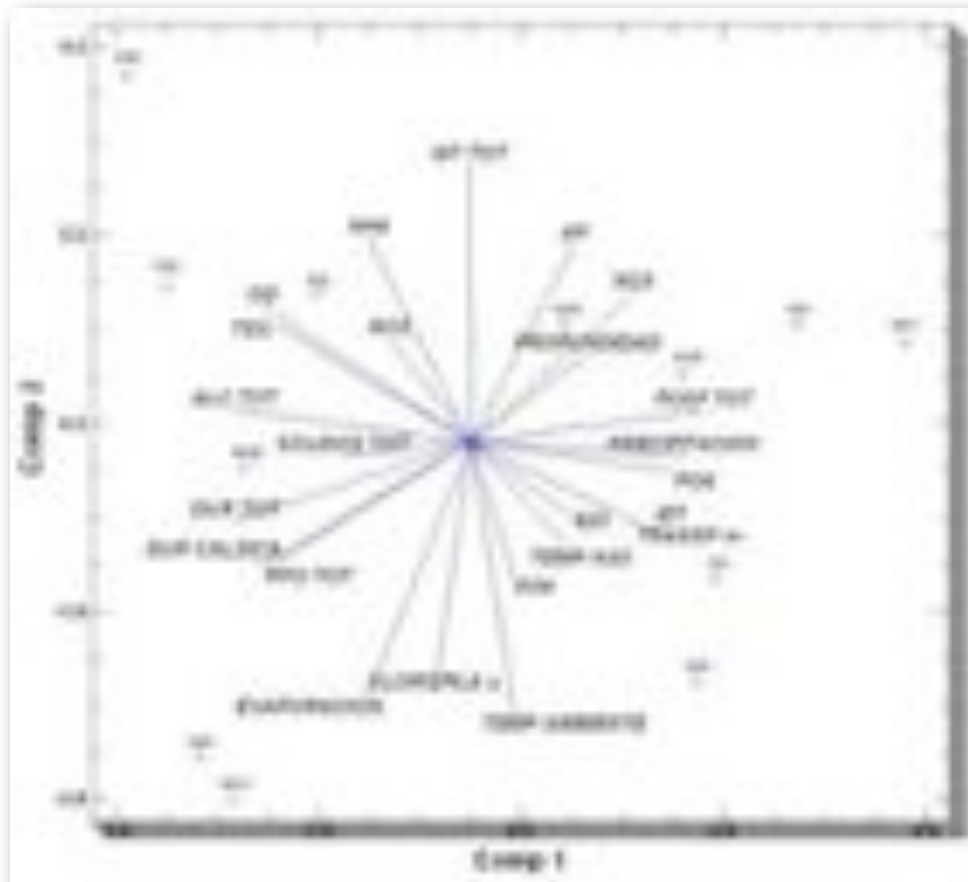


Figura 45. Componentes principales del sistema Amate amarillo



La separación o agrupación de los meses está dada por el carácter climático es decir separándose en meses secos fríos, secos cálidos y meses con lluvias. En los meses con lluvias como junio, julio, agosto, septiembre, octubre y parte de noviembre están asociadas las variables de profundidad, nitratos, fósforo total, ortofosfatos, IET, transparencia, sulfatos y precipitación, esta asociación indica que hay una alta productividad en el sistema asociando el factor morfométrico, con la climática y parte del componente edáfico. Ahora bien en los meses secos fríos como parte de noviembre, diciembre y febrero están asociadas las siguientes variables nitrógeno total, amonio, nitritos, pH, TDS y oxígeno disuelto, la asociación entre estas variables en estos meses está regida principalmente por el incremento del fitoplancton. Por último, para los meses de marzo, abril y mayo que comprenden a los meses secos cálidos están asociados con las variables alcalinidad total, sólidos totales, dureza total, dureza cálcica, fitoplancton total, clorofila "a", evaporación y temperatura ambiente, en estos meses la pérdida de volumen del sistema por la evaporación, el incremento de la temperatura se asocian con el periodo de concentración del sistema, momento en el que el factor edáfico se vuelve más determinante en el equilibrio del sistema ya que tanto las dureza en general así como los sólidos y la alcalinidad tienden a incrementar en su máximo nivel de concentración, porque se puede inferir que en este periodo de secas cálidos el componente edáfico y climático determinan el comportamiento del microreservorio.

En el dendograma (figura 46) se puede observar como las variables agrupan a los meses según la relación que tengan con estos, separándolos en dos grupos principales.

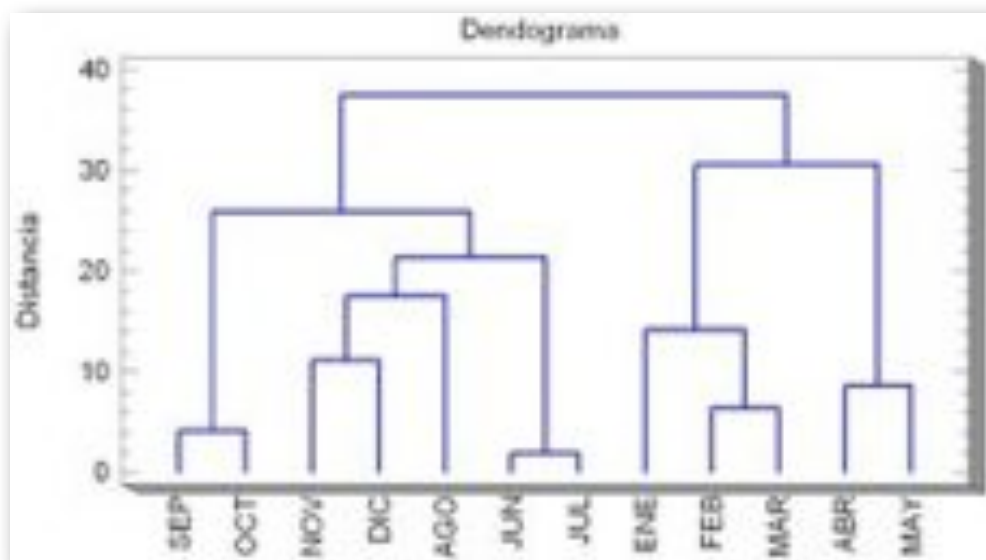


Figura 46. Agrupación de los meses de acuerdo a los parámetros (físicos, químicos, biológicos y ambientales), en Amate amarillo



El grupo de los meses con lluvias (septiembre, octubre, agosto, junio y julio), pero además dentro de este grupo se encuentran los meses secos fríos (noviembre y diciembre), al parecer por las bajas temperaturas y la poca evaporación. En el segundo grupo se encuentran los meses secos cálidos divididos a su vez en dos subgrupos, en un grupo se encuentran los meses secos donde la evaporación y las temperaturas bajas (enero, febrero y marzo), y en el otro subgrupo se encuentran los meses con mayor temperatura y evaporación (abril y mayo).

En el caso de la Palapa (tabla 17) fueron los cuatro primeros componentes, que explicaron el 77.83% de la variación total, utilizando el criterio anterior, el CP5 y el CP6 tampoco se incluyeron en el análisis, ya que sus valores individuales también fueron menores al 10%.

Tabla 17. Pesos de los Componentes la Palapa

	CP1	CP2	CP3	CP4
NO ₂	0.369	-0.080	-0.480	0.384
PO ₄	-0.783	0.017	-0.251	-0.196
pH	-0.173	0.087	0.274	0.736
N T	-0.450	-0.736	-0.059	0.167
EVAPORACIÓN mm	0.467	0.368	0.403	-0.514
TEMP. AMBIENTE MEDIA °C	0.071	0.654	0.287	-0.582
NH ₄	-0.169	-0.451	0.588	0.300
CLOROFILA a	0.769	0.282	-0.183	0.325
NO ₃	-0.414	-0.464	-0.716	-0.123
PRECIPITACIÓN mm	-0.811	0.431	-0.022	0.088
FITO T	0.701	0.176	0.638	0.048
SOL. T	0.202	-0.563	0.541	-0.487
T °C (H ₂ O)	-0.233	0.840	0.245	-0.221
TRANSPARENCIA m	-0.462	-0.120	0.397	0.336
OD	0.381	-0.258	0.520	0.323
DUR T	0.895	-0.159	0.201	0.213
SOL. TOT. DISUELTOS	0.795	-0.471	0.070	-0.194
SiO ₃	0.156	0.682	-0.112	0.554
F T	-0.885	0.155	0.323	0.179
ALC T	0.620	-0.350	-0.074	0.518
IET	-0.628	0.324	0.455	0.502
SO ₄	0.460	0.598	-0.352	0.390
DUR CÁLCICA	-0.067	-0.103	0.595	-0.012
PROFUNDIDAD MÁXIMA m	-0.809	-0.355	0.240	0.117



En la tabla 17 se puede observar el peso de las variables en cada componente, el primer componente (CP1) incluyó los ortofosfatos (-0.783), la precipitación (-0.811), el fósforo total (-0.885) y la profundidad máxima (-0.809), la clorofila "a" (0.769), dureza total (0.895), el fitoplancton total (0.701) y los sólidos totales disueltos (0.795); en este CP al igual que en el sistema Amate amarillo se puede apreciar la influencia que tiene el factor climático con la lluvia y el aporte de nutrimentos generado por la misma, sobre el componente edáfico y la abundancia de fitoplancton. Por ejemplo la lluvia afecta de manera negativa al fitoplancton ya que cuando ésta incrementa la abundancia de fitoplancton disminuye y viceversa cuando la lluvia disminuye la abundancia de fitoplancton aumenta, en esta relación inversa también participan el fósforo en general, la profundidad como consecuencia de la lluvia afectando de forma negativa a la clorofila "a", TDS y la dureza total, ya que la concentración de estos últimos elementos en el sistema siempre estará ligada a los periodos de concentración y dilución del microembalse.

En el segundo componente (CP2) el nitrógeno total (-0.736), la temperatura del agua (0.840), los silicatos (0.682), los sulfatos (0.598) y la temperatura ambiente media (0.654) son los valores que presentan mayor peso dentro del componente y en este CP2, se observa la influencia que tiene la temperatura del agua con otro de los principales nutrimentos: el nitrógeno, relación que denota la variación que tiene el nitrógeno a causa de la temperatura del agua, ésta última estrechamente relacionada con la temperatura ambiente, pero el nitrógeno juega un papel importante, ya que es un elemento que también incrementa con las lluvias tiende a disminuir cuando la evaporación y la temperatura ambiente incrementan. Este componente ésta influenciado principalmente por los factores climático y edáfico.

El tercer componente (CP3) incluye a los nitratos (-0.716), fitoplancton total (0.638), la dureza de calcio (0.595), los sólidos totales (0.541) y el amonio (0.588); en este CP se puede observar como el nitrógeno en forma de NO_3 es determinante para el fitoplancton, ya que cuando este nutrimento se encuentra en abundancia y disponible la densidad de organismos algales es poca o reducida y esta disponibilidad del nitrato va disminuyendo conforme se incrementa la abundancia de organismos fitoplanctónicos al ser la forma de asimilación más adecuada, fenómeno bastante apreciable en este sistema en el periodo de lluvias y de secas.

Por último, en el cuarto componente (CP4) están incluidos el pH (0.785), la temperatura ambiente media (-0.582), la evaporación (-0.514), la alcalinidad total (0.518), el IET (0.502) y silicatos (0.554); componente influenciado por el factor



climático y el edáfico, los cuales tienen a su vez tienen influencia sobre el estado trófico del sistema.

Como se puede observar en la figura 47, los pesos de las variables, forman una distribución que está definida por los doce meses.

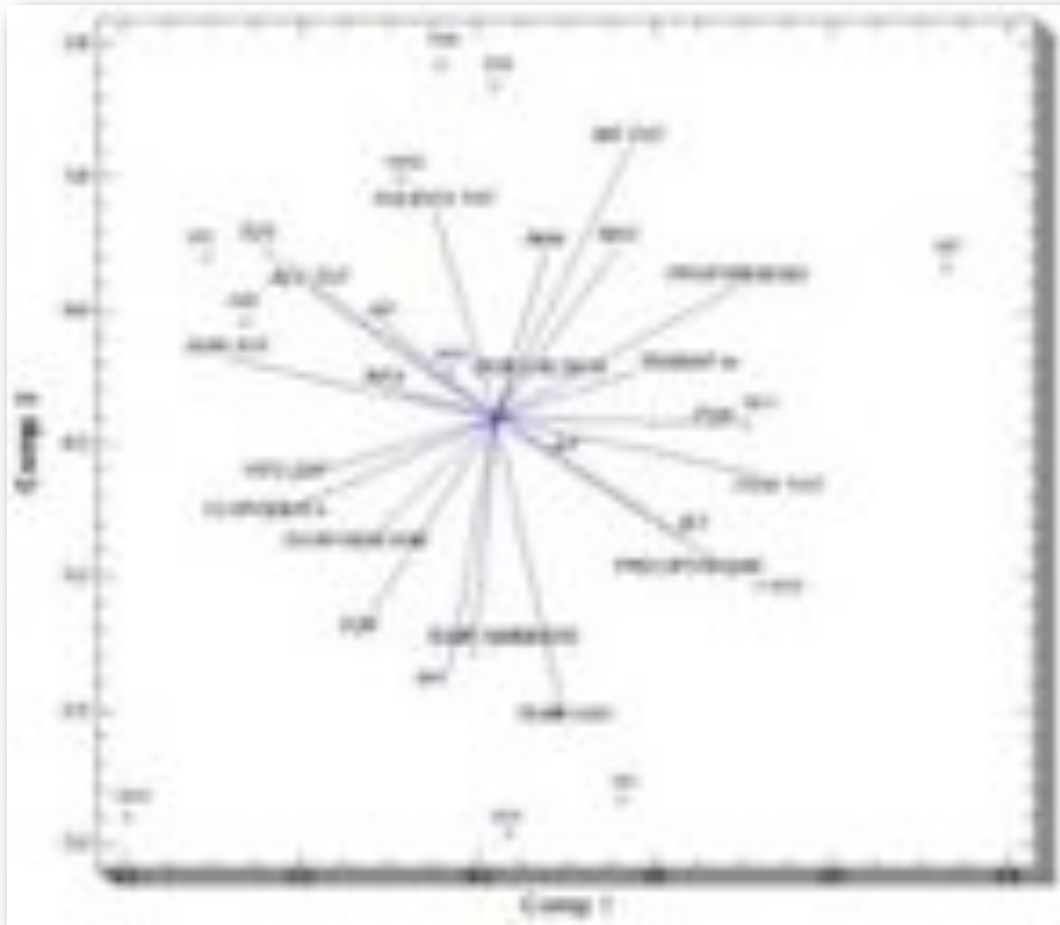


Figura 47. Componentes principales del sistema la Palapa

La distribución de los meses está dada por el carácter climático es decir separándose en meses secos fríos, secos cálidos y meses con lluvias de la misma forma que ocurrió en el análisis multivariado realizado para el sistema Amate amarillo. En los meses con lluvias como junio, julio, agosto, septiembre y octubre están asociadas las variables de profundidad, nitratos, pH, fósforo total, ortofosfatos, IET, transparencia y precipitación, al igual que en el micro embalse Amate amarillo ésta asociación nos indica que hay una alta productividad en el sistema asociando la morfometría con el clima y parte del componente edáfico. Ahora bien en los meses secos fríos como noviembre, diciembre enero y parte de los meses cálidos como febrero y marzo están asociados a las siguientes variables nitrógeno total, amonio, TDS, alcalinidad total, sólidos totales, dureza cálcica y oxígeno disuelto, la asociación entre estas variables en estos meses está



regida principalmente por el incremento del fitoplancton, encontrándose en esos meses una fase de transición entre la dilución del sistema hacia la fase de concentración, caso contrario a lo obtenido en el análisis multivariado del sistema Amate amarillo en esos meses. Por último, para los meses de abril y mayo que comprenden a los meses secos más cálidos están asociados con las variables dureza total, fitoplancton total, clorofila "a", evaporación, nitritos, sulfatos y silicatos, en estos meses la pérdida de agua y por consiguiente el volumen del sistema por la tasa de evaporación, la infiltración y el incremento de la temperatura se asocian con el periodo de concentración del sistema, momento en el que el factor edáfico se vuelve más determinante en el equilibrio del sistema, ya que la dureza en general así como los sólidos y la alcalinidad tienden a incrementar en su máximo nivel de concentración, porque se puede inferir que en este periodo de secas cálidas el componente edáfico y climático determinan el comportamiento del sistema la Palapa.

En el dendograma (figura 48) de este sistema al igual que en el Amate amarillo las variables agrupan a los meses según la relación que tengan con estos, separándolos en dos grupos principales.

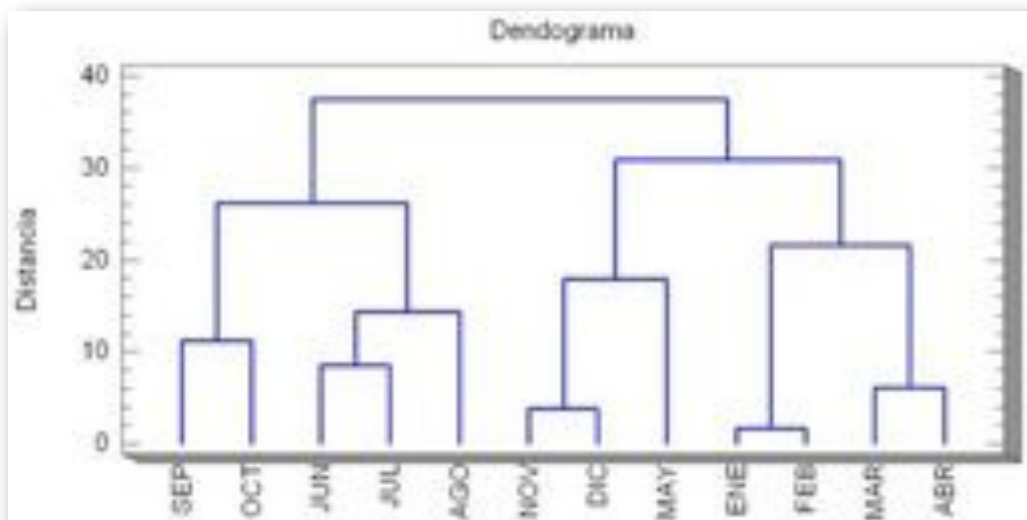


Figura 48. Agrupación de los meses de acuerdo a los parámetros (físicos, químicos, biológicos y ambientales), la Palapa

El grupo de los meses con lluvias, (septiembre, octubre, agosto, junio y julio). En el segundo grupo se encuentran los meses secos cálidos y secos fríos, este está dividido en dos subgrupos, en un subgrupo se encuentran los meses secos fríos (noviembre, diciembre), mayo como transición y en el otro subgrupo se encuentran los meses secos cálidos en donde prevalece mayor temperatura y evaporación (abril, marzo, enero y febrero).



CORRELACIÓN DE PEARSON

Debido a lo anterior y una vez que se determinó la relación lineal de las variables, se procedió a realizar un análisis de correlación de Pearson entre las variables químicas y nutrientes contra la abundancia fitoplanctónica total en los dos sistemas tanto en el Amate amarillo como en la Palapa.

Tabla 18. Valores de las correlaciones de Pearson entre las dos divisiones de fitoplancton y los parámetros químicos-nutrientes del sistema Amate amarillo

VARIABLE	FITOPLANCTON TOTAL			
	AMATE AMARILLO		LA PALAPA	
	CORRELACIÓN	VALOR CRITICO	CORRELACIÓN	VALOR CRITICO
T °C (H ₂ O)	-0.235	P>0.05	0.103	P>0.05
OD	0.256	P>0.05	0.567	P>0.05
ALC T	0.682	P<0.05	0.461	P>0.05
DUR CALCICA	0.671	P<0.05	0.316	P>0.05
DUR T	0.835	P<0.05	0.786	P<0.05
Ph	-0.54	P>0.05	0.195	P>0.05
F T	-0.441	P>0.05	-0.338	P>0.05
PO ₄	-0.676	P<0.05	-0.757	P<0.05
SO ₄	0.019	P>0.05	0.316	P>0.05
NO ₃	-0.828	P<0.05	-0.841	P<0.05
NO ₂	0.294	P>0.05	0.018	P>0.05
NH ₄	0.3	P>0.05	0.228	P>0.05
SiO ₃	0.066	P>0.05	0.271	P>0.05
N T	-0.195	P>0.05	-0.447	P>0.05
TRANSP m	-0.032	P>0.05	-0.046	P>0.05
SOL T	0.219	P>0.05	0.276	P>0.05
CLOROFILA a	0.474	P>0.05	0.554	P>0.05
SOL. TOT. DIS.	0.267	P>0.05	0.483	P>0.05
PRECIPITACION mm	-0.6	P<0.05	-0.485	P>0.05
TEMPERATURA AMBIENTE MEDIA °C	0.122	P>0.05	0.244	P>0.05
EVAPORACIÓN mm	0.485	P>0.05	0.549	P>0.05



Como se observa en la tabla 18, con lo que respecta a las correlaciones de Pearson entre el fitoplancton total y los parámetros químicos, físicos y nutrimentos se observó que el bordo Amate amarillo presentó más relación con los parámetros: alcalinidad total, dureza cálcica, dureza total, ortofosfatos, nitratos y la precipitación. ya que las correlaciones fueron más elevadas ya sea de forma positiva o negativa. El fitoplancton registró una correlación positiva con la alcalinidad total, la dureza cálcica y la dureza total, pero mostraron una correlación negativa con el fósforo reactivo soluble (ortofosfatos), los nitratos y la precipitación. Los organismos fitoplanctónicos mostraron correlaciones significativas negativas con los nutrientes, probablemente la dinámica de este sistema está determinada por el componente edáfico; el componente climático está relacionado inversamente con los nutrimentos que se encuentran en la tabla anterior al incrementar y disminuir en el sistema con la aparición y ausencia de las lluvias. Esto explica el porqué del incremento del fitoplancton total en la época de concentración del sistema ya que el componente edáfico es el que ejerce mayor presión en su dinámica, aumentando la materia orgánica que hay en suspensión que proviene de el sedimento resuspendido. Además de que la correlaciones negativas con los nutrimentos indican que cuando la concentración de estos incrementa en el sistema la población de organismos fitoplanctónicos disminuye o viceversa, esto es debido al pastoreo que ejerce el fitoplancton sobre los nutrimentos. Por otra parte la precipitación actúa de manera inversa sobre los organismos fitoplanctónicos, efecto generado por la dilución del sistema, ésta favorece el aporte de nutrimentos por escurrimiento.

En lo que respecta al bordo la Palapa las correlaciones de Pearson entre el fitoplancton total y los parámetros químicos, físicos y nutrimentos se obtuvo un comportamiento similar al sistema anterior donde las algas presentaron relación con los parámetros: dureza total, ortofosfatos y nitratos. Se encontró una correlación positiva con la dureza total, pero mostró una correlación negativa con el fósforo reactivo soluble y los nitratos, al igual que en el Amate amarillo la dinámica del sistema la Palapa está determinada por el componente edáfico. El fitoplancton en este sistema no presentó una relación de ningún tipo con la precipitación ya que este sistema tuvo una menor variación en su volumen a lo largo del estudio en contraste con el bordo Amate amarillo que presentó variaciones drásticas en el volumen.



COMPARACIÓN DE LOS ELEMENTOS MAS IMPORTANTE (NITRATOS, ORTOFOSFATOS, NÚMERO DE ORGANISMOS FITOPLANCTÓNICOS, CLOROFILA “A”, ALCALINIDAD TOTAL Y DUREZA TOTAL) ENTRE LA PALAPA Y AMATE AMARILLO

El nitrógeno, los organismos fitoplanctónicos así como la clorofila “a” y los otros elementos del componente edáfico (dureza total, alcalinidad total y ortofosfatos) son esenciales para la productividad de un sistema acuático, así como para la evaluación del estado trófico en que se encuentra el sistema, por eso es que estas variables son de vital importancia para determinar que tan productivo es un sistema acuático, en este caso se ocuparon para valorar si hay diferencia significativa entre estos dos sistemas para cada una de estas variables.

Se realizó una prueba paramétrica ya que en el resumen estadístico obtenido los datos de la Palapa y Amate amarillo (tabla 19 y figura 49) presentaron una distribución normal, además de que la prueba de homocedasticidad de Kolmogorov-Smirnov ($K-S = 0.6123$, $P > 0.05$) indicó que no hay diferencia significativa entre las distribuciones a un nivel del 95% de confianza. Se procedió a realizar la prueba t-student para los dos sistemas en cuanto a la concentración de nitratos ($t\text{-student} = 1.1896$, $P > 0.05$) y no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias.

Tabla 19. Concentración mensual de nitratos para los dos sistemas

MES	NITRATOS AMATE AMARILLO	NITRATOS LA PALAPA
SEP	0.45318	0.707025
OCT	0.38100	0.333790
NOV	0.33422	0.414684
DIC	0.25307	0.373422
ENE	0.16367	0.328034
FEB	0.20219	0.383737
MAR	0.07909	0.049516
ABR	0.10316	0.237945
MAY	0.12875	0.153375
JUN	0.15825	0.181825
JUL	0.12000	0.106750
AGO	0.18150	0.168500

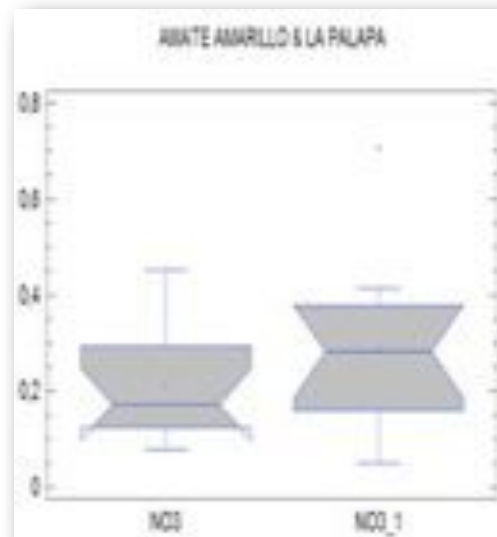


Figura 49. Comparación de los nitratos para los dos sistemas

Se comparó la abundancia fitoplanctónica de los dos sistemas y se aplicó logaritmo base 10 a cada uno de los valores, para así poder comprobar la



homocedasticidad y la normalidad de los datos. La distribuciones de los datos (tabla 20 y figura 50) presento normalidad y homocedasticidad ($K-S = 0.8710$, $P > 0.05$). La prueba (t-student = 0.6336 , $P > 0.05$), indica que no existen diferencias estadísticas entre los sistemas la Palapa y Amate amarillo en cuanto a la abundancia de fitoplancton.

Tabla 20. Concentración mensual de fitoplancton total para los dos sistemas

MES	FITOPLANCTON T. AMATE AMARILLO	FITOPLANCTON T. LA PALAPA
SEP	47424.00	35443.20
OCT	69513.60	73382.40
NOV	109699.20	80371.20
DIC	131664.00	107452.80
ENE	110323.20	105081.60
FEB	174283.20	138278.40
MAR	177091.20	158995.20
ABR	147014.40	155750.40
MAY	178276.80	158620.80
JUN	129105.60	131414.40
JUL	106766.40	113256.00
AGO	120307.20	121049.60

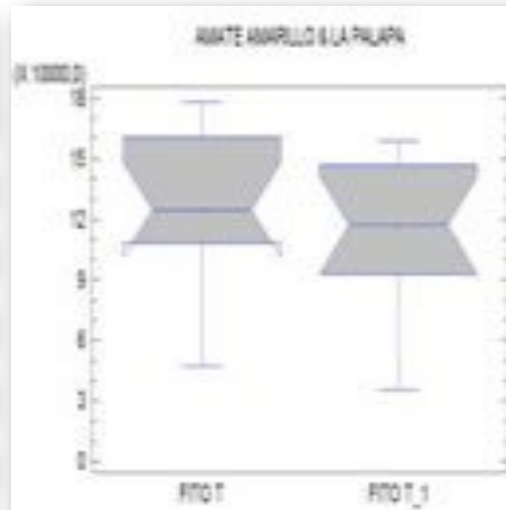


Figura 50. Comparación del fitoplancton total para los dos sistemas

Comparación de la concentración de Clorofila “a” para los dos sistemas (tabla 21 y figura 51). Para esta variable también se aplicó una prueba t-student = -2.866 ($P < 0.05$) encontrándose una diferencia estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 21. Concentración mensual de clorofila “a” para los dos sistemas

MES	CLOROFILA “a” AMATE AMARILLO	CLOROFILA “a” LA PALAPA
SEP	17.46	17.45
OCT	20.06	27.17
NOV	28.07	48.00
DIC	30.72	90.86
ENE	23.30	54.34
FEB	18.22	47.66
MAR	23.34	40.98
ABR	43.09	43.91
MAY	52.75	91.66
JUN	47.79	60.53
JUL	30.45	42.06
AGO	36.63	54.51

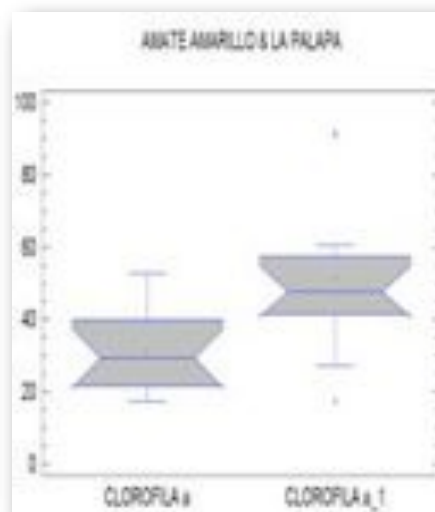


Figura 51. Comparación de clorofila “a” para los dos sistemas



En el caso de los ortofosfatos los datos no presentaron normalidad (tabla 22 y figura 52). Por lo que se procedió a realizar una prueba no paramétrica sucedánea al t-student, la prueba de W de Mann-Whitney ($W = 14.0$, $P > 0.05$), no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 22. Concentración mensual de ortofosfatos para los dos sistemas

MES	ORTOFOSFATOS AMATE AMARILLO	ORTOFOSFATOS LA PALAPA
SEP	0.3482	0.53685
OCT	0.2167	0.17938
NOV	0.2219	0.08010
DIC	0.0186	0.07345
ENE	0.0186	0.05785
FEB	0.0290	0.11270
MAR	0.0437	0.14060
ABR	0.0427	0.03090
MAY	0.0795	0.02568
JUN	0.3170	0.26353
JUL	0.0925	0.12175
AGO	0.0335	0.17325

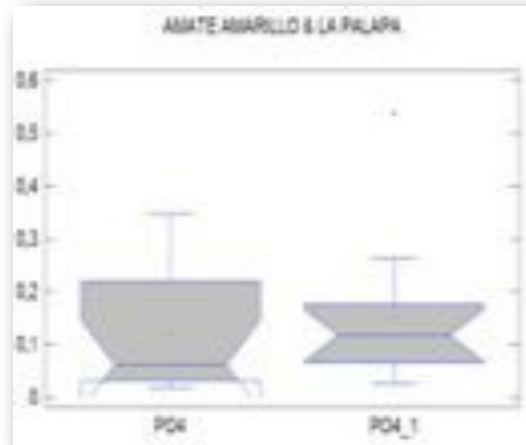


Figura 52. Comparación de los ortofosfatos para los dos sistemas

En el caso de la alcalinidad total (tabla 23 y figura 53). El resultado de estas pruebas para la alcalinidad total ($t\text{-student} = 0.6737$, $P > 0.05$), por lo tanto no existen diferencias significativas entre los dos sistemas para estos dos parámetros.

Tabla 23. Concentración mensual de la alcalinidad total para los dos sistemas

MES	ALCALINIDAD T. AMATE AMARILLO	ALCALINIDAD T. LA PALAPA
SEP	78.125	83.875
OCT	24.6875	60
NOV	158.4375	161.875
DIC	158.75	164.375
ENE	213.4375	142.9375
FEB	201.25	176.5625
MAR	148.125	136.875
ABR	156.125	140.625
MAY	150.9375	111.875
JUN	140	135.9375
JUL	130.625	121.25
AGO	113	93.75

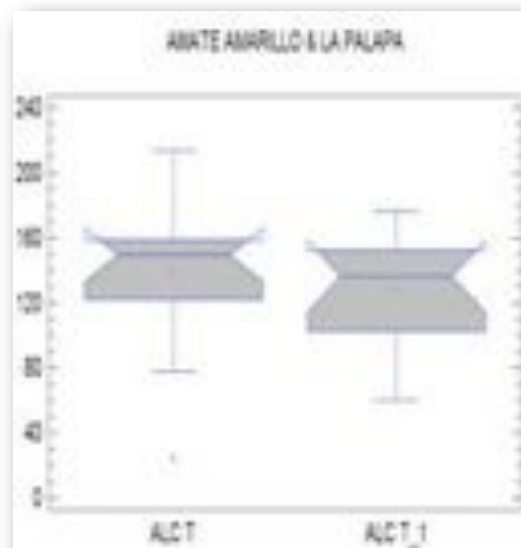


Figura 53. Comparación de la alcalinidad total para los dos sistemas



Para la dureza total (tabla 24 y figura 54) también se efectuó una prueba t-student= -1.0663 ($P>0.05$), por lo tanto no existen diferencias significativas entre los dos sistemas para estos dos parámetros.

Tabla 24. Concentración mensual de la dureza total para los dos sistemas

MES	DUREZA T. AMATE AMARILLO	DUREZA T. LA PALAPA
SEP	368.3554875	405.9680625
OCT	302.3645625	461.71125
NOV	501.125625	546.170625
DIC	457.20675	617.1165
ENE	540.54	574.32375
FEB	708.332625	601.35075
MAR	598.5354375	591.215625
ABR	590.0895	623.87325
MAY	612.612	577.702125
JUN	512.386875	582.206625
JUL	469.21875	516.76625
AGO	417.9175	470.47

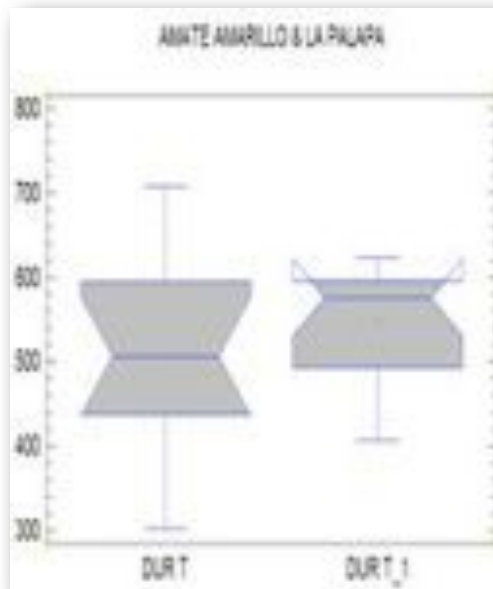


Figura 54. Comparación de la dureza total para los dos sistemas



DISCUSIÓN

Los cuerpos de agua Amate amarillo y la Palapa se localizan en una zona marcada por la temporada de secas y lluvias (figura 2), que tienen influencia directa con el proceso de concentración y dilución de nutrientes del sistema (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Hernández y col. 2002; 2007). Mazarí y col. (2007) mencionan que para estos sistemas marcados estacionalmente, se presenta un proceso de concentración de nutrientes; en los resultados obtenidos se pudo constatar esto, como en el caso del amonio que aumentó considerablemente en la época de secas, así como también la abundancia fitoplanctónica, ya que ciertamente se produjo una concentración de nutrimentos con una disminución del volumen, que finalmente afectó las características, físicas, químicas y biológicas del agua, lo cual aplicó para ambos embalses: Amate amarillo y la Palapa.

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 extensionismo acuícola (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992). Como se pudo observar, el Amate amarillo como la Palapa tienen este tipo de usos, aunque el principal es el utilizar el agua para actividades de riego, lo cual produce un impacto considerable en las condiciones ambientales de estos sistemas. De manera general se puede decir que estos sistemas son someros y poco profundos a lo largo del año, excepto durante la época de lluvias. Estos cuerpos de agua poseen grandes áreas en las que crece abundante vegetación de macrofitas en la zona litoral de acuerdo con lo mencionado por Wetzel (2001). Cabe señalar que el Amate amarillo y la Palapa al estar rodeados por campos agrícolas y vegetación, se altera radicalmente la productividad del sistema lacustre, ya que dichos reservorios reciben grandes entradas de nutrientes en relación con su volumen, lo que incrementa su capacidad productiva, principalmente en la época de lluvias. Debido a lo anterior, la Palapa y el Amate amarillo son sistemas altamente productivos y poco profundos, presentan una alta relación con el sedimento aunque esto es solo uno de los tantos factores que causan efecto en el estado trófico.

El funcionamiento y la dinámica de un cuerpo de agua está regido por tres componentes (el edáfico, climático y morfométrico). La morfometría constituye el área, la forma y la profundidad de un sistema lacustre, además este es uno de los componentes que actúa directamente sobre los parámetros físicos, químicos, los nutrimentos y los organismos (Wetzel, 1981), también menciona que la mayoría de los lagos se desvían mucho de la forma circular presentando formas subcirculares y elípticas, con valores de desarrollo de la línea de costa (D_L) aproximadamente



de 2 (los sistemas estudiados aquí presentan valores mayores a 1). Rico y col. (1995) y Hernani y Ramírez (2002) mencionan que cuando la forma es más alargada aumenta notablemente el valor del D_L , aún a pesar de que la Longitud máxima del Amate amarillo es mayor (379.20 m) al de la Palapa (320 m), el mapa morfométrico de este último muestra una forma triangular alargada, por lo que esto hace que su valor de D_L sea mayor (1.28 m) comparándolo con el del Amate amarillo (1.19 m). se puede mencionar también que al presentarse esta característica, la influencia del viento en el agua es mayor, afectando más el movimiento del agua en la Palapa, lo cual se pudo apreciar mejor a lo largo de los muestreos.

Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008), dicen que el valor de la relación ($\bar{Z}:Z_m$) en un cono ideal es de 0.33 y los cuerpos de agua que se aproximan a una forma de parábola elíptica tiene un valor de 0.5; considerando esto, la relación $\bar{Z}:Z_m$ para el Amate amarillo es 0.37 y para la Palapa 0.44, por lo cual el Amate amarillo tiene una forma de cubeta más cercana al de una depresión cónica y el sistema la Palapa una forma de la cubeta más parecida al de una sinusoide elíptica; incluso también el desarrollo del volumen (D_V) es un buen indicador de la depresión que ocupa el embalse (Wetzel, 2001; Ramón y Moyá, 1982; Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008), valores próximos a la unidad son un claro reflejo de una forma cónica de la depresión que ocupa, ahora bien los valores registrados para este parámetro son de $D_V = 1.31$ para la Palapa y de $D_V = 1.10$ en el Amate amarillo, siendo este último sistema el más cercano a la unidad; sin embargo, de manera general ambos sistemas presentan una tendencia de tipo cóncava, ya que los sistemas presentan valores de D_V superiores a la unidad, con sus respectivas variaciones que los hacen distar de un cono perfecto.

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 (Hernández-Avilés y Col, 1995). Esto se observa a lo largo del estudio, ya que tanto en el Amate amarillo como en la Palapa 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 es acarreado por las escorrentías en época de lluvias y al del afluente, característica principal de los cuerpos de agua artificiales mencionada por Thornton (1990), razón por la cual los microembalses tienen que ser desazolvados cada cierto tiempo.



Los valores de profundidad relativa (Z_r) son muy diferentes para los dos sistemas, según Hernani y Ramírez (2002) y Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008), los lagos y embalses con área superficial grande y poca profundidad presentan valores de Z_r menores al 1%, el valor calculado para el Amate amarillo fue de 0.64% y para la Palapa 1.28%, el cual se corroborar con lo dicho por estos autores solo en parte, ya que la regla aplica perfectamente para el Amate amarillo, mientras que para la Palapa al ser más profundo y con menor superficie que el Amate hace que la profundidad relativa incremente; sin embargo, en general ambos son sistemas someros en la época de secas y con gran superficie. Los valores inferiores a 2% de Z_r indican que las paredes del sistema presentan poca pendiente provocando baja estabilidad en la estratificación mientras que valores altos de Z_r permiten predecir que el sistema tiene tendencia a presentar estratificación y estabilidad fuerte así como también una alta resistencia a la acción del viento (Hernández-Avilés y Peña-Mendoza, 1992; Roldan-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008). Si corroboran los valores bajos de los Z_r en ambos sistemas junto con sus respectivos perfiles por ejemplo el del Amate amarillo, se puede ver que se trata de un sistema sin una estratificación estable y que no tiene una resistencia a la acción del viento y a los cambios en la temperatura, por lo que la estratificación de éste sistema se forma en ciertos momentos del día y se rompe con facilidad, estando frecuentemente en proceso de mezcla.

La importancia de estas curvas de área y volumen en las investigaciones limnológicas deriva de la relación existente entre la morfología del lago y la productividad biológica. Estas curvas hipsográficas representan la proporción relativa del área del fondo de un sistema acuático incluida entre los estratos considerados (Arredondo-Figueroa y col. 2007); según Torres y Orozco (2007) facilitan efectuar comparaciones entre distintos ambientes así como ver la relación que tiene la profundidad con el área y el volumen (profundidad-volumen); estas pueden expresarse mediante sus valores absolutos o de manera porcentual. En los sistemas que presentan curvas similares como la del Amate amarillo, su productividad biológica es elevada ya que muestran una mayor superposición de las zonas de producción fotosintéticas y de descomposición. La cantidad de agua somera de este sistema es un factor determinante en la interrelación de estas zonas, así como la determinación del área disponible para el crecimiento de macrofitas y comunidades litorales asociadas (Arredondo-Figueroa y col. 2007). La forma de las curvas hipsográficas relativas en ambos sistemas son ligeramente convexa, aquí también se puede mencionar que para las curvas hipsográficas absolutas el valor registrado para la zona fótica en la cual se lleva a cabo el proceso fotosintético, corresponde al 54% de la profundidad total, según Hernani y Ramírez (2002) cuando este valor es alto ó cercano al 41% se espera que la productividad del sistema sea alta, en los dos sistemas estudiados se puede ver



que la zona trofогénica está muy bien representada, ya que es aquí donde se lleva a cabo la producción de biomasa y oxígeno, siendo los valores para este parámetro indicadores de sistemas productivos. En los sistemas eutróficos, la turbiedad biogénica producida por las poblaciones de algas es alta, por lo que también es alta la productividad por volumen de agua, pero también las propias algas reducen así la penetración de la luz y reducen la zona trofогénica efectiva (González y col., 2004; Wetzel, 2001; De la Lanza-Espino y García-Calderón, 2002).

La temperatura del agua de los microembalses se mantuvo dentro del intervalo 20 a 30 °C, durante el ciclo anual, pero la temperatura a lo largo de la columna de agua tiende a variar según la época del año; por ejemplo, en la época de secas los sistemas presentan una estratificación a partir del medio día que tiene una duración de aproximadamente 9 horas y una ausencia de la estratificación térmica en la época de lluvias. El valor mínimo en el bordo Amate amarillo se registró en el mes de noviembre con 22.30 °C, mientras que para la Palapa se registró en el mes de febrero con 22.27 °C; el valor máximo registrado en el Amate amarillo fue en el mes de agosto con 27.4 °C, en el caso de la Palapa fue en el mes de junio con 28.85 °C. La temperatura ambiente y la temperatura del agua de los dos microembalses no presentan una relación directa a lo largo del estudio, como se puede apreciar en las gráficas de temperatura de cada sistema presentan una oscilación distinta a la que se observa en el nomograma, esto es debido a que los sistemas acuáticos tienen la capacidad de amortiguar los cambios bruscos de temperatura a causa de la alta capacidad calorífica que tiene el agua. Este comportamiento de la variación térmica en los sistemas es debida a la poca profundidad que presentan, la fuerza que ejerce el viento sobre la superficie del sistema y la extracción de los peces con las redes en los días que se realizaba el muestreo; los dos primeros factores determinan la rapidez de homogeneización térmica en la columna de agua tras un periodo breve de vientos persistentes, ligado a una disminución de la radiación solar incidente. Alvarez-Cobelas y col. (1986) mencionan que hay tres factores decisivos en el rompimiento de la estratificación térmica, la baja profundidad media (< de 3 metros), la escasa protección respecto al viento y el hecho de que haya alguna actividad antropogénica que modifique las condiciones de forma mecánica.

En cuanto al oxígeno disuelto en el agua, este es una de las variables más importantes de los ecosistemas acuáticos. Es esencial para el metabolismo de todos los organismos que presentan respiración aeróbica y las variaciones en su concentración proporcionan información no sólo sobre la intensidad de las reacciones químicas que tienen lugar en el medio, sino de la magnitud de la carga orgánica externa que llega al sistema, entre otros. En la Palapa y el Amate



amarillo el oxígeno se registró en concentraciones óptimas en promedio de 8.69 y 10.64 mg/L respectivamente; los valores más altos se observaron en los meses que descendió más la temperatura en el sistema (meses secos fríos que corresponden al periodo de diciembre a febrero), en ninguno de los bordos se encontró una relación entre el oxígeno y la clorofila "a" y por consiguiente entre la abundancia de fitoplancton, por lo que se puede decir que el oxígeno en estos sistemas se encuentra sujeto a otros factores externos, tal como lo menciona Arocena y col. (2008) que hay otros factores responsables en la oscilación del oxígeno en un sistema como son los procesos físicos de difusión del gas desde la atmósfera durante las épocas más frías, así como la turbulencia generada por el viento que puede tener más importancia en estos sistemas, que la actividad fotosintética de las algas. Por otro lado, es razonable pensar que los procesos de descomposición bacteriana sean los responsables de la reducción del oxígeno en la parte profunda observada en ambos embalses, especialmente en los meses de verano. Mazarí y col. (2007) registrarón concentraciones de oxígeno disuelto entre 4.09 y 9.20 mg/L, a lo que denominaron como agua en buenas condiciones, de manera similar los datos de oxígeno en el Amate amarillo van de 7.5 a 13.6 mg/L y en La Palapa de 5.6 a 12.9 mg/L, valores aún más altos, que también sirven para decir que estos dos sistemas tienen agua con buenas condiciones en los primeros metros de la zona vertical y permiten el desarrollo adecuado para los organismos acuáticos que habitan en ellos.

En cuanto al pH, alcalinidad y dureza total, Navarrete y col. (2000) mencionan que los valores obtenidos de dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbiedad están dentro de los límites de tolerancia para el crecimiento de la tilapia (*Oreochromis*). Con base en lo anterior, tanto el Amate amarillo como la Palapa pueden considerarse como ambientes adecuados para el desarrollo de vida acuática, debido a que la mayoría de los organismos toleran cambios de pH dentro del intervalo de 6 a 9 que normalmente se presenta en los ambientes acuáticos (De la Lanza, 1998). Prácticamente la totalidad de sus bases están en forma de bicarbonato, así como también tiene relación directa con el pH, ya que las concentraciones de CO_2 , HCO_3^- y $\text{CO}_3^{=}$ son los principales compuestos químicos que rigen el sistema tampón del microreservorio Boyd (1979). El pH en los sistemas no manifestó grandes cambios, en cambio la dureza y la alcalinidad en ambos sistemas siguieron un patrón similar, aumentando hacia la época de secas y disminuyendo en la época de lluvias. El hecho de que en los sistemas 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 CO_2 necesario para mantener en solución tales cantidades tan grandes de carbonato de calcio se está perdiendo en los procesos fotosintéticos de las algas y esto provoca una precipitación masiva de carbonato de calcio; esto se vio reflejado



en las rocas que se encuentran alrededor de los sistemas, que al quedar descubiertas cuando bajaba el nivel del agua en la época de secas, presentaban una capa de color blanca probablemente generada por la sedimentación del carbonato de calcio. No es normal que la concentración de dureza total en forma de carbonatos de calcio en un sistema sea tan elevada si el pH del sistema se mantiene por debajo de 9, esto quiere decir que la vía por la que se está generando el bicarbonato de calcio no es por la solubilización del suelo calcáreo que hay en el fondo del sistema, sino más bien por la entrada de este elemento al bordo ya que los suelos agrícolas que se encuentran alrededor de los microreservorios son utilizados en la actividad cañera, esta actividad agrícola requiere de mantener los suelos con un valor de pH alcalino por ende se encalan cada vez que se siembra la caña, todo este material rico en carbonatos de calcio pudiera ser lavado y dirigido por medio de las escorrentías en la época de lluvia a los microembalses. Las concentraciones de dureza en los dos sistemas hacen considerarlos como aguas duras, además de tener una correlación positiva con el fitoplancton total de estos cuerpos de agua. Quiroz y col. (2005) mencionan que los niveles de fósforo y otros elementos esenciales incrementan con la alcalinidad además tienen una estrecha relación con las concentraciones altas de dureza total, por lo que, se le puede considerar como un indicador de productividad y concentraciones de 200 mg/L son consideradas óptimas para cultivos piscícolas. Cabe mencionar que hubo una correlación positiva entre la alcalinidad y el fitoplancton solo en el Amate amarillo, así como también ambos sistemas son alcalinos y sus aguas son usadas para cultivo de peces. Ramírez (2008) reportó para el Amate amarillo un pH alcalino, buena oxigenación y aguas duras, por lo que se puede decir que esas características siguen prevaleciendo a pesar de que el Amate amarillo está sometido constantemente a la actividad pesquera y agrícola. Sus valores nutrimentales siguen estando por debajo de los límites permisibles según las normas oficiales mexicanas (Diario Oficial de la Federación, 1994 y 1996; Comisión Nacional del Agua, 2009), esto lo hace un sistema con una buena productividad y apto para el cultivo de peces. Por lo tanto, la condición del agua es aún buena para el uso que actualmente tiene; pero, hay que tener un seguimiento en el cuidado del sistema, caso más notorio de esto es la profundidad que ha disminuido de 5 m (Ramírez, 2008) a los 2.8 m registrados actualmente y el IET que lo clasifica ahora como eutrófico-hipereutrófico, estas son cuestiones a considerar para la calidad del agua de este sistema en los estudios siguientes. De la misma forma, la Palapa se comporta de manera similar en los mismos rubros que el Amate amarillo, con lo cual se puede decir que también se encuentra dentro de límites establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas, con buena productividad, buena oxigenación, apto para el cultivo de peces y en un estado eutrófico-hipertrófico.



El nitrógeno junto con el fósforo son constituyentes principales del protoplasma celular de los organismos. Es nutriente fundamental que afecta la productividad de las aguas dulces. El ciclo del nitrógeno en sistemas acuáticos es complejo ya que puede presentarse en varios estados de oxidación y su concentración es alterada por la fijación de N_2 atmosférico, la asimilación y la desnitrificación o reducción de NO_3 a N_2 . Para todos los efectos prácticos, el ciclo del nitrógeno en lagos, lagunas y embalses es de naturaleza microbiana: la oxidación y reducción bacteriana de compuestos de nitrógeno están acopladas con la asimilación fotosintética y la utilización por las algas, las bacterias fotosintéticas y las plantas acuáticas superiores. La sucesión de fitoplancton en la Palapa y Amate amarillo se asoció con el comportamiento cíclico de las concentraciones de NO_3 en los meses secos, principalmente en la parte cálida, que fue cuando ocurrió un incremento en las cianofitas que son organismos oportunistas, en esta época se registró una mayor concentración de NH_4 , siendo estos también los encargados de generar como producto de desecho amonio a partir del nitrato; la actividad pesquera también tiene un impacto sobre la presencia de amonio en la columna de agua ya que con la utilización de las redes de pesca, estas ejercen una acción sobre el sedimento resuspendiendo material sedimentado incluyendo al amonio y algunos otros nutrimentos que se encuentran en estado reducido. La presencia de nitrógeno inorgánico en los sistemas acuáticos también pueden ser un factor importante en la definición de la estructura de la comunidad. Los cambios en la estructura de las comunidades de fitoplancton pueden tener graves consecuencias en los niveles tróficos superiores, especialmente si las especies de fitoplancton que se ven favorecidas son de bajo valor nutricional para el zooplancton (Rabalais, 2002). Algo similar encontraron González-Villela y Banderas-Tarabay, (2002) en el lago El Sol, quienes asociaron la variación de las formas químicas del nitrógeno con la sucesión fitoplanctónica.

Los niveles de concentración de fósforo registrados en el ciclo anual 2009-2010, es el elemento principal para atribuir al embalse la categoría de eutrófico con tendencias a la hipertrofia ya que, según Carlson y Simpson (1996), entre las características de estos niveles tróficos figuran la poca profundidad, carencia de estratificación, resuspensión periódica de sedimentos por la acción del viento, gran magnitud del tiempo de residencia hidráulica, fuertes fluctuaciones diarias y estacionales en los niveles de nutrientes. la Palapa y el Amate amarillo, presentan estas características aunque el tiempo de residencia hidráulica es variable en estos dos sistemas, ya que el agua se utiliza para el riego agrícola. Pero a pesar de que las concentraciones de fósforo son el factor principal de que el IET se mantenga en los niveles de eutrofia anteriormente mencionados, este elemento no es controlado por los carbonatos que hay en exceso en los sistemas, ya que estos tienen concentraciones tan elevadas de carbonatos de calcio que le dan la



característica de aguas duras a los dos sistemas debido a la naturaleza calcárea de la cuenca, ya que, de acuerdo con Floy (1985), el calcio forma complejos altamente insolubles con el fósforo, con lo cual se logra la inactivación de este nutriente en los sedimentos; por lo tanto, las aguas duras del embalse contribuyen a disminuir la carga interna de fósforo. Gran parte del fósforo presente en el sistema se debe al aporte externo. Arocena y col. (2008) mencionan que los principales aportes de fósforo proceden de fuentes externas (puntuales y/o difusas: tributarios, escorrentía superficial, etc.) o de fuentes internas (entre ellas, especialmente, por resuspensión desde el sedimento). Las concentraciones de fósforo total, en ambos embalses, presentaron un patrón evidente de variación estacional, con las mínimas concentraciones durante la época de secas. Parte del fósforo permanece en el sistema de forma no disponible para los organismos. En este caso tarda mucho en reincorporarse en el ciclo del fósforo (Campbell, 1987) y es una de las variables que más influye en los dos sistemas.

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 ricos en fósforo, nitrógeno y potasio (Albert, 1997).

En lo que respecta a la producción y calidad del agua de los sistemas someros Quiroz y col. (2005) citan que el fitoplancton o limnoplanton (Reynolds, 2006) es un excelente indicador de la calidad del agua y el principal productor primario, ya que es el primero en la cadena trófica y propicia una elevada disponibilidad de alimento a los demás niveles tróficos, además de que es el principal productor de oxígeno disuelto y por ello, se considera como indicador de la calidad del agua, ya que algunas especies son muy sensibles a ciertos nutrimentos o sustancias. Como se pudo observar en las pruebas estadísticas, las correlaciones en ambos sistemas mostraron la estrecha relación que hay entre los organismos fitoplanctónicos y los nutrimentos, aumentando o disminuyendo a medida que estos se encontraban en proporciones diferentes a lo largo del estudio. Es importante lo que se menciona al respecto de esto, ya que en la temporada de secas disminuye el nivel de ambos sistemas, con ello la penetración de luz disminuye en los sistemas debido a la turbidez biogénica, causada por la materia orgánica particulada en suspensión la cual está constituida principalmente por los organismos fitoplanctónicos y por sólidos, lo que le da una coloración verde a los sistemas y por lo tanto, la producción primaria disminuye clasificándose a los



sistemas como hipereutrófico en la época de secas y como eutrófico en la época de dilución, similar a lo reportado por Arredondo-Figueroa y Flores-Nava (1992).

El fitoplancton está sujeto a una fuerte influencia estacional y en las zonas tropicales se pueden observar grandes contrastes entre las asociaciones de especies en la época de lluvias y de sequía y por lo tanto, la biomasa del fitoplancton parece guardar relación con el aumento y descenso del nivel de las aguas de un embalse (González y col., 2004). Si se tienen en cuenta estos conceptos, la comparación de fitoplancton entre estos dos sistemas muestra una similitud en el comportamiento que siguió aumentando gradualmente hacia la época de secas y disminuyendo gradualmente hacia el final de la época de lluvias, con clara dominancia de las clorofitas a lo largo de todo el estudio así como las concentraciones de clorofila "a". La Palapa muestra máximos de clorofila de los meses secos fríos a secos cálidos (diciembre a mayo), mientras que en el Amate las concentraciones fueron aumentando solo hacia la época de secas en los meses secos cálidos (abril y mayo) sin presentar máximos en meses fríos. Esto quiere decir que la producción presenta un patrón similar a la biomasa algal, ya que en términos volumétricos el fitoplancton en el Amate amarillo llegó hasta las 3×10^5 cel/ml correspondiente a $50 \mu\text{g/L}$ de clorofila "a" en la época de secas, mientras que en la Palapa se encontraron cerca de 16×10^4 cel/ml con concentraciones de clorofila "a" de $90 \mu\text{g/L}$ en la época de secas. De particular interés es la alta abundancia de organismos fitoplanctónicos en el Amate amarillo con menores concentraciones de clorofila, a diferencia de la Palapa que registró menor abundancia pero con mayores concentraciones de clorofila "a", esto puede deberse a que el fitoplancton en Amate amarillo tenga una proporción más elevada de algas con otros pigmentos en comparación con la Palapa, también se puede asociar la descarga diaria de agua para actividades agrícolas durante 6 horas con lo que la residencia hidráulica es menor, factor que no opera de la misma manera en la Palapa. La clorofila "a" ha sido ampliamente utilizada como estimador de la biomasa fitoplanctónica en la mayoría de programas de monitoreo, y utilizada como indicador del enriquecimiento por nutrientes, (Gowen, 1994; Reynolds, 2006; Paches, 2010). Para ambos sistemas muestra una relación directa entre el fitoplancton y la clorofila "a". La luz y los nutrientes limitan el crecimiento de las algas, como consecuencia del aumento de la carga de nutrientes en los sistemas dulceacuícolas (eutrofización), y por lo cual la biomasa y la productividad fitoplanctónica suelen aumentar (Margalef, 1983; Wetzel, 2001; González y col., 2004).

El fitoplancton de ambientes naturales es diverso con: diatomeas, dinoflagelados, euglenas, clorofitas y cianofitas. Estos productores primarios abundan predominantemente en ambientes ricos en materia orgánica y su importancia



desde el punto de vista de diversidad disminuye conforme aumenta la materia orgánica y los consumidores (Sládecek, 1979). Sin embargo, las respuestas de la comunidad en relación a los cambios ambientales son diversas. Por ejemplo puede haber un incremento en la biomasa sin modificaciones de la estructura de las poblaciones; cambios en la biomasa y en la estructura, pero conservando las especies; o bien, puede haber cambios que además incluyan a las especies (Abel, 1996). La clara dominancia de las clorofitas como primer lugar y las cianofitas en segundo muestra las relaciones que hay entre las poblaciones fitoplanctónicas de estos sistemas, así como el efecto de la carga de nutrimentos hacia cada uno de los cuerpos de agua.

Los organismos más representativos del fitoplancton en los bordos de climas cálidos son las clorofitas (Arredondo, 1993; Hernández-Avilés y col., 2007). Para la Palapa y Amate amarillo, se puede apreciar justamente lo descrito para el comportamiento de éstos, en los cuales los organismos más representativos son las clorofitas, siguiéndole las cianofitas en abundancia relativa. Ortiz (2006), Ramírez (2008) y Rosas (2009), mencionan que la división Chlorophyta es la que predomina en estos cuerpos de agua léntico del estado de Morelos, ya que las condiciones presentes en los sistemas fueron propicias para su óptimo desarrollo, debido a que la mayoría de sus especies son características de ambientes eutróficos, se desarrollan con mayor facilidad en los sistemas someros, son cosmopolitas, oportunistas, soportan grandes variaciones en las condiciones ambientales y son de amplia distribución. En este estudio las gráficas porcentuales de abundancia de los grupos fitoplanctónicos obtenidas para ambos sistemas, se observa una clara dominancia de la división Chlorophyta a lo largo del estudio. Los géneros como *Tetraedron*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus* y *Monoraphidium* son representativos de los sistemas someros eutróficos, muchas de sus especies aparecen en lugares hipereutróficos ya que son organismos oportunistas y suelen aparecer en cualquier época del año (Reynolds, 1984, 2006; Ortega y col. 1994; Ramírez, 2008). También Hernández-Avilés y col. (2002), mencionan que algunos de los organismos más representativos del fitoplancton en los bordos de climas cálidos son las clorofíceas, con los géneros: *Monoraphidium*, *Selenastrum*, *Pediastrum*, *Coleastrum*, *Crucigenia* y *Scenedesmus*. Corroborando lo dicho por estos autores, se tiene en los listados ficológicos que las clorofitas en ambos sistemas están muy bien representadas, ya que se registraron 5 órdenes: Chlorococcales, Tetrasporales, Microsporales, Ulotrichales y Desmidiáles; con un mayor número de géneros en los Chlorococcales como son: *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Kirchneriella*, *Monoraphidium*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Crucigenia* y *Pediastrum*, dejando en menor proporción a los demás géneros dentro de sus respectivos órdenes.



Ho y col. (2007) citan que el nivel de nitrógeno (N) inorgánico tiende a disminuir a un ritmo mayor que el fósforo (P) inorgánico durante el crecimiento de las algas en sistemas oligotróficos y eutróficos; el comportamiento del nitrógeno para los sistemas la Palapa y Amate amarillo muestran esta característica, el nitrógeno inorgánico en forma de nitratos tiende a disminuir gradualmente hacia la época de secas, momento en el que la abundancia del fitoplancton comienza a aumentar, en especial hablando de las cianobacterias o cianofitas (organismos fijadores), porque la demanda de nitrógeno en este periodo de secas es evidente por parte de las algas, muestra que existe una relación inversa entre las formas inorgánicas del nitrógeno y las cianofitas, demandando mayor cantidad de este nutrimento requerido en sus procesos biológicos. Una relación directa se puede ver entre la alcalinidad y las cianofitas, ya que la alcalinidad incrementa los niveles de ciertos nutrimentos como el fósforo y nitrógeno; de la misma forma que con los nitratos, el fósforo (en forma de ortofosfatos ó fósforo reactivo soluble) tiene una alta demanda por parte de estos organismos, haciendo claro que el nitrógeno al igual que el fósforo son dos nutrimentos muy importantes en estos sistemas para las poblaciones fitoplanctónicas ya que limitan su desarrollo y crecimiento (Ortega y col. 1994; Reynolds, 2006). Quiroz y col. (2005) reportaron que las cianofitas están muy relacionadas con la alcalinidad y dureza del agua, resultados similares registrados en este estudio, ya que para los dos sistemas, existe una alta relación entre la alcalinidad, la dureza, ya que se multiplican especialmente en condiciones marginales o cambiantes, y cuando las condiciones se hacen más normales o generalizadas, son desfasadas fácilmente por la competencia con otros organismos. Un ejemplo de esto en *Microcystis*, que son numerosas en este tipo de sistemas, por su modo de vida y por los pigmentos fotosintéticos que poseen, aprovechan mejor la luz e impiden el paso de la misma a los estratos inferiores de la masa de agua impidiendo el desarrollo masivo de muchas clorofíceas (Peinador, 1999). Por lo cual se puede decir que las cianofitas en estos sistemas son un indicador de la calidad del agua, en específico *Chroococcus* que es el que predominó en la división durante todo el estudio. En cuanto al listado ficológico, las cianofitas están bien representadas en ambos sistemas con tres órdenes: Chroococcales, Oscillatoriales y Nostocales, registrando un mayor número de géneros los Chroococcales como son: *Chroococcus*, *Microcystis* y *Merismopedia*; representando a las Oscillatoriales se tiene al género: *Oscillatoria* y al orden Nostocales al género *Nostoc*.

Las concentraciones de sílice en los sistemas acuáticos generalmente muestran variaciones notables en la distribución estacional y espacial. En sistemas eutróficos e hipereutróficos, la zona trofogénica generalmente presenta concentraciones bajas de sílice. Con respecto a las bacilariofitas, estos organismos contienen sílice en su estructura, construidas a partir de la



deshidratación y polimerización del ácido silícico. La accesibilidad de la sílice tiene entonces una gran influencia sobre la sucesión y la productividad según Wetzel (1981; 2001). Negro y col (1994) y Margalef (1983) señalan que el aumento de las diatomeas en distintas épocas del año acaba totalmente con la reserva silíceas del sistema en la capa trofógena, por ello existe una baja de este elemento en la época de secas y como bien se puede observar en las figuras 13 y 35 tanto para el Amate como para la Palapa, se tiene que el aumento en la población de diatomeas es más marcado en los meses secos (tanto fríos como cálidos), lo que genera una notable disminución en las concentraciones de los silicatos, mientras que una disminución en la población de diatomeas en los meses de lluvias deja mucho de este elemento disponible y con concentraciones altas en este periodo. En cuanto al listado ficológico se tiene que, el orden con más géneros fueron las diatomeas Pennales (19 géneros para el Amate amarillo y 12 géneros en la Palapa) como: *Fragilaria*, *Navicula* y *Gomphonema*, dejando en menor proporción a las diatomeas Centrales (3 géneros en la Palapa y 2 géneros en el Amate amarillo) siendo el más representativo *Stephanodiscus*.

Ramírez (2008) menciona un marcado aumento de la abundancia de la división Euglenophyta en época de lluvias, excepto por algunos sistemas donde se presentaron con mayor abundancia en la temporada de secas. De acuerdo a esto, en el Amate amarillo hay un incremento solo en la época de secas en los meses cálidos y fríos, mientras que en la Palapa los incrementos de euglenofitas ocurren solo en meses secos cálidos presentando también incrementos en meses lluviosos a diferencia del Amate amarillo. Wetzel (1981; 2001) menciona 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, lo cual se presentó durante la época de lluvias; también se menciona que estos organismos se encuentran con mayor frecuencia en aguas poco profundas, como en la Palapa y el Amate amarillo que son considerados como cuerpos de agua someros con gran cantidad de materia orgánica. En el listado ficológico las euglenofitas están presentes en un solo orden: Euglenales con tres géneros como son *Euglena*, *Phacus* y *Trachelomonas*, siendo el primer género constante en ambos sistemas.

Según Curtis y col. (2008) y Reynolds (2006), la división Xantophyta son algas verde-amarilla unicelulares, que también poseen clorofilas a y c, que habitan en aguas dulces y suelos húmedos en muy poca proporción y no suelen ser tan diversas. En el estudio, en la Palapa y Amate amarillo, se puede ver que las xantofitas son las menos abundantes, presentándose solo muy ocasionalmente en el año, más específicamente en la época de secas donde se registra su mayor abundancia, permaneciendo en todos los meses en menor proporción. En el



listado ficológico aparece representada en solo un orden: Mischococcales con dos géneros: *Bumilleriopsis* y *Goniochloris*.

El fitoplancton constituye una herramienta fundamental para el diagnóstico de la eutrofización, no solo porque proporciona una respuesta inicial al enriquecimiento de nutrientes sino porque también abarca cambios taxonómicos y de composición (Paches, 2010). Un alto porcentaje de las aguas interiores del mundo está sometido al efecto más o menos intenso de las actividades antropogénicas (González de Infante, 1988). Con frecuencia, los productos de desecho que resultan de esas actividades (domésticas, agrícolas e industriales) se incorporan en último término en ríos y lagos cuyas aguas experimentan cambios físicos y químicos y, por consiguiente, afectan también las comunidades que en ellos viven. De esta manera, la incorporación excesiva de nutrientes a los sistemas acuáticos influye directamente sobre el fitoplancton, por cuanto modifica su composición específica y eleva su producción (González de Infante, 1988). Ortega y col. (1994) mencionan que la Calidad Biológica mediante el Cociente de Asociación, se ha aplicado en algunos cuerpos de agua del Estado de México, donde menciona un valor de $C=1.3$ en la Laguna de Zempoala y un valor de $C=1.5$ en la Laguna Victoria; valores que clasifican a esos cuerpos de agua en un estado mesotrófico y los sistemas Amate amarillo y la Palapa se encuentran en valores más altos de C . El uso de este cociente en el Lago de Pátzcuaro, el valor de $C=27.0$ lo clasifica con un estado de Saprotrofico y si se compara este dato con valores para el Amate amarillo ($C=16$) y la Palapa ($C=8.75$) se corrobora que efectivamente el estado de Saprotrofico es el que presentan ambos sistemas de Morelos, en los que se encuentra una gran cantidad de nutrimentos disponibles, una alta dominancia de la división Chlorophyta, en especial el orden Chlorococcales, todo esto relacionado a su vez, con una alta capacidad productiva, además de estar en un proceso constante de eutrofización.

Por otra parte, los ciclos nictimerales que se realizaron en el Amate amarillo fueron de gran ayuda para comprender mejor la situación de mezcla y estratificación que se lleva a cabo en la columna de agua, así como para poder caracterizar al sistema desde el punto de vista térmico como cálido polimíctico discontinuo (Lewis, 1983). Quiroz y col. (2008) citan que los estudios nictimerales son particularmente importantes en los trópicos para conocer las variaciones ecológicas en ciclos diurnos y no solo estacionales; así mismo, también sirven para la aplicación de planes de manejo en diferentes ambientes. Además, mencionan que la mezcla en un lago es provocada en gran parte por la acción del viento, lo que produce la transferencia de calor de la superficie a las capas de agua más bajas y que la estratificación es producida por la temperatura ambiental y la incidencia de luz solar, aspecto similar presente en el Amate amarillo realizado



en el periodo de secas, en el cual la incidencia del viento a partir de ciertas horas (entre las 21:00 h y las 3:00 h) comenzó a causar que se rompiera la estratificación y después, el calentamiento e incidencia de los rayos solares durante la mañana y la tarde volvieron a propiciar de nuevo la estratificación entre las capas. En el periodo de lluvias la estratificación fue casi nula ya que la constante mezcla generada por la acción del viento, precipitación y la baja incidencia solar por la nubosidad en el sistema, impedía que se estratificara el sistema, por lo que es importante generar más conocimiento acerca de estos ecosistemas tropicales en el país, ya que esto puede servir para conocer y poder establecer un buen manejo de este recurso.

Ahora bien, cabe resaltar las sensibles diferencias entre ambos microembalses con respecto a la transparencia y la concentración de clorofila "a", a pesar de su proximidad y similitud en las características morfométricas y además por las características físicas y químicas que parecen ser idénticas en los dos sistemas. Los valores de la transparencia, medida con el disco de Secchi, en el microreservorio Amate amarillo son inferiores a los correspondientes al microembalse la Palapa. No obstante, las concentraciones de clorofila "a" en el bordo Amate amarillo son inferiores en la superficie del agua (0.30 m). La importancia de la clorofila "a" en la atenuación de la luz es mucho mayor en el microembalse la Palapa; mientras en el microreservorio Amate amarillo tienen más importancia los sólidos en suspensión y la materia particulada en las aguas. No obstante, las diferencias apuntadas también pueden haberse visto condicionadas en parte por la distinta morfometría de ambos microembalses (Moyá y Ramón, 1987). Estas diferencias también las encontraron Moyá y Ramón (1987) en una evolución de la clorofila y visibilidad al disco de Secchi en dos embalses de España, estos embalses compartían ciertas singularidades ya que se encuentran en el mismo lugar de estudio, pero encontraron que las características morfométricas influyen lo suficiente como para registrar que los valores de transparencia en ambos embalses son distintos al igual que los de las concentraciones de clorofila "a" y a su vez, demostraron que la clorofila tiene una relación inversa con la transparencia, pero que un factor fundamental en su estudio al momento de comparar esta entre los dos sistemas, es que la materia particulada en suspensión tiene una influencia directa con la disminución de la concentración de clorofila "a" junto con la disminución de la visibilidad.

La caracterización de los sistemas con el Índice de Estado Trófico (IET) ubican a estos sistemas como eutróficos principalmente durante la temporada de lluvias que tienden a ser hipereutróficos en época de secas, ya que en los dos sistemas la visibilidad al disco Secchi, fósforo total y clorofilas (particularmente los dos primeros) son los que afectan más en el IET promedio para ambos sistemas,



registrando valores cercanos al 100% que según Carlson y Simpson (1996), se encuentran en el intervalo de eutróficos e hipereutróficos, para los dos sistemas; ya que los valores de visibilidad al disco de Secchi estuvieron entre los 0.22 a 0.49 m para la Palapa y para el Amate amarillo entre 0.25 y 0.55 m, dejando en claro que para un sistema eutrófico con tendencia a hipereutrófico la visibilidad oscila de 0.5 m a 1.5 m.

En el análisis multivariado, los puntos en el gráfico de los pesos y los parámetros (CP1 y CP2; Figuras 46 y 48) formados por bloques de meses, se definen al menos tres grupos. Un grupo que se caracteriza por las bajas temperaturas, compuesto por las concentraciones de los parámetros en los meses de noviembre, diciembre y enero que representan a la época seca fría, con baja productividad primaria. En otro grupo se encuentran los parámetros de los meses de abril y mayo que se caracteriza por altas temperaturas, alta evaporación y ausencia de lluvias, este grupo representa a la época seca cálida. En el último grupo se ubican a los meses de junio a octubre, período caracterizado por fuertes precipitaciones y una alta concentración de nitratos. Febrero y marzo serían los meses de transición entre la época seca fría y la época seca cálida. El análisis multivariado de los dos sistemas (la Palapa y Amate amarillo) indica claramente que hay una relación directa entre los microembalses y los factores meteorológicos, los cuales están relacionados con la energía radiante y precipitación, además de que el componente edáfico juega un papel crucial en los microreservorios en la fase de concentración de estos dos sistemas. González-Villela y Banderas-Tarabay, (2002) encontraron algo similar a los resultados en el análisis multivariado, en un lago (El Sol) tropical de alta montaña en Toluca, Estado de México; los pesos que obtuvieron de los parámetros dividieron a los meses en dos grupos principales, uno de estos grupos, se caracteriza por las bajas temperaturas, compuesto de noviembre, marzo y abril -la temporada de frío y seco-, con baja productividad primaria. El segundo grupo incluye los meses ordenados a lo largo de un gradiente de julio, agosto y septiembre, período caracterizado por fuertes precipitaciones. Junio está en la zona intermedia y corresponde a una etapa de transición entre la temporada de frío y seco y la estación húmeda caliente. Ellos reportaron que los compartimentos hidrológicos y biológicos del lago El Sol fueron controlados por los factores meteorológicos, los cuales están directamente relacionados con la entrada de la energía radiante y mecánica. Asimismo, Ponce-Palafox y Arredondo-Figueroa (1986), mencionaron en su estudio que la morfometría de un sistema influye más en la dinámica de las variables físicas y químicas, en el presente estudio no se pudo apreciar esta relación ya que solo se determinó la morfometría de los sistemas una sola vez en el mes de octubre del 2010 y no se tomó 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 con la producción de los dos sistemas.

Con respecto a la actividad pesquera que tiene lugar en los sistemas Amate amarillo y la Palapa, se puede decir tomando como referencia a Navarrete y col. (2000) quienes trabajaron con bordos rurales poco profundos para el policultivo de carpas y tilapia, que los valores de dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbiedad obtenidos en el presente estudio están dentro de los límites de tolerancia para el crecimiento de *Oreochromis niloticus* que ellos reportan. En el caso más específico Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) mencionan que los sistemas polimícticos favorecen la producción de peces por la remoción constante de los materiales y nutrientes. Particularmente la clasificación térmica de cálido polimictico discontinuo se le pudo dar al Amate amarillo con base en ciclo nictimeral, ya que la estratificación que llegó a presentar el cuerpo de agua en ciertas horas del día indica que no existe una mezcla continua característica de lagos cálidos polimicticos, tal y como lo menciona Lewis (1983), esto se apoyó en las curvas clinógrada mensuales típicas de cuerpos de agua eutróficos. Por lo tanto, se puede mencionar que la Palapa y el Amate amarillo son buenos cuerpos de agua para el cultivo de peces, pero más aún, es pertinente analizar la oportunidad de un policultivo piscícola como estrategia, ya que según Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) esta 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 planctofagas 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.

La similitud que estos dos sistemas tienen en sus características físicas y químicas en todos los rubros limnológicos que se manejaron en este trabajo, también se debe en gran medida a que los sistemas comparten las mismas condiciones climáticas, edáficas y el mismo impacto antropogénico; sin embargo, es importante mencionar que a pesar de la similitud en las condiciones de ambos sistemas, una posible diferencia que se puede establecer entre estos cuerpos de agua es que este impacto antropocéntrico a pesar de ser del mismo tipo en ambos (al ser utilizados para el riego de campos agrícolas y con fines de acuicultura), el que resulta afectado en mayor grado por este es el bordo Amate amarillo a diferencia de la Palapa en el cual es más moderado, esto hace que la ruta trófica



sea distinta en ambos. En el Amate amarillo la ruta fitoplanctofaga es aparentemente la que se sigue, Wootton (1990) menciona que la dieta de los peces es un reflejo de los alimentos que están disponibles en el ambiente y que su disponibilidad puede determinar su preferencia alimentaria, es aquí donde estos organismos tienen una preferencia por el fitoplancton al no disponer de suficientes nutrimentos a causa de la salida constante de estos del sistema para el riego y de la pesca, aunque en el presente trabajo no se llevó a cabo ninguna captura de algún espécimen si se pudo apreciar a lo largo del estudio como el sistema era afectado de esta forma; Jiménez-Badillo y Nepita-Villanueva (2000) dicen que la preferencia alimentaria hacia el detritus y restos de plantas vasculares, obedece a su abundancia en el medio, además de que la vegetación natural que se implanta en las áreas desecadas que constituyen al descomponerse un importante aporte de materia orgánica, la Palapa presenta esta característica, la ruta del detritus tiene más peso que la fitoplanctofaga en este sistema, por ello es necesario que se sigan llevando estudios posteriores para poder probar esto, es necesario establecer otro tipo de análisis químicos (carbono orgánico particulado, DQO y DBO) y biológicos (tallas, pesos y hábitos alimentarios de los peces) que permitan llegar a comprobar esta aseveración, tal como lo menciona Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) y Hernández-Avilés y col. (2007).

Por otra parte la permanencia del agua en los dos sistemas es completamente distinta, ya que el Amate amarillo tiene una pérdida de agua de 6 de la mañana a 3 de la tarde, éste es el intervalo de tiempo que permanece abierta la compuerta del sistema, el hecho de que no haya una pérdida total de la masa de agua, es que el sistema tiene una entrada de agua que es constante aunque con intensidad variable, esta acción genera una pérdida de fitoplancton afectando su abundancia, esta corta residencia del agua en el embalse favorece el rompimiento de la estratificación térmica además del aporte de nutrimentos, y de que la circulación en el sistema permite la resuspensión de los nutrimentos y que estos queden disponibles a lo largo de la columna de agua. De lo anterior se puede deducir que, la estabilidad del embalse guarda una vinculación estrecha con su manejo y con la ocurrencia de precipitaciones abundantes (Betancourt, 2009). Ahora bien, en la Palapa este proceso de residencia del agua es completamente distinto ya que tiene una menor demanda de agua por parte de los agricultores, en este sistema se pudo observar como la pérdida de agua por medio de la evaporación en los meses secos era la principal causa en el descenso del nivel del agua, dejando más susceptible al sistema a la interacción del viento sobre la capa superficial del mismo y generando la pérdida de estratificación térmica y de los nutrimentos en la Palapa ocurriendo un proceso de mezcla, la relación tan estrecha con el sedimento en este sistema al igual que en el bordo Amate amarillo provoca la resuspensión de los nutrimentos a lo largo de la columna de la masa de agua.



CONCLUSIONES

En los sistemas el componente edáfico (sedimento) y el componente climático son los principales responsables en la dinámica, con las curvas hipsográficas se establecieron las zonas de productividad de los sistemas, encontrándose en ambos sistemas una amplia zona trofogénica.

La disponibilidad y abundancia de los nutrimentos en los dos sistemas, en especial el fósforo y el nitrógeno no dependen de la fase de concentración ya que es cuando en menor concentración se encuentran en los dos microembalses, sin embargo en la época de lluvias estas concentraciones de los nutrimentos incrementan.

Los sistemas se lograron caracterizar como cálidos polimíctico discontinuos, ya que estos presentaban una estratificación térmica a medio día y mezcla en el resto del día.

Los dos sistemas tanto Amate amarillo como la Palapa presentaron concentraciones optimas de oxígeno. Se registraron curvas clinogradas típicas de cuerpos eutróficos.

El sistema tampón estuvo regido por los bicarbonatos, obteniendo valores de pH ligeramente alcalinos, la dureza del agua fue muy elevada catalogando a los sistemas con aguas extremadamente duras, debido quizás al aporte externo de materiales ricos en carbonato de calcio en la época de lluvias procedente de los campos cañeros.

El IET de los sistemas los catalogó como eutróficos con tendencias a hipereutróficos, este índice también se vio afectado por el aporte de fósforo al sistema en la época de lluvias.

Los dos microembalses se consideran como sistemas saprotróficos, es decir que contienen una gran cantidad de nutrimentos disponibles para el desarrollo del fitoplancton.

En general el agua del bordo la Palapa y del Amate amarillo está dentro de los límites permisibles de calidad del agua de acuerdo a las normas oficiales mexicanas.



La abundancia de fitoplancton y la concentración de clorofila “a” fue ligeramente menor en el Amate amarillo en comparación de la Palapa, aunque se registraron los mismos órdenes en ambos sistemas, en Amate amarillo se registraron 25 géneros y en la Palapa 26 géneros.

De acuerdo al Análisis de Componentes Principales se seleccionaron 3 componentes en el caso del Amate amarillo y 4 componentes de la Palapa, donde se pueden agrupar las variables de acuerdo al componente que tuvo mayor peso en ella,s identificando al componente edáfico y al componente climático como los principales responsables de la dinámica de los dos sistemas.

El análisis de agrupamiento (Cluster) se realizó en función de las variables físicas y químicas, con respecto a los meses, así se pudieron clasificar a los meses de manera general en dos grupos los que pertenecen al época de secas y los que pertenecen a al época de lluvias.

Por ultimo los dos sistemas presentan diferencias en la permanencia del agua por efecto del uso de la misma para actividades agrícolas.



BIBLIOGRAFÍA

1. Abel, P.D. (1996). "Water pollution biology". Editorial Taylor and Frames Pubs. Great Britain. 286 p.
2. 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.
3. Alvarez-Cobelas M., A. Rubio, F.J. Acosta (1986). "Difusión vertical y estabilidad térmica en una laguna hipertrófica". Asociación Española de Limnología, Madrid España 2: 1-9.
4. Arocena, R., Chalar G., Fabián D., de León L., Brugnoli E., Silva M., Rodó E., Machado I., Pacheco, J. P., Castiglioni R., Gabito I., (2008). "Estado Trófico de Embalses Paso Severino y Canelón Grande". ConvenioDINAMA- Facultad de Ciencias (Sec. Limnología) Evaluación Ecológica de cursos de agua y biomonitoreo. Montevideo, Uruguay. 36 p.
5. Arredondo-Figueroa, J. L. y García-Calderón, J. L. (1982). "La conducta fisicoquímica y el rendimiento pesquero en un estanque temporal tropical utilizado para la piscicultura extensiva en el estado de Morelos". México. Rev. Lat. Acui. Lima. No. 12: 1-60.
6. Arredondo-Figueroa. J. L., (1986). "Piscicultura, Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva", México, Secretaría de Pesca. 182 p.
7. 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.
8. Arredondo, F.J.L. (1993). Fertilización y fertilizantes: Su uso y manejo en la acuicultura. UAM Iztapalapa, México. 202 p.



9. Arredondo-Figueroa, J. L., G. Díaz-Zabaleta, J.T. Ponce-Palafox (2007). "Limnología de presas mexicanas aspectos teóricos y prácticos". Primera edición. AGT Editor, S. A. y UAM Iztapalapa. México. 923p.
10. Barrera-Escorcia, G. y I. Wong-Chang. (2007). Eutrofización y calidad del agua 609-633. En: Arredondo-Figueroa, J.L., G. Díaz-Zabaleta y J.T. Ponce-Palafox (compiladores). "Limnología de presas mexicanas", 1ª Edición, Editorial AGT Editor S.A. México D.F.
11. Betancourt, C., R. Suárez., L. Toledo. (2009). "Ciclo anual del nitrógeno y el fósforo en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba". España. *Limnetica*, 28 (1): 79-90.
12. Boyd, C. (1979). "Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Agricultural Experiment Station". Auburn University, Alabama, USA. 369 p.
13. Campbell, R. (1987). "Ecología Microbiana". Editorial Limusa, México. 268 p.
14. Carlson, R. E. (1977). "A trophic state index for lakes". *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
15. Carlson, R.E. y Simpson, J. (1996). "A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods". North American Lake Management Society. 96 p.
16. Cervantes, S.A., (1984). "Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos". México, UNAM, 103 p.
17. Cloudsley-Thompson, J.L. (1979). "El hombre y la biología de zonas áridas". Editorial Blume. Barcelona. 255 p.
18. Comas, G. A. (1996). "Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba". Gebruder Borntraeger-Stuttgart. 192 p.
19. Comisión Nacional del Agua, (2009). "Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales". Edición 2009. Editor Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F. 107p.



20. CONAPESCA, (2008). "Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca". SAGARPA. México. 194 p.
21. Contreras-MacBeath, T., (1995). "Ecosistemas acuáticos del estado de Morelos con énfasis en los peces". Ciencia y Desarrollo, 20(122): 43-51.
22. Contreras, E.F., (1994). "Manual de técnicas Hidrobiológicas", Editorial Trillas: UNAM, 149 p.
23. Curtis, H., S. Barnes, A. Schnek (2008). "Biología". Séptima edición. Editorial Médica Panamericana. 1160p.
24. De la Lanza, E. G. (1998). Aspectos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua 1-26. En: Martínez, C. L. R. (Compilador). "Ecología de los sistemas acuícolas. Bases ecológicas para el desarrollo de la acuicultura". AGT. México. 227p.
25. Diario Oficial de la Federación (DOF), (1994). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México D.F. 21p.
26. Diario Oficial de la Federación (DOF), (1996). Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México, D.F. 25 p.
27. Dillard, G. E. (1989). "Freshwater Algae of the Southeastern United States". Gebruder Borntraeger-Stuttgart. Germany. 284 p.
28. Dorantes, G. E. M. y B. M. Zavala. (2003). "Estudio de la Calidad de Agua de tres cuerpos acuáticos del Estado de Morelos". Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. 92 p.
29. Echaniz, S. y A. Vignatti. (2009). "Determinación del Estado Trófico y de la capacidad de carga del Embalse casa de Piedra". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Uruguay. BioScriba Vol. 2: 41-51.



30. Ettl H. y Gärtner G. (1988). "Chlorophyta II". GebruderBorntraeger-Stuttgart. Germany. 436 p.
31. Floy, R. H. (1985). "Phosphorus inactivation in an eutrophic lake by the direct addition of ferric aluminum sulphate: impact on iron and phosphorus". *Freshwater Biology* 15: 613-629.
32. Fraile, H., E. Orive y J. Pozo. (1995). "Evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (río Tera, Zamora)". *Asociación Española de Limnología, Madrid. Limnética*, 11 (2): 29-37.
33. García, E. (2004). "Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen". Quinta edición. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90 p.
34. Gayral, P. (1954). "Recherches phytolimnologiques au Maroc". *Intav. Inst. Scient. Cherif. Ser. Bot.* 306 p.
35. Gómez-Márquez, J.L., B. Peña-Mendoza, J.L. Arredondo-Figueroa, I.H. Salgado-Ugarte y E.A. Guerra-Hernández (2007a). "Lago Coatetelco, Morelos": 171-183. En: De La Lanza-Espino., S. Hernández-Pulido. (compiladores) "Las aguas interiores de México: Conceptos y Casos" 1a Edición, Editorial AGT Editor S.A. México, D.F.
36. Gómez-Márquez, J.L., B. Peña-Mendoza, I.H. Salgado-Ugarte, O. Flores-Maldonado y J.L. Guzmán-Santiago. (2007b). "Presa Emiliano Zapata, Morelos": 449-463. En: De La Lanza-Espino. y S. Hernández-Pulido. (compiladores). "Las aguas interiores de México: Conceptos y Casos" 1a Edición, Editorial AGT Editor S.A., México, D.F.
37. 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 El Rodeo, Morelos febrero 2001 a febrero 2002": 86-100. En: Sánchez J. A., M. G. Hidalgo, S. L. W. Arriaga y W. M. S. Contreras (Compiladores). "Perspectivas en Zoología Mexicana". Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
38. González, J. E., M. Ortaz, C. Peñaherrera y M. L. Matos. (2004). "Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche,



Venezuela): Abundancia, biomasa y producción primaria”.
INTERCIENCIA, 29 (10): 548-555.

39. 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.
40. González-Villela, R. y A. Banderas-Tarabay. (2002). “Multivariate analysis of the primary production in a tropical high mountain lake in México”. *Journal of Freshwater Ecology*, 17 (1): 75-83.
41. Gowen, R.J. (1994). “Managing eutrophication associated with aquaculture development”. *J. Appl. Ichthyol.*, 10: 242-257.
42. Granados-Ramírez, J.G., y C. Alvarez-Del Angel. (2003). “Rotíferos de embalses: subcuena del río Cuautla, Morelos-México”. *Scientiae Naturae*, Universidad Autónoma de Aguascalientes México, 6(1): 33-44.
43. Granados-Ramírez, J.G., C. Alvarez-Del Angel, M. Martínez-Alaniz, M. Romero-Aguilar, L. M. Arteaga-Núñez y J. L. Zavala-Aragón. (2003). “Variación poblacional de los rotíferos (Clase: Monogononta) de tres cuerpos de agua de la subcuena del río Cuautla, Morelos, México (ciclo enero-diciembre 2003)”. *Scientiae Naturae*, Universidad Autónoma de Aguascalientes México, 9(2): 5-21.
44. Granados-Ramírez, J.G., E. Suárez-Morales. (2003). “A new *Hesperodiaptomus* Light (Copepoda, Calanoida, Diaptomidae) from Mexico with comments on the distribution of the genus”. *Journal of Plankton Research*, Oxford University England, 25(11): 1383-1395.
45. Hernández-Avilés, J.S., B. Peña-Mendoza. (1992). “Rendimientos piscícolas En dos bordos semi-permanentes en el estado de morelos, méxico”. *Hidrobiológica*, Vol. 2, No. 1-2: 11-23.
46. Hernández-Avilés, S. J., M. del C. Galindo de Santiago, y J. Loera-Pérez. (1995). “Bordos o microembalses”: 291-308. En: De la Lanza-Espino, G. y J. L. García-Calderón. (Compiladores). “Lagos y presas de México”, Centro de Ecología y Desarrollo. México, D.F.
47. Hernández-Avilés, S. J., M. del C. Galindo de Santiago, y J. Loera-Pérez. (2002). “Bordos o microembalses”: 599-618. En: De la Lanza-



Espino, G. y J. L. García-Calderón. (Compiladores). "Lagos y presas de México", 1ª Edición, Editorial AGT Editor S.A. México, D.F.

48. Hernández-Avilés, S. J., M. del C. Galindo de Santiago, y J. Loera-Pérez. (2007). "Microembalses: una alternativa a la limnicultura": 597-620. En: De la Lanza-Espino, G. y S. Hernández-Pulido. (Compiladores). "Las aguas interiores de México: Conceptos y Casos", 1ª Edición, Editorial AGT Editor S.A. México, D.F.
49. Hernani, A. y J. J. Ramírez. (2002). "Aspectos Morfometricos y Teóricos de un Embalse Tropical de Alta montaña: Represa La Fe, El Retiro, Colombia". Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol. 26, No. 101: 511-518.
50. Ho, S. K., J. H. Soon, K. S. Jae, G. A. Kwang y G. Y. Chun. (2007). "Efectos de la limitación de nutrientes y N:P en el crecimiento del fitoplancton en un embalse superficial hipertrófico". Hidrobiología 581: 255-267.
51. INEGI, (2000). "Anuario Estadístico del Estado de Morelos". Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 461p.
52. Jiménez-Badillo, M. de L. y M. R. Nepita-Villanueva (2000) "Espectro trófico de la tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) en la presa Infiernillo, Michoacán-Guerrero, México". Rev. biol. trop. 48(2-3) 487-494.
53. John M. D., Whitton A. B. y Brook J. A. (2002). "The Freshwater Algal flora of the British isles". 1a Published. The Natural History Museum and the British Physiological Society. United Kingdom. 702 p.
54. Krammer K. y Lange-Bertalot H. (1986). "Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae". Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 874 p.
55. Krammer K. y Lange-Bertalot H. (1988). "Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae". Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 592 p.
56. Krammer K. y Lange-Bertalot H. (1991a). "Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilareaceae, Eunotiaceae". Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 574 p.



57. Krammer K. y Lange-Bertalot H. (1991b). "Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae, KritischeErgänzungenzuNavicula (Lineolatae) und GomphonemaGesamtliteraturverzeichnis". Gustav Fischer Verlag: Stuttgart. Germany. 432 p.
58. Lewis, W.M., Jr. (1983). "A revised classification of lakes based on mixing". Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 1779-1787.
59. Lima-Mendoza. A. J. (2007). "Evaluación Bacteriológica de la calidad del agua del Rio Lerma, México". Tesis de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 76 p.
60. López-Blanco, J. y L. Zambrano-González. (2001). "Propiedades Limnéticas de Sistemas Dulceacuícolas Pequeños En Acambay, México: Correlación de Datos de Campo con Imágenes de Video con Color", Universidad Nacional Autónoma de México, Investigaciones Geográficas, No. 044: 64-84.
61. Magallón-Barajas, S., J. Paulo-Maya, E. Díaz-Pardo. (1992). "Avances en el conocimiento de la presa los carros, Morelos, un embalse de reciente formación". Universidad : Ciencia y Tecnología, México, Vol.2, No.2:121-129.
62. Margalef, R. (1983). "Limnología". Primera edición. Editorial Omega. Barcelona España. 1024 p.
63. Mazari-Hiriart, M. (2003). "El agua como recurso". Cómo Ves?, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., No. 5:10-12.
64. Mazari-Hiriart, M., G. Pérez-Ortiz y A. C. Espinosa-García. (2007). "Impacto de la interrupción del caudal ecológico sobre la calidad del agua". Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, 17 p.
65. Moyá, G. y G. Ramón. (1981). "Contribución al conocimiento de la mineralización de las aguas de los embalses de Cúber y GorgBlau y de sus principales aportes". Bol. Soc. Hist. Nat. Balears. Mallorca, 25: 2 1-30.



66. Moyá, G. y G. Ramón. (1987). "Disco de Secchi y Clorofila a en dos embalses de aguas mineralizadas". Asociación Española de Limnología, Madrid , España 3: 165-170.
67. 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.
68. Needham, J. G. y Needham, P. R. (1972). "Los seres vivos de las aguas dulces". Editorial Reverte. California, Estados Unidos. 131 p.
69. Negro, A.I., C. de Hoyos, A. del Rio y R. Le Cohu (1994). "Comparación de las comunidades fitoplanctónicas en dos embalses de reciente creación: Riaño y Valparaíso (España)". Asociación Española de Limnología, Madrid. España. Limnetica 10(1): 115-121.
70. Novotny, V. y H. Olem. (1994). "Water quality prevention, identification and management of diffuse pollution". Editorial Van Nostrand Reinhold. Nueva York. 849 p.
71. Nygaard, G. (1947). "Hydrobiological studies on some danish ponds and lakes". Det. Kong. Dansk. Vidensk. Selsk. Bivl. Bkr. 293 p.
72. Ortega, G. M. M. (1984). "Catalogo de Algas continentales recientes de México". 1a Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Coordinación de la investigación científica Instituto de Biología. México D.F. 307 p.
73. 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.
74. Ortiz, R. A. (2006). "Estudios de los sistemas acuáticos (lénticos) del Estado de Morelos". Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. 152 p.
75. Pacheco-Meneses, A., M. Galván-García, M. del P. Leal Hernández, J. Lugo Quintar, J. Gallina Álvarez, R. Romero Ramos y Col. (1982), "Técnicas de Análisis Fisicoquímicos para Aguas", 5ª Edición, Dirección



General de usos del agua y prevención de la contaminación. SARH. México. 319 p.

76. Paches, G. M. (2010). "Un sistema de indicadores ecológicos para la Directiva Marco del Agua basado en la composición de la comunidad fitoplanctónica", Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, España. 198 p.
77. Palua-Ibars, A. (2003). "Medidas de gestión y adecuación ambiental de embalses frente a la eutrofia" Asociación Española de Limnología, Madrid. España. *Limnetica* 22(1-2): 1-13.
78. Parra-Flores. A. M. (2006). "Evaluación de la productividad primaria, secundaria y calidad del agua sobre el crecimiento de *Oreochromis niloticus* (hormonada) en dos embalses de Alto Amacuzac, Morelos, México". Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 59 p.
79. Parra-Flores. A. M., E. P. Santibáñez S. y J. G. Granados-Ramírez. (2006). "Productividad del zooplancton de dos embalses del Alto Amacuzac, Morelos, México". *Scientiae Naturae*, Universidad Autónoma de Aguascalientes México, 8(2): 5-16.
80. Peinador, M. (1999). "Las cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica". *Revista de Biología Tropical*. 47(3): 381-391.
81. Peña-Messina, E., J.T. Ponce-Palafox, 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.
82. Peña-Sánchez de Rivera, D. (1987). "Estadística. Modelos y Métodos. Volumen 2". 1ª Edición. Alianza Editorial. Madrid España. 481 p.
83. Pichler, W. (1939) "Unsere derzeitige Kenntnis van der Thermik Kleiner Gewässer Thermische Kleingewassertypen. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* 38: 231-242.



84. Ponce-Palafox, J.T. y J.L. Arredondo-Figueroa, (1986) "Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal tropical, por medio de la aplicación de modelos multivariados" *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, México, 13(2): 47-66.
85. Ponce-Palafox, J.T., D. Hernández-Ocampo, J. Díaz-Álvarez y H. Esparza-Leal. (2007). "Aplicación de modelos multivariados en el estudio de las presas":176-192. 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.
86. Porras, D.D., O. Castrejón y O.D. Hernández. (1991). "Recursos Acuáticos del Estado de Morelos (Embalses)". *Universidad. Ciencia y Tecnología*. UAEM, 1(4): 19-36.
87. Quiroz-Castelán, H., M. Díaz-Vargas, R. Trejo-Albarrán, 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.
88. 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.
89. Quiroz-Castelán, H., I. Molina-Astudillo, J. García-Rodríguez y M. Díaz-Vargas. (2007). "Los lagos Zempoala y Tontiahua del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos": 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.
90. Quiroz-Castelán, H., O. Mondragon-Eslaval., I. Molina-Astudillo, J. García-Rodríguez y M. Díaz-Vargas, (2008) "Dinámica espacio-temporal de oxígeno-temperatura en los lagos Zempoala y Tonatiahua". *Acta Universitaria*, Universidad de Guanajuato, México. Vol. 18, No. 001: 57-65.
91. Rabalais, N.N. (2002). "Nitrogen in Aquatic Ecosystems". *Royal Swedish Academy of Sciences. Ambio* 13(2): 102-112.



92. Ramírez, R.R.A. (2008) "Análisis del recurso acuático (sistemas lénticos) de Morelos en la parte norte-oriental". Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal. 174 p.
93. Ramón, G. y G. Moyá (1982). "Características Morfológicas y Morfométricas de los Embalses de Cuber y Gorg Blau (Mallorca)". Bol. Soc. Hist. Nat. Belears 26: 145-150.
94. Reynolds, C.S. (1984). "The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press". 384 p.
95. Reynolds, C.S. (2006). The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press. New York. 535 p.
96. Rico, E., A. Chicote, M.E. González y C. Montes. (1995). "Batimetría y Análisis Morfométrico del lago de Arreo (N. España)". Asociación Española de Limnología, Madrid. España. Limnetica 11(1): 55-58.
97. Roldan-Pérez. G. y J.J. Ramírez-Restrepo. (2008). "Fundamentos de Limnología neotropical". Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 442 p.
98. Rosas, H. M. P. (2009). "Caracterización física, química y biológica de los sistemas acuáticos lénticos de la región sur-oriental del Estado de Morelos". Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal. 238 p.
99. Ruibal C. (2000). "Monitoreo Ambiental y Caracterización Limnológica de un cuerpo de Agua Eutrofizado: Lago San Roque (Córdoba)". Instituto Nacional del Agua y del Medio Ambiente (CIRSA). Argentina. 7 p.
100. Salgado, U. I. H. (1992). "El análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones". Primera edición. MARC ediciones. México, D.F. 243 p.
101. Schoworbel, J. (1975). "Métodos hidrobiología (biología del agua dulce)". Editorial H. Blume Ediciones Madrid, España: 262 p.



102. Seóñez-Calvo, M. (1999). "Aguas residuales, tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos Científicos, tecnología y diseño". Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 326 p.
103. Sládecek, V. (1979). "Continental systems for the assessment for river water quality": 331-332. En: James, A. y Evison, L. (Compiladores). "Biological indicators of water quality". Editorial J. Wiley & Sons. Gran Bretaña.
104. Sugunan, V.V. (1997). Fisheries management of small water bodies in seven countries in Africa, Asia and Latin America. FAO Fisheries Circular. No. 933. Rome, FAO. 149 p.
105. Thornton, K.W. (1990). "Perspectives on reservoir limnology". En: Thornton, K.W., Kimmel, B.L. and Payne, F.E. (Compiladores). "Reservoir limnology: Ecological perspectives. Editorial Wiley Interscience. New York. 1-13.
106. Thunmarck, S. V. (1945). "Zursociologie des suswasser planktons". Folia Limnol. Scand. 66 p.
107. Tinoco, J.R. y Atanacio, D.L. (inédito 1988). "Inventario nacional de cuerpos de agua". Dirección General de Acuacultura, Secretaría de Pesca, Pachuca Hidalgo, México. 70 p.
108. Torres, Roberto E. y Orozco B. (2007). "Batimetría y morfometría": 3-19. 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.
109. Urbina-Torres, F. y J.A. Robles-Dávila. (1992). "Los zambullidores y garzas de Morelos, México". Universidad: Ciencia y Tecnología, México, 1992 Vol. 2, No.2: 71-86.
110. Wetzel, G.R. (1981). "Limnología". Primera Edición. Editorial Ediciones Omega. Barcelona España: 679 p.
111. Wetzel, G.R. (2001). "Limnology: Lake and River Ecosystems". 3er Edition. Academic Press, San Diego, E.U. 1006 p.



112. Williams, D.D. (2005). "Temporary forest pools: can we see the water for the trees". *Wetlands Ecology and Management*, Vol. 13.No. 3: 213-233.
113. Wootton, R.J. (1990) "Ecology of Teleost Fishes". Chapman and Hall. Fish and Fisheries Series 1. Londres. 404 p.