

## Dinámica espacio-temporal de oxígeno-temperatura en los lagos Zempoala y Tonatiahua

Héctor Quiroz Castelán\*, Oliva Mondragón Eslava\*, Isela Molina Astudillo\*,  
Judith García Rodríguez\* y Migdalia Díaz Vargas\*

### RESUMEN

Los estudios nictimerales son particularmente importantes en los trópicos para conocer las variaciones ecológicas en ciclos diurnos, y no sólo en estacionales, y lo son no sólo desde el punto de vista conceptual, sino para la aplicación de planes de manejo en diferentes ambientes. El objetivo fue analizar las variaciones del oxígeno disuelto, porcentaje de saturación y temperatura en la columna de agua durante ciclos nictimerales, en los lagos Zempoala y Tonatiahua ubicados en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Los mayores valores oxígeno disuelto, se presentaron en Zempoala, y la temperatura fue análoga en ambos lagos de acuerdo a los valores promedio totales. La variación de los parámetros estuvo directamente influenciada por la estacionalidad, su morfometría y entorno. El lago Zempoala se consideró como meromictico con tendencias a monomictico cálido y Tonatiahua como monomictico cálido.

### ABSTRACT

The nictimeral studies are particularly important in the tropics, to know the ecology variations in diurnal cycles and not only in seasonal cycles. And this is not only from the conceptual point of view, rather for the application of management plans in different environments. The objective was to analyze the variations of dissolved oxygen, percentage of saturation and temperature in the water column during nictimeral cycles, in the lakes of Zempoala and Tonatiahua located in the National Park Lagunas de Zempoala. The greater values of oxygen appeared in Zempoala, and the temperature was analogous in both lakes according to the total values average. Variation of the parameters was directly influenced by the seasonal changes, its morphometry and surroundings. Zempoala lake was considered itself as meromictic with tendencies to warm monomictic and Tonatiahua as warm monomictic.

Recibido: 10 de Octubre de 2006  
Aceptado: 20 de Noviembre de 2007

### INTRODUCCIÓN

Para entender la función de los organismos acuáticos y su interacción, entre ellos mismos y con su medio, es necesario entender todos los factores que inciden en el ambiente acuático en el que se desarrollan. Estos factores, aunque relacionados, operan independientemente. Esto complica su entendimiento y hace necesario definir las escalas temporales y espaciales que éstos abarcan. Pese a entenderse cuales son los factores operantes en éstos ambientes, el principal problema en el neotrópico, es que los modelos ecológicos de ecosistemas acuáticos han sido desarrollados en zonas templadas. Dichos modelos no pueden pretender ser universales debido a que las condiciones ambientales y los organismos en las zonas tropicales son diferentes, con representación de muchos grupos que están ausentes en las zonas templadas. Además, el neotrópico presenta características hidrológicas, como los regímenes de lluvias y la variación de flujos o épocas de estiaje, muy diferentes a los trópicos asiáticos y africanos, lo cual está acompañado de diferencias en la fauna y flora asociada a estos sistemas (Lewis, 1996, Wetzel, 2001).

#### Palabras clave:

Temperatura; Oxígeno disuelto; Estacionalidad; Ciclos nictimerales.

#### Keywords:

Temperature; Dissolved oxygen; Seasonal changes; Nictimeral cycles.

La temperatura del agua afecta directamente los procesos anabólicos y catabólicos en los lagos, sus variaciones están relacionadas con la presencia y/o ausencia de gases fundamentales para los organismos. Es el factor con mayor influencia en los lagos y puede determinar la densidad, viscosi-

\* Laboratorio de Hidrobiología del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad # 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. C.P. 62209. Correos electrónicos: quiroz@cib.uaem.mx y castelanqh@yahoo.com.mx.

dad y movimiento del agua, asimismo representa un aspecto fundamental en la distribución y reproducción de los organismos, debido a que el agua presenta ciertas propiedades térmicas que tienen un efecto sobre su homeostasis (Lewis, 2000).

El oxígeno es el parámetro más importante en los lagos, es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos que presentan respiración de tipo aerobio (Díaz, *et al.*, 2005). El oxígeno atmosférico presenta una solubilidad del 35%, ésta se ve afectada de manera no lineal por la temperatura, aumentando considerablemente al disminuir la temperatura del agua. Aunque la respiración vegetal y animal puede consumir enormes cantidades de oxígeno disuelto, el mayor consumo dentro de un lago es debido a la respiración bacteriana que descompone la materia orgánica.

Por lo mencionado anteriormente, la relación entre la temperatura y el oxígeno disuelto es fundamental en los estudios limnológicos, ya que pueden presentarse variaciones tanto verticales como horizontales y zonificaciones, relacionadas con los cambios ocasionados por la distribución de la luz, registrándose de manera temporal, periodos de luz - oscuridad, diarios, mensuales y/o estacionales. Los estudios nictimerales son particularmente importantes en los trópicos para conocer las variaciones ecológicas en ciclos diurnos (24 horas) que en ciclos estacionales (12 meses) (Ganf y Horn, 1975). En los ciclos diurnos, las reorganizaciones verticales periódicas ocurren con características complejas, particularmente en ecosistemas acuáticos someros, los cuales son pobremente entendidos (Gavilan, 1990). Asimismo, los estudios nictimerales son importantes no sólo desde el punto de vista conceptual, si no para la aplicación de planes de manejo en diferentes ambientes (Barbosa, 1996).

En el estado de Morelos los principales ambientes acuáticos de la región norte son los lagos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, los cuales presentan condiciones bióticas y abióticas particulares debido a su ubicación y situación actual, por lo que los estudios realizados sobre los parámetros físicos y químicos del agua, permiten caracterizarlos y establecer algunos aspectos puntuales sobre sus fluctuaciones en ciclos nictimerales, durante periodos de tiempo específicos. Tomando en cuenta lo anterior se consideró el siguiente objetivo: Analizar la variación horizontal y vertical de la temperatura y el oxígeno disuelto, durante ciclos de 24 horas en los lagos Zempoala y Tonatiahua del Parque Nacional Lagunas de Zempoala.

## MÉTODOS

El Parque Nacional Lagunas de Zempoala se localiza a 65 km, al sur de la ciudad de México y a 38 km al norte de la ciudad de Cuernavaca, cuenta con una superficie de 4 790 hectáreas de las cuales 3 965 pertenecen al estado de Morelos y 825 al estado de México. Se encuentra ubicado entre los 19°06'00" L. N. y 99°16'00" L. O. a altitudes comprendidas de los 2 400 a 2 800 m. Perteneció a la altiplanicie mexicana en la meseta central o de Anáhuac (Arredondo y Aguilar, 1987).

El lago Zempoala es una cuenca lacustre con condiciones hidrológicas estáticas, con escasa circulación de la masa de agua (Tricart, 1985; Arredondo y Aguilar, 1987). Se encuentra localizado entre las coordenadas 19°03'00" L. N. y 99°18'42" L. O. a una altitud de 2 800 m al pie del cerro Zempoala. Es una cuenca endorréica con drenaje de tipo torrencial que sólo lleva agua en la temporada de lluvias, es alimentado permanentemente por el arroyo "las trancas", tiene una superficie que va de 10.56 hectáreas, en la época de estiaje a 12,34 hectáreas, en la época de lluvias, con 401,73 a 508 m de largo máximo en dirección Norte noreste y Sur suroeste, con ancho máximo de 403.58 m, ancho promedio de 207,9 m presenta agua durante todo el año. Con una profundidad promedio durante el año de 8,0 m. El tipo de suelo que lo rodea y el que domina es andosol húmico, en la parte suroeste lo rodea una mezcla de suelos de tipo litosol, andosol húmico y regosol eútrico (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1979).

El Lago Tonatiahua, se encuentra localizado entre las coordenadas 19°03' L. N. y 19°19' L. O. a una altitud de 2 810 m al pie de los cerros Ocuilán y los Alumbres. Es una cuenca endorréica, alimentada por un pequeño arroyo originado del manantial que desciende por el oeste del cerro Ocuilán. Tiene una superficie que va de 5,3 hectáreas, en la época de estiaje a 6,1 hectáreas, en la época de lluvias, con 312,8 a 342,0 m de largo máximo en dirección oeste-este y 231,25 m en su parte más ancha y 44,7 m en la más angosta. Tiene agua durante todo el año. Con una profundidad promedio de 6,0 m durante el año. Se encuentra rodeada por una mezcla de suelos de tipo andosol húmico, litosol y regosol eútrico (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1979).

En la zona de estudio, la precipitación mínima registrada fue de 5,9 mm en febrero y la máxima de 450 mm en septiembre, con un total anual de 1480 mm.

En cuanto a la evaporación, la mínima fue de 68,5 mm (septiembre) y máxima de 212,0 mm (abril) con un promedio anual de 126,19 mm. La temperatura ambiente media fluctuó de 10,8°C a 15,1°C con un promedio anual de 13,6°C.

Este trabajo se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre julio de 1998 a abril de 1999, para lo cual se realizaron muestreos en ciclos nictimerales (24 horas) cada cuarenta días, estableciéndose tres estaciones horizontales en cada lago, distribuidas en la zona limnética, y considerando para cada una tres estratos en la columna de agua (superficie, parte media de la columna de agua y fondo). Lago Zempoala: la estación uno (E1) se ubicó en la región noroeste, la dos (E2) en la parte central (ubicación suroeste) y la tres (E3) en la parte sureste. Con tres profundidades: 0,15 m, 4,0 m y 8,0 m. Lago Tonatiahua: la estación uno (E1) se localizó hacia el sureste, la dos (E2) en la zona central (ubicada al oeste) y la tres (E3) hacia el norte (Figura 1). Con tres profundidades: 0,15 m, 3,0 m y 6,0 m.

Para acceder a estas estaciones se utilizó una lancha de fibra de vidrio. Los registros de temperatura y oxígeno disuelto, se determinaron en cada lago durante seis ciclos de 24 horas, con intervalos de cuatro horas entre cada registro, iniciando a las 12 h (Tabla I). Las muestras de agua se obtuvieron empleando una botella Van Dorn con capacidad de 3 L y con un cable marcado cada 0,5 m. Para estimar las concentraciones de oxígeno disuelto y la temperatura del agua, se utilizó un oxímetro YSI modelo 57, y para estimar la relación entre la profundidad y la temperatura con la cantidad de oxígeno disuelto se calculó el porcentaje de saturación de oxígeno (Wetzel y Likens, 2000).

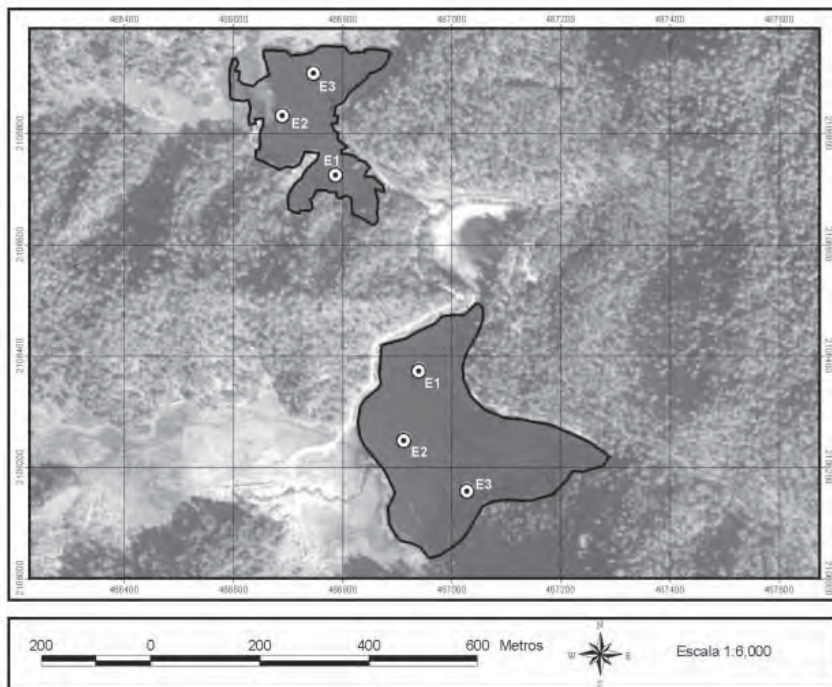


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en los lagos de Zempoala (sur) y Tonatiahua (norte).

Tabla 1.

Relación de los ciclos nictimerales (24 horas) efectuados en cada uno de los lagos estudiados.

Lago	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo III	Ciclo IV	Ciclo V	Ciclo VI
Zempoala	Agosto 1998	Octubre 1998	Noviembre 1998	Enero 1999	Febrero 1999	Abril 1999
Tonatiahua	Julio-Agosto 1998	Septiembre 1998	Octubre 1998	Diciembre 1998	Febrero 1999	Marzo 1999

Para determinar las diferencias estadísticas entre estaciones, muestreos y lagos se utilizó el Análisis de Varianza (ANDEVA) para datos de distribución no normal de Kruskal- Wallis, así como comparaciones de medias de Tuckey (Mc Bean and Rovers, 1998 y Zar, 1999). Para llevar a cabo los análisis mencionados, se utilizaron los paquetes estadísticos: Microsoft Office Excel, JMP Ver. 3.2.2 y Statistica '99.

## RESULTADOS

En el lago de Zempoala, en todos los ciclos nictimerales, la temperatura, O<sub>2</sub> disuelto y el porcentaje de saturación presentaron diferencias significativas (P>0,05) entre la superficie, la parte media de la columna de agua y el fondo, en todas las estaciones de muestreo, lo cual indica una estratificación anual con el establecimiento del epilimnion, la termoclina y el hipolimnion bien diferenciados, sobre todo en las estaciones dos y tres.

En agosto la temperatura del agua en superficie fluctuó de 17°C a 22°C, en la parte media de la columna de agua y en el fondo disminuyó con valores entre 16°C a 20°C, en octubre se presentó la misma tendencia, observándose un decremento gradual desde la zona media hasta el fondo, durante noviembre se presentaron registros de 15°C a 17°C, y en la parte media de la columna de agua y el fondo disminuyeron de 13°C a 12°C en las tres estaciones. En enero y febrero se observaron diferencias en la zona superficial de 12°C a 13°C con respecto a la parte media de la columna de agua y el fondo, en abril se presentó un incremento con registros en superficie entre 17°C y 22°C, y en la parte media de la columna de agua y el fondo disminuyeron con valores de 16°C a 19°C, similar a lo obtenido en el primer ciclo (agosto). (Figura 2).

El O<sub>2</sub> disuelto y el porcentaje de saturación registraron durante todo el ciclo los mayores valores en superficie y los menores en el fondo. En agosto el oxígeno registró en superficie de 4 mg/L a 10 mg/L y en el fondo de 0 mg/L a 8 mg/L con variaciones importantes en la columna de agua, en octubre las concentraciones de oxígeno disuelto, fluctuaron de la misma manera en las tres estaciones, con valores en superficie de 7 mg/L a 14 mg/L disminuyendo de la parte media de la columna de agua al fondo con 8 mg/L a 10 mg/L. El porcentaje de saturación presentó el mismo comportamiento que el O<sub>2</sub> en las tres zonas de colecta, en noviembre el O<sub>2</sub> fue en superficie de 8 mg/L a 18 mg/L, y en el fondo de 1 mg/L a 7 mg/L. En enero el O<sub>2</sub> presentó

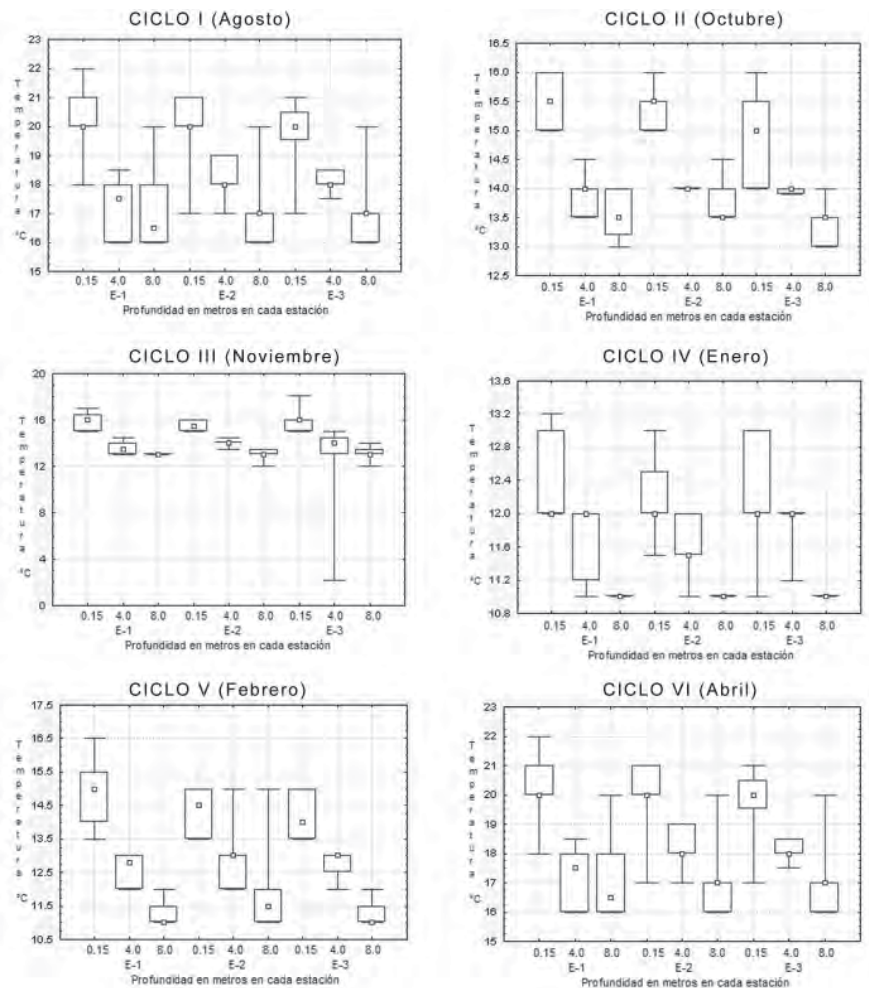


Figura 2. Diagramas de caja que indican la variación de los valores de temperatura en los tres niveles de profundidad en la columna de agua durante los seis ciclos en el lago Zempoala.

registros en la superficie de 5 mg/L a 7 mg/L disminuyendo en el fondo de 1 a 4 mg/L. En febrero, el O<sub>2</sub> presentó los mayores registros en superficie (3 a 5 mg/L) y menores en el fondo con valores de 0,5 mg/L a 2,0 mg/L. En abril el O<sub>2</sub> disuelto mostró valores entre 0,5 mg/L y 10 mg/L de manera heterogénea en la columna de agua. (Figura 3).

En el lago Tonatiahua el ANDEVA de temperatura, O<sub>2</sub> disuelto y el porcentaje de saturación indicó diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre profundidades y estaciones mostrando un periodo de estratificación en casi todos los ciclos, de agosto a octubre y de febrero a marzo (Figura 4), con un periodo de mezcla en diciembre sin registrarse diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre estaciones como se observa en la Figura cuatro.

En el ciclo I (julio-agosto), los mayores valores de temperatura se registraron en la superficie de 19°C a 21°C, de manera diferente a lo registrado

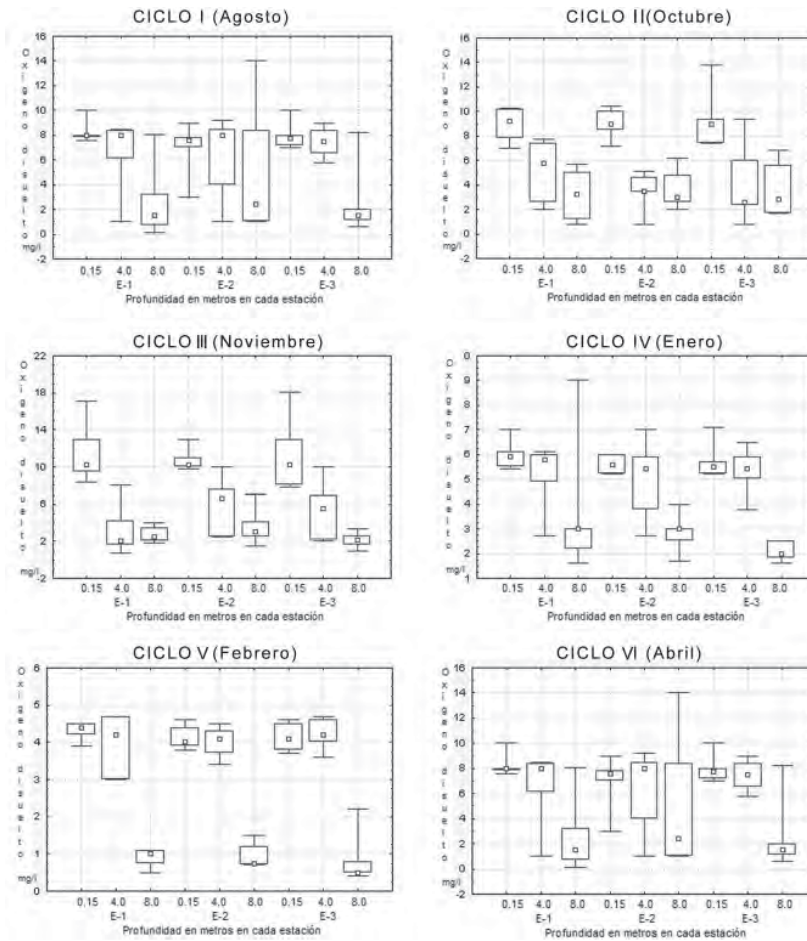


Figura 3. Diagramas de caja que indican la variación de los valores de oxígeno disuelto en los tres niveles de profundidad en la columna de agua durante los seis ciclos en el lago Zempoala.

en la parte media de la columna de agua y el fondo, en donde se presentaron valores de 16°C a 18°C en las tres estaciones. En septiembre, en superficie se obtuvieron los datos más altos con 17°C a 18°C, disminuyendo para media agua de 15°C a 17°C y para fondo de 15°C a 16°C, en octubre los valores más altos se registraron en la superficie observándose una disminución gradual hasta el fondo, mientras que en diciembre, los registros fluctuaron de 13°C a 15°C de superficie a fondo, lo cual indicó que se presentó un periodo de mezcla durante este ciclo (Figura 4).

En febrero, los mayores valores se encontraron en superficie, con registros de 12°C a 13°C, y en la parte media de la columna de agua y el fondo disminuyeron con valores de 10°C en las tres estaciones, mientras que en marzo en todas las estaciones, durante este

mes se registraron los valores más altos de temperatura en superficie, con un decremento gradual desde esta zona hasta el fondo (Figura 4).

En el primer ciclo (julio-agosto), el O<sub>2</sub> disuelto presentó los registros más altos en superficie (17 mg/L -22 mg/L) y los menores en el fondo (16 mg/L -20 mg/L) (Figura 5), esto se presentó también en septiembre con valores en superficie de 4 mg/L a 8mg/L y en fondo de 0 a 2,5 mg/L, mientras que en octubre en superficie fue de 7 mg/L a 17 mg/L y en el fondo de 0 mg/L a 7 mg/L. En diciembre los valores de oxígeno disuelto, fluctuaron generalmente entre 1,0 mg/L y 5,0mg/L de acuerdo a la mezcla indicada por la temperatura (Figuras 4 y 5). Mientras que en febrero se presentó también un comportamiento similar al de la temperatura con valores más altos en superficie (3,5

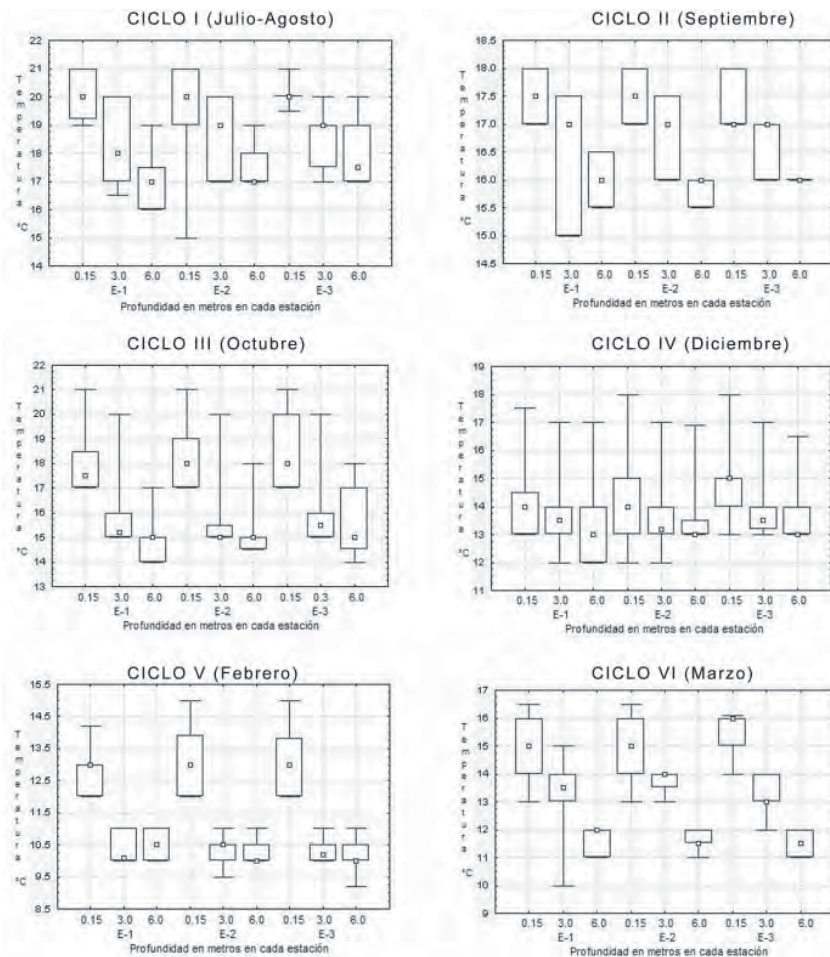


Figura 4. Diagramas de caja que indican la variación de los valores de temperatura en los tres niveles de profundidad en la columna de agua durante los seis ciclos en el lago Tonatiahua.

mg/L -7,0 mg/L) y menores en el fondo (0,5 mg/L-3,5 mg/L) ya que se estratificó nuevamente, manteniéndose así también en marzo con registros de 2,8 mg/L a 3,8 mg/L en superficie disminuyendo en la parte media de la columna de agua y el fondo de 0,3 mg/L a 4 mg/L. Los valores de los porcentajes de saturación mostraron la misma tendencia. (Figura 5).

## DISCUSIÓN

Normalmente, los lagos tropicales presentan pequeñas diferencias verticales en cuanto a la temperatura; sin embargo, estas pequeñas diferencias son capaces de generar una estratificación térmica estable (Lewis, 1983b). Los lagos con mayores altitudes de las zonas tropicales también presentan pequeñas diferencias verticales de temperatura, aunque a intervalos de temperatura más bajos que los de zonas de bajas altitudes (Richerson, *et al.*, 1975).

Esto es importante en este estudio, ya que los resultados obtenidos en cuanto a la variación de la temperatura del agua en la columna de agua durante el periodo de muestreo en el lago Zempoala, indicaron que se mantuvo estratificado durante todo el año, y Moss (1992) menciona que la mezcla en un lago es provocada en gran parte por la acción del viento, lo que produce la transferencia de calor de la superficie a las capas de agua más bajas y que la estratificación es producida por la temperatura ambiental y la incidencia de la luz solar, lo cual influye en el calentamiento de la capa superficial propiciando una diferenciación de temperatura entre la capa superficial y la del fondo.

Este comportamiento anual, fue diferente a lo mencionado por García (2004) que realizó un estudio de 1996 a 1997 y que clasificó a Zempoala, como monomítico cálido, ya que presentó una mezcla en verano, de acuerdo a la clasificación propuesta por Lewis (1983a), después de revisar la de Hutchinson y Loffler (1956), ya que estos no incluyen a los lagos en regiones tropicales que son someros y poseen diferencias en relación a los lagos templados en regiones altas de Europa, este autor indica que un lago monomítico cálido presenta una mezcla al año permaneciendo estratificado durante la mayor parte del año, y un meromítico no presenta ninguna mezcla.

El comportamiento del lago Zempoala, es similar a lo mencionado por Gonzalez, *et al.*, (2004) que trabajan en un cuerpo de agua de Venezuela llamado Agua Fría y que para caracterizarlo reportan que Maroto (1984) lo clasificó como cálido monomítico, es decir, con una mezcla completa de sus aguas una vez al año, la cual acontece durante la temporada de

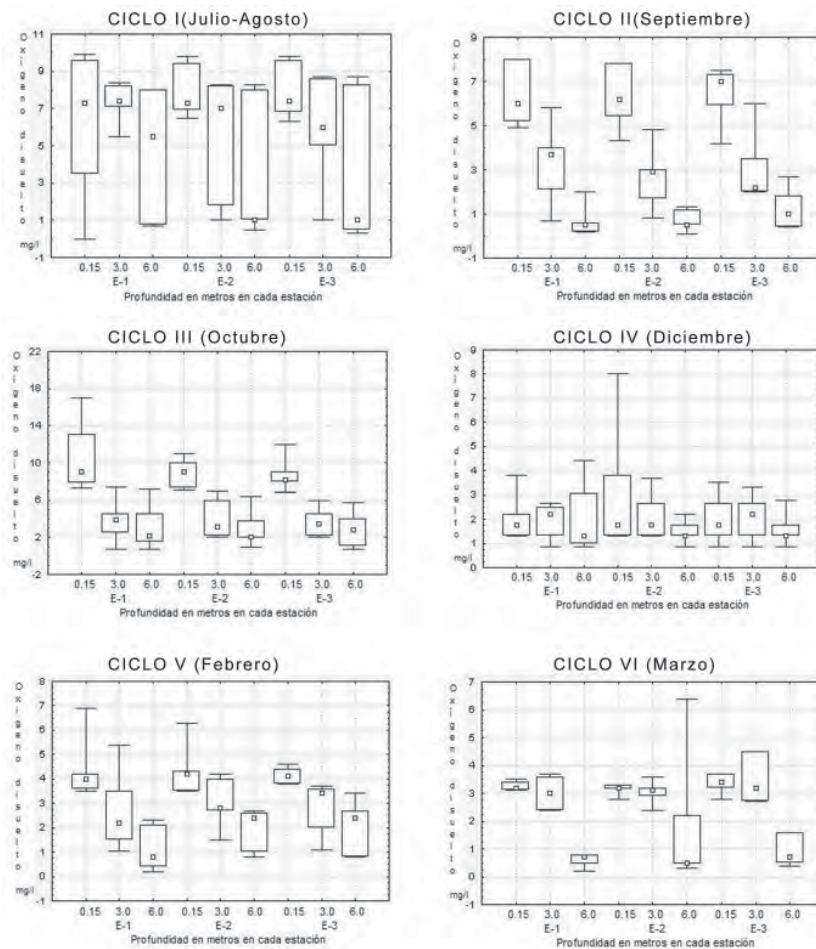


Figura 5. Diagramas de caja que indican la variación de los valores de oxígeno disuelto en los tres niveles de profundidad en la columna de agua durante los seis ciclos en el lago Tonatiahua.

sequía (diciembre a febrero), de acuerdo a este autor, la mezcla completa es ocasionada por el descenso de la temperatura más que por la acción del viento, ya que el embalse está rodeado de montañas.

Sin embargo Gonzalez, *et al.*, (2004) durante el período de estudio que mencionan, indican que no hubo circulación completa de las aguas en el embalse. Es probable que la disminución del nivel de las aguas en relación con años anteriores, aunado con la topografía de la zona y las bajas velocidades del viento registradas hayan incidido en que durante ese periodo no se haya presentado la circulación completa de las aguas del embalse Agua Fría, al menos en lo que a su zona limnética (profunda) respecta. Probablemente, la temperatura del aire tampoco descendió lo suficiente durante el periodo enero-diciembre de 2001 como para inducir la mezcla de las aguas, ya que Boney (1976), comenta que la estratificación está influenciada por el intercambio de calor entre la temperatura superficial y la del aire lo cual lo propicia y a su vez la formación de la termoclina. Bajo esta

situación de estabilidad térmica, el embalse no pudo clasificarse según el criterio de Hutchinson (1957), pero sí se pudo clasificar como meromórfico con tendencia a cálido monomórfico, según el criterio de Lewis (1983a). De acuerdo a lo anterior se considera que también Zempoala es un lago meromórfico con tendencias a ser monomórfico cálido, presentando condiciones análogas a las descritas por Gonzalez, *et al.*, 2004.

Para el lago Tonatiahua, los datos registrados de temperatura permitieron observar un periodo de estratificación de julio a octubre y de febrero a marzo y uno de mezcla en diciembre, de acuerdo a este comportamiento termal se considera como un lago monomórfico cálido. Lewis (1983a) señala que estos lagos exhiben un periodo de estratificación en verano y se mezclan generalmente en invierno-primavera, para el lago Tonatiahua el periodo de mezcla se presentó en invierno, coincidiendo con lo comentado por este autor. Tavera (1996), menciona que la mezcla en un lago se origina por el enfriamiento de la capa superficial lo que produce el hundimiento de ésta, y por lo tanto la mezcla completa de la columna de agua.

El aumento en la temperatura en ambos lagos, es un reflejo de estos cambios, tomando en cuenta, que en la zona donde se ubican los lagos se realizan actividades como son la tala de árboles, extracción de agua para consumo y el vertido de residuos orgánicos como producto de las actividades antropogénicas que se llevan a cabo, lo cual puede repercutir en los incrementos de la temperatura.

En lo referente a la variación del oxígeno disuelto en el lago Zempoala y Tonatiahua (excepto en diciembre), se presentaron los

valores más altos en superficie, disminuyendo gradualmente en la columna de agua, con los registros más bajos en el fondo. Al respecto, se puede señalar, que esta condición pudo ser originada por un incremento de la luz solar que propicia mayor actividad fotosintética en superficie, por lo tanto, se produce un incremento de la concentración de oxígeno disuelto, se sugiere, que la disminución de este parámetro en el fondo es debida a la descomposición de la materia orgánica que es acumulada en esta zona. Al respecto, Zutshi, *et al.*, (1980) mencionan que la mayor concentración de oxígeno en la superficie puede deberse al movimiento del agua en la superficie del sistema, generada por las condiciones climáticas o bien, a un aumento poblacional de organismos autótrofos en esta zona y Lerman *et al.*, (1995) mencionan que los lagos poco profundos presentan una sedimentación de materia orgánica y una posterior descomposición de ésta que puede alcanzar tal intensidad, que el contenido de oxígeno disuelto sufre una disminución severa en el fondo del lago.

En el lago Tonatiahua en el mes de diciembre, cuando se produjo la mezcla, el oxígeno disuelto presentó valores similares en la columna de agua, al respecto Vera *et al.*, (1980) comentan que la coincidencia entre el abatimiento de la temperatura de la capa superficial y la pérdida de la estratificación hacia el fondo, da como resultado que se eleve la temperatura del agua en superficie y el oxígeno disuelto empiece a agotarse en el fondo.

El porcentaje de saturación del oxígeno en los sistemas acuáticos, se refiere a la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra de agua comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura, por lo tanto no es igual que la concentración de oxígeno disuelto (Boyd, 1990). Este mismo autor menciona que el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto de entre los 80% a 120% son excelentes para algunas especies acuáticas, los cuales se registraron en la superficie de ambos lagos, lago Zempoala con valores de 80% a 100% y lago Tonatiahua con valores de 40% a 100% disminuyendo a través de la columna de agua (parte media de la columna de agua y fondo) como producto de la actividad bacteriana, sin embargo, a pesar de que en el lago Tonatiahua se presentó un valor mínimo por debajo del rango marcado por este autor, estos valores no se registraron de manera permanente que ocasionaran problemas al sistema.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a las variaciones de temperatura que se registraron durante el año, el lago Zempoala se consi-

deró un lago meromictico con tendencia a monomictico cálido, por mantener su estratificación durante todo el año, así mismo, el lago Tonatiahua se clasificó como monomictico cálido, ya que presentó un periodo de estratificación en julio-octubre y febrero-marzo y el de mezcla en diciembre.

El comportamiento de la temperatura y oxígeno disuelto, en el periodo de estratificación para ambos lagos es semejante. En el lago Tonatiahua, en el periodo de mezcla (diciembre), se presentan condiciones diferentes respecto al periodo de estratificación, considerando estos cambios propios a las características que se presentan en esta época.

El oxígeno y el porcentaje de saturación registraron valores más altos en superficie con descenso hacia el fondo en ambos lagos. En cuanto a los ciclos nictimerales el lago Zempoala y el lago Tonatiahua presentaron valores de oxígeno mayores en superficie durante las horas luz, con descenso durante las horas de oscuridad.

## REFERENCIAS

- Arredondo, F. J. L. y Aguilar, D. (1987). Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas, realizadas en los lagos mexicanos con especial énfasis en su ictiofauna. 91-133p. En: Gómez, A. S. y Arenas, F. B. (Eds). *Contribuciones en Hidrobiología*. UNAM, México. Pp 91-133.
- Barbosa, J. E. L. (1996). *Comportamento nictemeral do fitoplâncton e de parâmetros hidrológicos na represa de Gramame, Alhandra-Paraíba*. Recife-PE, 174 p. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco.
- Boyd, C. E. (1990). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Agricultura Experiment Station, Auburn University, Alabama 36849, USA. 482 p.
- Boney, A. D. (1976). *Phytoplankton*. Edit. Camelot Press Ltd. Great Britain. 117.
- Díaz, V. M., Elizalde, A. E. E., Quiroz, C. H., Molina, A. F. I., y García, R. J. (2005). Caracterización de algunos parámetros físico-químicos del agua y sedimento del lago "Zempoala", Morelos, México. *Acta Universitaria*. 15(2):57-65
- García, (2004). *Distribución espacio-tiempo del fitoplancton del fitoplancton del lago de Zempoala, Morelos, México, durante un ciclo anual*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gavilán, R. D. (1990). *Flutuações nictemerais dos fatores ecológicos na represa de Barra Bonita, Médio, Tietê-SP*. São Carlos. 157 p. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de São Carlos.
- Ganf, G. G., Horne, A. J. (1975). Diurnal stratification, photosynthesis and nitrogen fixation in shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *Freshwater Biology*. v. 5, p. 13-19.
- González, J.E., Carrillo, V. y Peñaherrera, C. (2004). Características físicas y químicas del embalse agua fría (parque nacional macarao estado Miranda, Venezuela, *Acta Científica Venezolana*, 55: 225-236.



- Hutchinson, G. E. (1957). *A treatise on limnology. I. Geography, physics, and chemistry*. New York, John Wiley y Sons, Inc., 1015 p.
- Hutchinson G. E. y H. Loffer. (1956). The thermal classification of Lakes. *Proceedings of the National Academy Sciences*. 42:84 – 86.
- Lerman, A., Imboden, M. D. y Gat, R. J. (1995). *Physics and chemistry of lakes*. 2a Ed. Springer, New York. 334 p.
- Lewis, W. M. (1983a). Temperature, heat, and mixing in Lake Valencia, Venezuela. *Limnology and Oceanography*. 28: 273-286.
- Lewis, W. M. (1983b). A revised classification of lakes based on mixing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 40: 1779-1787.
- Lewis, W.M., (1996). Tropical lakes: How latitude makes a difference. In *Perspectives in Tropical limnology*, pp 42-64, Eds. Schiemer, F. and Boland K.T. PSV Academic publishing bv, Amsterdam, The Netherlands.
- Lewis, W.M. (2000). Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 5:35-48.
- Maroto, R. (1984). *Características físico-químicas del embalse de Agua Fría (Edo. Miranda)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, pp. 1-169.
- McBean, A. E. y Rovers, A. F., (1998). *Statistical procedures for analysis of environmental monitoring data and risk assessment*. 1er. Ed. Prentice Hall. U.S.A.
- Moss, B. (1992). *Ecology of fresh waters, man and medium*. Blackwell Scientific Publications. Great Britain. 417p.
- Richerson, P. J., Widmer, C., Kittel, T. and Landa, A. (1975). A survey of the physical and chemical limnology of Lake Titicaca. *Verhandlungen Internationale Vereinigung fuer theoretische un angewandte Limnologie*. 19: 1498-1503.
- Secretaría de Programación Presupuesto (SPP). (1979). *Síntesis Gráfica y descriptiva. Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Parques Nacionales*. México, D. F.
- Tavera, R. (1996). *Phytoplankton of the tropical lake Catemaco*. Ph. D. Thesis. University of South Bohemia, Ceske Budejovice, Czech Republic. 66 pp.
- Tricart, J. (1985). *Pro lagos. Los lagos del Eje Neovolcánico de México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 266 p.
- Vera, H. F. R., Rojas, G. L. J., Guzmán, A. M., (1980). *Estudios hidrológicos de la presa Vicente Guerrero, Gro. (1976 / 1977)*. I. morfometría, temperatura del agua y oxígeno disuelto. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.
- Wetzel, R. G. y Likens, G. E. (2000). *Limnological analyses*. Springer, USA. 421 p.
- Wetzel, R.G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Third Edition. Academic Press 187-204
- Zar, H.J., (1999). *Biostatistical análisis*. 4ª. Ed. Prentice Hall. U.S.A.
- Zutshi, D. P., Subla, A. B., Khan, A. M. y Wanganeo, A. (1980). Comparative limnology of nine lakes of Jammun and Kashmir Himalayas. *Hydrobiologia*. 72:101-112.