

Caracterización de Algunos Parámetros Físico Químicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México.

Migdalia Díaz-Vargas*, Edgar E. Elizalde Arriaga*, Héctor Quiroz Castelán*, Judith García Rodríguez e Isela*,
Molina Estudillo.

RESUMEN

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

ABSTRACT

In this study the authors analyze physical and chemical conditions of the water and sediment in the Zempoala Lake during an annual cycle. This lake can be considered monomictic. The dissolved oxygen and carbon dioxide presented values that indicate a decomposition process mainly in some areas of the shore and in the bottom of the lake, which is related to the concentration of organic matter; it is considered that the continuous process of eutrophication is caused by a diversity of reasons, and distinct differences between the tropholitic and the trophogenic area are observed in this lake. The sediment is characterized as rich in organic matter, with areas where the pH tends to be more acidic and presents varying quantities of nutrients depending on the degree of decomposition of the detritus. The conditions and dynamics of the sediment, consistent throughout the lake, indicate that it is a productive system with a tendency toward eutrophication.

Recibido: 30 de Agosto 2004
Aceptado: 4 de Febrero de 2005

INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua continentales son muy importantes como fuente de recursos naturales y representan una riqueza considerable para diversas actividades, sin embargo, el desconocimiento de los procesos biológicos en ellos y la falta de proyectos viables para su manejo y conservación ha provocado su deterioro. Por ello, es necesario conocer las características ecológicas de sistemas que pueden ser aprovechados racionalmente, ya que los cuerpos de agua epicontinentales presentan una fuente de recursos, como el uso del agua para consumo humano, la agricultura, la pesca y la recreación. Por lo tanto, el monitoreo de la calidad del agua y el conocimiento de la dinámica de los procesos limnológicos de los lagos debe ser una preocupación importante para los usuarios de estos.

En décadas pasadas, se han realizado estudios sobre las condiciones tróficas de este tipo de sistemas estimando los parámetros físicos y químicos del agua y sedimentos para determinar en cierta medida la dinámica de estos factores en la columna de agua. En la zona de interfase entre el agua y el sedimento se llevan a cabo reacciones de liberación de nutrientes mediante mecanismos de óxido-reducción y actividad bacteriana principalmente; el conocer los procesos que se efectúan en esta zona, por medio del análisis de dichos parámetros, permite establecer algunas relaciones de productividad y aprovechamiento de los nutrientes suspendidos y sedimentados del sistema, ya que estos últimos sustentan la productividad primaria proporcionando los elementos esenciales para el desarrollo de organismos autótrofos y heterótrofos, que resultan primordiales para el metabolismo de la biota acuática y del mismo

Palabras clave:

Calidad del agua; Sedimento; Lago Zempoala; Eutrofización.

Keywords:

Water quality; Sediment; Zempoala lake; Eutrophication.

* Laboratorio de Hidrobiología, Centro de Investigaciones Biológicas, UAEMor., Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, C.P. 62210 Cuernavaca, Morelos, México.
Tel. y Fax: 01(777)3162354. Correos Electrónicos: migdalia@buzon.uaem.mx, quiroz@cib.uaem.mx

lago. (Wetzel, 1975; Boyd *et al.*, 1981; Margalef, 1983; Coler & Rockwood, 1989; Avnimelech *et al.*, 1981; Levine & Schindler, 1989).

Actualmente son pocos los estudios realizados en México relacionados con los procesos que se llevan a cabo en el sedimento y el agua conjunta o bien independientemente, entre ellos, se encuentran los realizados por Banderas (1994) en el Lago Sol, del Nevado de Toluca sobre la limnología del mismo; los de Pérez *et al.*, (1998) respecto a los sedimentos recientes de la Laguna Escondida en Los Tuxtlas, Veracruz; los realizados por Arroyo *et al.*, (1998) en Sinaloa sobre el comportamiento de algunos factores físico-químicos de la presa Gustavo Díaz Ordaz "Bacurato"; los de González *et al.*, (1998) en el Lago de Huayamilpas, D.F. respecto al contenido de materia orgánica en agua y sedimento superficial, los efectuados en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán por Segura-García (1998) sobre variación temporal en la calidad del agua, los de Sánchez *et al.*, (1998) relativo a la limnología de la presa Miguel de la Madrid H., Tuxtepec, Oaxaca, los de Rendón-López y Chacón-Torres (1998) al uso de los índices tróficos en un lago tropical mexicano y los de Quiroz *et al.*, (2004) respecto a la variación de los organismos fitoplanctónicos y la calidad del agua en el Lago de Chapala, Jalisco.

Entre los estudios realizados en el estado de Morelos se encuentran los de Aguilar (1986), quien señala algunas características físicas, químicas y biológicas del agua del Lago de Tequesquitengo; los de Mijangos (1993) en Coatetelco y los de Salazar (1997) en Tequesquitengo, quien consideró algunos parámetros físico-químicos del agua y del sedimento. En el Parque Nacional Lagunas de Zempoala han sido pocos los estudios al respecto y sólo se reportan los de Bonilla (1992), Bonilla-Barbosa y Novelo (1995), Elizalde (2000), Díaz (2000), García-Rodríguez *et al.*, (2003) y García-Rodríguez (2004).

Considerando lo anterior, es importante desarrollar este tipo de estudios en los cuerpos de agua continentales, por lo que en este trabajo se planteó como objetivo analizar las condiciones físico-químicas del sedimento y agua, así como sus variaciones y relación durante un ciclo anual en el Lago Zempoala, Morelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Parque Nacional Lagunas de Zempoala, se ubica entre los 19° 06' 00" de L. N. y 99° 16' 00" de L. O. con altitudes comprendidas entre los 2 400 msnm y 2

800 msnm, a 65 Km. al sur de la cd. de México y a 38 Km. al norte de la cd. de Cuernavaca. Pertenece a la altiplanicie mexicana en la Meseta Central; dentro de la cuenca del Río Amacuzac y en la subcuenca del Río Apatlaco (Arredondo y Aguilar, 1987; Ramírez-Pulido, 1969; Bonilla-Barbosa y Novelo, 1995).

El lago Zempoala se localiza entre las coordenadas 19° 03' 00" de L. N. y 99° 18' 42" de L. O. a una altitud de 2 800 msnm, es una cuenca lacustre endorreica, con drenaje de tipo torrencial que sólo lleva agua en la temporada de lluvias, con condiciones hidrológicas estáticas y escasa circulación de la masa de agua, es alimentado permanentemente por el arroyo Las Trancas originado en el manantial que desciende por el sureste de los cerros Las Trancas y Campanario, tiene una superficie de 10,56 ha en la época de estiaje y 12,34 ha en la época de lluvias (SPP, 1997; Tricart, 1985; Arredondo y Aguilar, 1987; Sosa, 1935). (figura 1).

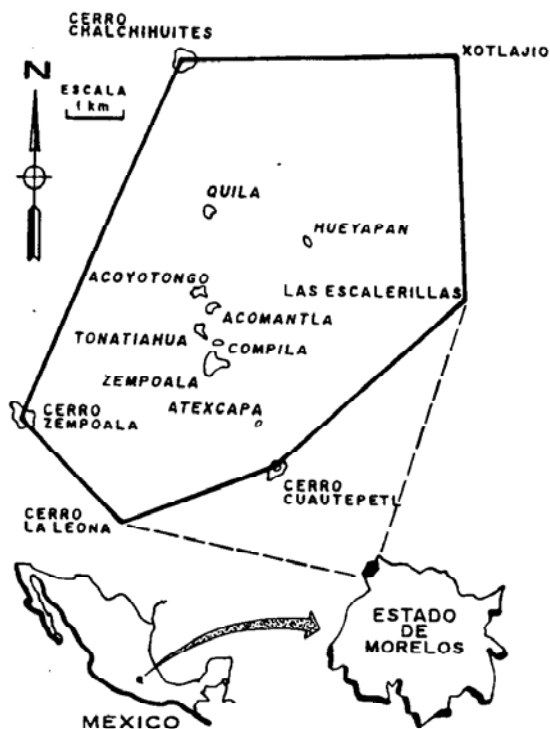


Figura 1. Ubicación del Parque Nacional Lagunas de Zempoala y del lago Zempoala en el estado de Morelos. (Tomado de Bonilla-Barbosa y Novelo, 1995).

Obtención de datos

Este trabajo comprendió un ciclo anual de febrero de 1997 a febrero de 1998 con toma de muestras mensuales, estableciéndose once estaciones distribuidas en el lago, ocho en la zona litoral y tres en la profunda, para el caso de estas últimas el muestreo se realizó a partir del mes de septiembre de 1997.

La distribución de las estaciones se muestra en la figura 2; la estación uno se ubicó antes de la desembocadura del arroyo Las Trancas, con vegetación abundante y gran cantidad de restos vegetales en la zona este del lago. La estación dos, se localizó en el área sureste. La estación tres se ubicó en la región tular, en la parte sur del lago, en la que existe una gran cantidad de materia orgánica. La estación cuatro se ubicó en la parte suroeste, en la cual la incidencia solar es mínima, sin restos vegetales y mayormente afectada por el aporte de sedimentos. La cinco se localizó al oeste en la segunda región pantanosa y tular. La seis se ubicó en la zona rocosa al oeste del lago, caracterizada por una alta cantidad de algas filamentosas flotantes y sumergidas, con abundante materia orgánica. La séptima se estableció al norte, en la desembocadura hacia el lago Compila, en donde se recibe la mayor incidencia solar y con sustrato arenoso sin restos vegetales. La última estación de la zona litoral se ubicó al noreste, con sustrato pobre en cuanto a materia orgánica y con gran contenido de arena. Las estaciones nueve, diez y once se establecieron en la zona limnética del lago, todas ellas con un sustrato limoso (descomposición abundante de material detrítico). La primera de las estaciones fue establecida en la parte norte, la segunda en el centro y la tercera hacia el suroeste, con profundidades de 6 m a 8 m de acuerdo a su nivel de inundación (figura 2).

Para la obtención de muestras del agua de fondo (profundidad máx. 8 m) y de la orilla (profundidad mín. 20 cm) se utilizó una botella Van Dorn, posteriormente se efectuó la determinación de los parámetros fisicoquímicos *in situ*: pH con un potenciómetro HANNA, temperatura y oxígeno disuelto (O_2) utilizando un oxímetro YSI 57, conductividad con un conductímetro Conductronic CL8, alcalinidad total, dureza total, bióxido de carbono (CO_2) y cloruros con las técnicas colorimétricas propuestas por Boyd (1979) y APHA (1992).

Las muestras de sedimento se obtuvieron con una draga Ekman en la zona profunda y en la litoral con un tubo nucleador de 10 cm de diámetro a una profundidad de 10 cm (Kajak y Hillbrich-Ilkowska, 1972; Wetzel y Likens, 2000), transportándose al laboratorio

en bolsas de plástico negro para evitar la incidencia de luz solar, una vez ahí se procedió al secado de las mismas a la sombra y a temperatura ambiente, posteriormente se homogeneizó la muestra con un mortero y se tamizó a una abertura de malla de 0,5 mm. Una vez obtenida la cantidad necesaria (300 g) para realizar cada una de las pruebas, se procedió a la determinación de pH, carbonatos, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, calcio y magnesio, utilizando las técnicas propuestas por Domínguez y Aguilera (1989).

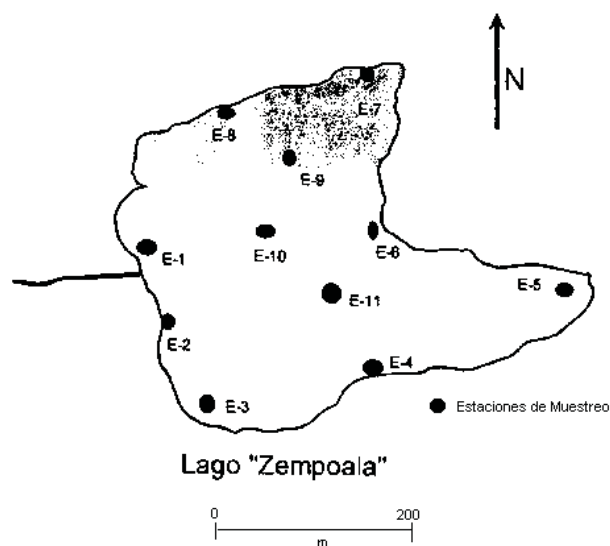


Figura 2. Estaciones de muestreo en la zona litoral y profunda del lago Zempoala.

Finalmente, se realizó un análisis de los datos obtenidos utilizando los siguientes parámetros estadísticos: media, mediana, máximos y mínimos, coeficiente de variación, desviación estándar, análisis de varianza (ANDEVA), este análisis se aplicó a los datos por estaciones y por mes, correlaciones (Pearsons) y comparaciones múltiples, con los programas de Excel (Microsoft) y STATGRAPHICS ver. 4.0.

RESULTADOS

Análisis fisicoquímico del agua

En forma general los parámetros físicos y químicos del agua no presentaron diferencias significativas, sin embargo, se observaron claras particularidades entre la zona litoral y fondo, sobre todo en la temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto y bióxido de carbono, relacionado principalmente con las condiciones de cada zona (tabla 1).

La fluctuación del oxígeno disuelto presentó una variación marcada, distinguiendo notoriamente las dos épocas del año, primavera-verano y otoño-invierno, la primera con concentraciones elevadas en la superficie, en intervalos de 4,4 mg/L a 7,4 mg/L y la segunda con lecturas de 0,4 mg/L, sin embargo, durante febrero de 1998 los valores se incrementaron considerablemente, pues se registró el valor más alto durante el ciclo que fue de 9,0 mg/L; esta situación se explica con el movimiento causado por la circulación horizontal del agua en la superficie del lago causado por las corrientes de aire, ya que la influencia del entorno es notoria; por otro lado, no se presentaron precipitaciones en este mes. Estos registros están también relacionados directamente con el incremento de vegetación acuática en la zona litoral. En las estaciones del fondo, el oxígeno fluctuó entre los valores de 0,2 mg/L como mínimo, hasta 5,7 mg/L como máximo. El ANDEVA indicó que no existieron diferencias significativas entre los datos referentes a los meses de estudio ($P < 0,05$).

El valor mínimo de temperatura se registró en el mes de diciembre con 6 °C y el máximo en junio con 24 °C. El pH registró valores de 6 como mínimo y de 9,3 como máximo en los meses de septiembre y junio, respectivamente.

Las concentraciones de CO₂ se mantuvieron bajas durante los primeros meses de muestreo (febrero a junio), para incrementarse a partir de julio hasta noviembre, disminuyendo nuevamente en diciembre,

enero y febrero de 1998. Para el caso de las estaciones de fondo en el mes de septiembre se registraron los valores más altos (14,9 mg/L) y en diciembre y enero los más bajos (0,4 mg/L), lo cual está relacionado con la disminución y aumento del oxígeno disuelto.

Respecto a la conductancia, ésta presentó valores de 16 µS/cm (mínimo) durante el mes de mayo y 197 µS/cm (máximo) en enero.

Los valores de alcalinidad registrados durante este trabajo indican una tendencia a la dureza, ya que se obtuvieron valores mínimos de 13 mg/L en el mes de julio y 59 mg/L como máximo en diciembre. La dureza total indicó datos de 24 mg/L como mínimo y 90 mg/L como máximo, este parámetro fluctuó de manera similar a la alcalinidad. Los valores obtenidos mostraron que son aguas suaves a moderadamente duras. El ANDEVA determinó que no existen diferencias significativas entre las estaciones de muestreo ($P < 0,05$) para estos seis parámetros.

Se considera a los cloruros como un parámetro indicador del grado de mineralización del medio y que es relativamente conservativo por la poca fluctuación espacial y estacional que presenta en este tipo de sistemas. En el caso del lago Zempoala se registraron valores de 1,9 mg/L a 17,9 mg/L y una media de 4,6 mg/L, observándose los valores más altos en el último mes de muestreo.

Tabla 1.
Valores promedio y análisis de varianza de los parámetros físicos y químicos en el agua monitoreados durante un año.

ESTACIÓN PARÁMETRO	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	ANDEVA (entre las estaciones)
Temperatura (°C)	17.76± 2.58	15.86± 3.20	17.23± 3.6	14.19± 3.89	15.46± 3.71	16.11± 3.85	16.92± 3.94	17.84± 3.46	11.41± 2.15	11.63± 2.17	11.53± 1.94	P<0.05
pH	7.55± 1.01	7.41± 0.62	7.40± 0.49	7.46± 0.66	7.2± 0.57	7.2± 0.56	7.23± 0.59	7.07± 0.82	6.85± 0.49	6.9± 0.56	7.05± 0.63	P<0.05
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.99± 2.16	4.86± 1.91	4.37± 2.54	5.26± 1.60	4.8± 1.46	5.11± 1.26	5.23± 1.54	5.21± 1.77	2.31± 1.01	2.5± 1.39	3.23± 1.76	P<0.05
CO ₂ (mg/L)	1.46± 2.21	3.92± 3.31	3.96± 5.81	2.74± 1.94	1.76± 1.82	3.15± 2.51	1.77± 2.01	0.99± 1.20	5.53± 5.37	4.81± 4.71	4.66± 4.17	P<0.05
Alcalinidad total (mg/L)	30.46± 5.42	31.61± 9.88	35.30± 13.06	30.69± 7.01	31.46± 7.64	30.84± 6.06	34.0± 6.39	34.30± 5.70	36.83± 6.79	37.5± 8.06	30.5± 5.75	P<0.05
Dureza total (mg/L)	39.27± 15.79	41.81± 12.08	50.55± 32.64	39.63± 11.55	38.54± 10.84	36± 9.12	39.45± 8.44	4.45± 8.44	48.35± 37.42	40.33± 14.66	39.33± 20.30	P<0.05
Cloruros (mg/L)	4.94± 2.82	4.59± 1.80	5.24± 3.70	5.15± 3.04	5.86± 3.84	5.19± 4.03	4.69± 11.9	4.13± 11.9	3.7± 1.89	3.76± 1.71	6.16± 5.88	P<0.05
Conductancia (µS/cm)	79.43± 4.49	88.5± 24.26	91.67± 40.1	86.4± 26.32	86.67± 24.15	85.34± 25.31	87.24± 23.46	80.6± 3.85	* *	* *	* *	P<0.05

* Los datos faltantes no se registraron por problemas técnicos.

Análisis del sedimento

Respecto a las condiciones del sedimento, éstas sí mostraron diferencias significativas en algunos parámetros entre casi todas las estaciones (tabla 2); en el caso del pH, se presentaron valores desde 3,6 hasta 6,9; en lo que respecta a las estaciones de fondo, el valor osciló en un intervalo de 3,6 a 5,1. El ANDEVA indicó que no hay diferencia significativa entre las estaciones del litoral, sin embargo en las estaciones de fondo fueron significativas.

En cuanto al porcentaje de materia orgánica, se muestran diferencias entre todas las estaciones, excepto entre las de la zona profunda y la zona este y la zona norte, obteniéndose valores desde 0 hasta un 28,2 % en el sedimento, el ANDEVA fue significativo ($P > 0,05$) entre los meses y todas las estaciones.

La cantidad de fósforo fue irregular durante todo el año, sin embargo, su distribución estacional osciló entre valores de 17,3 mg/L en el mes de noviembre a 63,6 mg/L en marzo. El ANDEVA mostró ser significativo en las estaciones del litoral, ocurriendo lo contrario con las de fondo, ya que los valores se mantuvieron homogéneos.

El calcio siguió un patrón descendente hacia los últimos meses de muestreo, con valores de 3 meq/100 g como mínimo en diciembre y 71 meq/100 g en febrero de 1997 como máximo. Los registros en la zona profunda fueron de 4 meq/100 g en noviembre y 25 meq/100 g en septiembre, con concentraciones bajas durante todo el ciclo; en ambos casos con una relación no significativa ($P < 0,05$).

El magnesio fluctuó durante todo el año con valores de cero a 69 meq/g, notándose valores elevados en todas las estaciones del mes de febrero, que fue desde 40 meq/g a 69 meq/g, disminuyendo progresivamente en los meses restantes, presentándose el valor mínimo en diciembre, sin presentar una relación significativa ($P < 0,05$).

En cuanto al nitrógeno, se presentan diferencias entre casi todas las estaciones del litoral con una fluctuación heterogénea en el ciclo, muy similar a la materia orgánica, presentando variaciones desde cero hasta 0,69 %; con respecto al ANDEVA, éste fue significativo.

Los carbonatos fluctuaron de 0,2 meq/100g de suelo a 0,8 meq/100g de suelo en la mayoría de las estaciones, el ANDEVA resultó no significativo. Finalmente, las correlaciones significativas sólo se presentaron entre los parámetros tales como oxígeno disuelto-bióxido de carbono (0,63), entre la conductividad y la dureza total (0,81) y calcio-alcalinidad (0,91).

Los análisis de correlación entre la materia orgánica y el oxígeno disuelto presentaron un valor de 0,87. Por otro lado, la correlación de carbonatos y alcalinidad comprueban una vez más que los primeros son la base de medición de la segunda, presentando un valor de 0,91.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Un aspecto fundamental de los sistemas acuáticos son las características abióticas del agua, que generalmente están influenciadas por la naturaleza del sustrato; sin embargo algunas pueden tener variaciones

Tabla 2.

Valores promedio y análisis de varianza de los parámetros físicos y químicos en el sedimento monitoreados durante un año.

ESTACIÓN PARÁMETRO	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	ANDEVA (entre las estaciones)
pH	5.88± 0.56	5.94± 0.60	5.66± 0.61	5.61± 0.51	5.92± 0.41	5.72± 1.01	6.18± 0.50	6.25± 0.54	4.52± 0.54	4.76± 0.45	4.7± 0.63	$P > 0.05$
Materia orgánica (%)	9.73± 6.8	9.03± 4.94	12.29± 5.66	17.63± 4.64	11.73± 4.66	11.17± 5.89	18.84± 4.77	3.09± 3.41	17.26± 1.94	17.96± 2.30	15.8± 2.94	$P > 0.05$
Calcio (meq/g)	19± 13.45	17.41± 17.52	20.75± 17.78	15.83± 13.21	15.91± 10.23	21.41± 13.05	17.41± 16.21	9.33± 15.58	10.6± 8.32	8.2± 4.14	12.2± 6.61	$P < 0.05$
Magnesio (meq/g)	12.58± 12.38	13.41± 17.32	15.25± 19.53	10.66± 12.22	9.5± 10.97	11.25± 10.89	11.41± 14.47	6.33± 11.79	14.6± 8.35	8.6± 5.41	6.4± 6.46	$P < 0.05$
Nitrógeno (%)	0.35± 0.25	0.37± 0.11	0.93± 0.27	0.58± 0.13	0.31± 0.10	0.55± 0.30	0.67± 0.15	0.11± 0.15	0.62± 0.007	0.65± 0.05	0.72± 0.22	$P > 0.05$
Fósforo (ppm)	23.08± 2.88	* *	35.11± 11.35	* *	27.8± 7.31	* *	* *	24.18± 5.56	29.55± 7.28	36.6± 1.27	28.35± 6.43	$P < 0.05$
Carbonatos (meq/g)	0.51± 0.18	* *	0.51± 0.10	* *	0.48± 0.10	* *	* *	0.51± 0.1	0.4± 0.08	0.4±0.08 -	0.4±0.08 -	$P < 0.05$

* Los datos fallantes no se registraron por problemas técnicos.

relacionadas con el incremento de la materia orgánica, estos parámetros inciden en las condiciones bióticas, ya que se presentan organismos tanto autótrofos como heterótrofos que son susceptibles a las variaciones del pH, conductividad, temperatura del agua, dureza total, alcalinidad, cloro, bióxido de carbono y oxígeno disuelto, principalmente, presentándose una relación entre los organismos y las variaciones ambientales, ya que tales parámetros ayudan a la interpretación de la capacidad productiva de los recursos acuáticos y su comportamiento en el tiempo y el espacio (Boyd, 1979; Margalef, 1983; De la Lanza, 1987).

En cuanto a la circulación del agua, la temperatura prácticamente no cambió en relación con el aumento de la profundidad; ocurriendo lo contrario con la estratificación, ya que las diferencias en la temperatura provocan la separación de la columna de agua, como se observó en invierno; considerando el fenómeno de circulación de las masas de agua que se presentó por la acción del viento y el declive del ángulo solar, puede clasificarse como monomítico cálido, es decir que nunca se congela y que gran parte del año permanece estratificado (Moss, 1992; Torres y García, 1995).

El oxígeno disuelto y el bióxido de carbono presentaron valores que indican un proceso de descomposición, sobre todo en algunas áreas de la zona litoral y en el fondo, relacionado esto con la concentración de materia orgánica. Dentro del balance gaseoso en los sistemas acuáticos, el oxígeno disuelto es fundamental, ya que es generado por los productores primarios y captado por el intercambio atmosférico por un lado y consumido por los organismos aeróbicos por el otro, los cuales lo utilizan para su síntesis energética; limitando o favoreciendo con la abundancia o escasez de este parámetro la presencia y/o ausencia de organismos acuáticos (Margalef, 1983; Stiling, 1992; APHA, 1992). La concentración de O_2 mostró variaciones estacionales como resultado de las condiciones ambientales y biológicas, el límite mínimo ecológicamente hablando depende del medio (dulceacuícola, salobre o marino) y según Thurston *et al.*, (1979), las aguas dulces deben ser de 5,0 mg/L a 3,5 mg/L, valores similares a los reportados en este trabajo.

En cuanto a la influencia de la precipitación pluvial (figura 3), en las concentraciones de este gas, los valores muestran un decremento en los meses posteriores a las lluvias más importantes en el año. La relación con la temperatura ambiental no es significativa, ya que se mantuvo más o menos en un intervalo constante; de manera contraria a lo esperado, al bajar la temperatura el oxígeno también decreció. En este

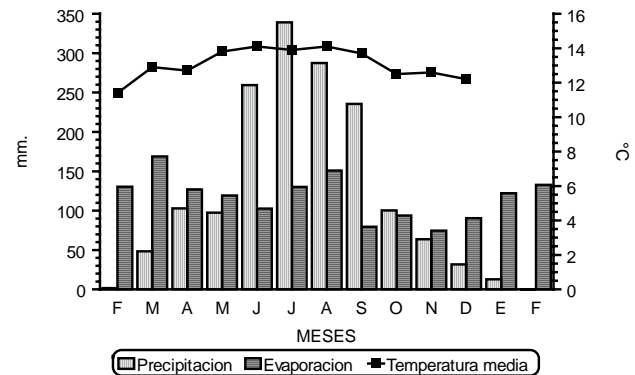


Figura 3. Variación de los registros mensuales de la precipitación pluvial, evaporación y temperatura media en la estación termoplúviométrica de Huitzilac, Mor. de febrero de 1997 a febrero de 1998.

lago particularmente se ha observado un incremento considerable de productores primarios (fitoplancton y macrofitas) (Bonilla, 1992; García, 2004), el cual es producto del incremento de sedimento ocasionado por el aporte terrígeno alóctono; varias de las fluctuaciones de este parámetro se relacionan con lo anterior, ya que el proceso de descomposición es bastante conspicuo.

Por otro lado, la influencia del movimiento causado por la circulación horizontal del agua en la superficie del lago gracias a las corrientes de aire, a la morfometría del mismo y a su entorno, así como por una salida continua de agua que tiene hacia otro embalse en la zona noroeste, hacen que cada una de las áreas presente una dinámica muy particular. Estas condiciones analizadas, sugirieron que se realizara un estudio más completo en ciclos nictimerales que se publicará posteriormente. Por fortuna este cuerpo de agua no tiene directamente una descarga de aguas residuales, sin embargo se presentan algunas alteraciones sobre todo por recibir desechos de las áreas recreativas en la zona este del lago, ya que el riachuelo que lo alimenta es utilizado para diversas actividades por los usuarios de las áreas (para lavar trastos, aseo personal, etc.).

Finalmente, respecto a este parámetro, se considera que el proceso continuo de eutrofización, provocado por diversas razones, permite observar claras diferencias entre la zona trofolítica y la trofogénica en este lago.

Respecto a los resultados obtenidos del análisis del agua, se encontró una ligera variación entre acidez y alcalinidad durante todo el año, sin ser ésta muy marcada y tendiendo siempre a la neutralidad, condiciones que favorecen el desarrollo de las comunida-

des tanto vegetales como animales (Bonilla-Barbosa, 1992); las aguas del lago se clasificaron como suaves a moderadamente duras, mismas que son consideradas como mayormente productivas comparadas con los sistemas de aguas suaves, por ello este parámetro puede ser un indicador de la productividad (Boyd, 1979; Arrignon, 1978).

Referente al sedimento, éste se caracterizó como rico en materia orgánica, con zonas en donde el pH tiende a la acidez y presenta cantidades variantes de nutrientes, correspondiendo al grado de descomposición del detritus. Al respecto, Cobertera (1993) encontró que los suelos que tienen de 1,5 % a 2,0 % se consideran mineral-orgánicos, los de más de 2,0 % orgánicos de muy buena calidad y según Aguilera (1989) de 0,8 % a 2,0 % es baja la cantidad de materia orgánica y de 2,0 % a 4,0 % es media, por lo que se puede considerar al sedimento de este lago como muy rico en material orgánico, el cual procede de la vegetación sumergida, así como del aporte alóctono y representan una fuente de energía para los organismos heterótrofos (Ortega, 1978).

Otro parámetro muy relacionado con la materia orgánica es el nitrógeno, el cual presentó en este trabajo porcentajes considerados como normales según Cobertera (1993), quien indica que de 0 % a 0,05 % de N total es muy baja, de 0,05 % a 0,09 % es baja y de 0,1 % a 0,2 % es normal, inclusive los valores en el estudio fueron altos, ya que este elemento se encuentra asociado generalmente con la materia orgánica y en la mayoría de los lagos está sedimentado y sólo se aprovecha el que se encuentra suspendido en la columna de agua, encontrándose que puede haber pérdidas a través del sedimento de hasta 1,25 toneladas de nitrógeno por hectárea provenientes de la absorción del amonio por partículas de arcillas y el cual no puede ser aprovechado por los organismos autótrofos. (Avnimelech *et al.*, 1981). Sugiyama y Kawai (1979), mencionaron que el amonio se incorpora rápidamente en los organismos en los primeros niveles tróficos y únicamente una pequeña porción del nitrógeno incorporado es transferida a niveles más altos, absorbiéndose otra parte en la materia orgánica particulada. Estos datos sugieren que el sedimento constituye una trampa de nitrógeno pues retiene cantidades importantes de este elemento (Martinova, 1993). Por otra parte, Wetzel (1975) indica que el intercambio de nitrógeno entre los sedimentos y el agua varía según la composición del primero, además de que en lagos, la dinámica del nitrógeno en el sedimento es poco conocida, sin embargo ha estimado que los sedimentos de estos sistemas contienen típicamente de 50 kg a 200 kg de

nitrógeno por hectárea en 10 cm de grosor, gran parte del cual se halla inmovilizado y absorbido a partículas inorgánicas.

En años recientes, se ha observado un gran interés en el estudio de los sedimentos en relación con los ciclos biogeoquímicos y su importancia en el proceso de eutrofización de los cuerpos de agua continentales. La interfase sedimento-agua desempeña un papel esencial en los sistemas dulceacuícolas y se ha confirmado que la capacidad de almacenamiento del sedimento excede entre 100 y 1 000 veces la columna de agua. Por esta circunstancia, el sedimento puede servir como una fuente o almacén de componentes químicos, principalmente nutrimentos (Bonetto, 1982; Margalef, 1983). Las características edáficas de sistemas acuáticos son importantes, ya que la productividad y la calidad del agua están relacionados directamente con la presencia de algunos compuestos o elementos en el sedimento. Varios autores como Huet (1978), Avnimelech *et al.*, (1981) y Coche (1985), recomiendan llevar a cabo una serie de análisis para evaluar las condiciones físicas y químicas del sedimento; cabe señalar que los suelos de la República Mexicana son ricos en Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Los resultados obtenidos indican cambios estacionales y temporales durante el ciclo de muestreo, es decir, las variaciones que se presentaron entre las zonas de colecta estuvieron afectadas directamente por las condiciones ambientales, así como por las características del sistema.

La dinámica del sedimento se ve reflejada en el resto de la columna de agua, indicando que es un sistema productivo, con tendencia a la eutrofización, por lo que se considera importante contribuir con el conocimiento de los procesos ecológicos en el lago Zempoala para determinar su desarrollo biológico actual, así como sugerir estrategias de disposición, manejo y administración de este recurso natural.

REFERENCIAS

- Aguilar, L. A. (1986). *Contribución al conocimiento de las características hidrobiológicas del Lago de Tequesquitengo, Morelos*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Biológicas. UAEM 47 p.
- Aguilera, H. N. (1989). *Tratado de edafología de México*. Tomo I. UNAM.
- APHA, IWWA, WRCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. España Ed. Diaz de Santo, 1575 p.

- Arrignon, J. (1978). Calcul pratique de la section d'un moi-ne de vidage. *Bull Lais. C.S.P.* No. 1-2/78, 12-14 p.
- 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. 91-133 p. *En: Gómez, A. S. y Arena, F. B. (Eds.). Contribuciones en hidrobiología.* México. UNAM.
- Arroyo, B. G.; Beltrán, A. R.; Sánchez, P. J. y Ramírez, L. J. P. (1998). Comportamiento de algunos factores físico-químicos de la presa Gustavo Díaz Ordaz "Bacurato", Sinaloa, México. *Memorias del I Congreso Nacional de Limnología. Morelia, Michoacán.* Pág. 8.
- Avnimelech, Y.; Lecher, M.; Raven, A y Zur, O. (1981). A method for the evaluation of conditions in a fish pond sediment. *Aquaculture* 23:361-365.
- Banderas, T. A. G. (1994). *Limnología del Lago El Sol, Nevado de Toluca, México.* Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM. 146 p.
- Bonetto, C. A. (1982). *Producción primaria de fitoplancton, concentración de pigmentos, materia orgánica y nutrientes, en la caracterización limnológica de los cuerpos de agua regionales del noreste argentino.* Tesis Doctoral. Fac. de Cienc. Exac. Nat., UBA. 185 p.
- Bonilla, B. J. R. (1992). *Flora y vegetación acuática vascular de las Lagunas de Zempoala, Morelos, México.* Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 134 p.
- Bonilla-Barbosa, J. R. y Novelo, R. A. (1995). *Manual de identificación de plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México.* Cuadernos IBUNAM. Instituto de Biología. UNAM. México. 168 p.
- Boyd, C. E. (1979). *Water quality in warmwater fish pond.* Craftmaster Pinters. Inc. Opelika, EUA.
- Boyd, C. E.; Musig, Y. y Tucker, L. (1981). Orthophosphate uptake by phytoplankton and sediment. *Aquaculture* 22: 165-173.
- Cobertera, L. E. (1993) *Edafología aplicada.* Ed. Cátedra. México, 326 p.
- Coche, A. G. (1985). Suelo y piscicultura de agua dulce, métodos sencillos para la acuicultura. *Colección FAO, Capacitación, Vol. 6.* 174 p.
- Coler, R. A. y Rockwood, J. P. (1989). *Water Pollution Biology, a laboratory/field handbook.* Ed. Technomic. U.S.A. 107 p.
- De la Lanza, E. G. (1987). *Química de la fase sedimentaria en las lagunas costeras.* Contribuciones Biológicas. Publicaciones del Instituto de Biología Nacional. UNAM, México.
- Díaz, V. M. (2000). *Aspectos sobre la densidad, diversidad y distribución de la fauna bentónica en el Lago Zempoala, Morelos, México, en un ciclo anual (1997-98).* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 51 p.
- Domínguez, R. L. y Aguilera, H. N. (1989). *Metodología de análisis físico-químicos de suelos.* Facultad de Ciencias. UNAM. México. 35 p.
- Elizalde, A. E. E. (2000). *Caracterización y análisis de algunos parámetros físico y químicos del agua y sedimento del lago "Zempoala", Morelos, México, en un ciclo anual (1997-98).* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 50 p.
- Fassbender, W. H. y Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos, con énfasis en América Latina.* Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica. 420 p.
- García-Rodríguez, J.; Molina-Astudillo, F. I.; Quiroz, C. H. y Trejo, A. R. (2003). Especies del fitoplancton presentes en el lago Tonatiahua, Morelos, México. *Acta Universitaria* Vol. 13 No. 2.
- García-Rodríguez, J. (2004) *Distribución espacio-tiempo del fitoplancton del Lago Zempoala, Morelos, México, durante un ciclo anual.* Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 42 pag.
- González, R. S.; De la Lanza, E. G. y Márquez, G. A. (1998). Contenido de materia orgánica en el Lago de Huayamilpas, D.F. en agua y sedimento superficial. *Memorias del I Congreso Nacional de Limnología. Morelia, Michoacán.* México. Pág. 15.
- Huet, M. (1978). *Tratado de piscicultura.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Kajak, Z. y Hillbrich-Ilkowska. (1972). Analysis of the influence of fish on benthos by method of enclosures. Pp.781-783. *In: Productivity Problems of Freshwaters.* PWN. Polih Scientific Publishers.
- Levine, S.N. y Schindler, D.W. (1989). Phosphorus, nitrogen and carbon dynamics of experimental Lake 303 during recovery from eutrophication. *Can. J. Fish, Aquat. Sci.* 46:2-10.
- Margalef, R. (1983). *Limnología.* Ed. Omega. España. 1010 p.
- Martinova, M. V. (1993). Nitrogen and phosphor compounds in bottom sediments: mechanisms of accumulation and release. *Hidrobiología* 252:1-22.
- Mijangos, C. M. (1993). *La vegetación y flora acuática vascular del Lago Coatetelco, Morelos, México.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. UAEM. 53 p.
- Moss, B. (1992). *Ecology of Fresh Waters, man and médium.* Blackwell Scientific Publications. Great Britain. 417 p.
- Ortega, T. (1978). *Química de suelos.* UACH. Dpto. de suelos. 1-152 p.

- Pérez, R. A., Torres-Orozco, B. Morales, G. E. y Pérez, M. E. (1998). Los sedimentos recientes de la Laguna Escondida, Los Tuxtlas, Veracruz. *Memorias del I Congreso Nacional de Limnología. Morelia, Michoacán*. Pág. 7.
- Quiroz, C. H.; Mora, Z. L. M.; Molina, A. F. I. y García, R. J. (2004). Variación de los organismos fitoplanctónicos y la calidad del agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México. *Acta Universitaria*. Vol. 14 No. 1.
- Ramírez-Pulido, J. (1969). Contribución al estudio de los mamíferos del Parque Nacional "Lagunas de Zempoala", Morelos, México. *Ann. Inst. Biol. UNAM, México*. 40(2):253-290.
- Rendón-López, M. B. y Chacón-Torres, A. (1998). Uso de los índices tróficos en un lago tropical mexicano. *Memorias del I Congreso Nacional de Limnología. Morelia, Michoacán*. Pág. 19.
- Salazar, V. F. (1997). *Flora y vegetación acuáticas vasculares del Lago de Tequesquitengo, Morelos, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. UAEM. 104 p.
- Sánchez, V. A.; Jaramillo, S. G. y Reyes, A. E. (1998). Limnología de la presa Miguel de la Madrid H., Tuxtepec, Oaxaca. *Memorias del I Congreso Nacional de Limnología. Morelia, Michoacán*. Pág. 34.
- Segura-García, V. (1998). Variación temporal en la calidad del agua del Lago de Patzcuaro, Michoacán. *Memorias del I Congreso Nacional de Limnología. Morelia, Michoacán*. Pág. 18.
- Sosa, A. H. (1935). Los bosques de Huitzilac y las lagunas de Zempoala en el Estado de Morelos. *Rev. Méx. Forestal*. 13 (5-6): 39-46.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. (1997). Síntesis gráfica y descriptiva. Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Parques Nacionales. Anexo cartográfico. *Carta estatal de regionalización fisiográfica*. México.
- Stiling, P. (1992). *Ecology, theories and applications*. Ed. Prentice Hall. U.S.A 638 p.
- Sugiyama, M. y Kwai, A. (1979) Microbiological studies on the nitrogen cycle in aquatic environments VI. Metabolic rate of ammonium nitrogen in a goldfish culturing pond. *Bulletin of The Japanese Society of Scientific Fisheries* 45 (6):785-789.
- Thurston, R. V.; Russo, R. C.; Felner, Jr. C. M.; Edsall, T. A. y Barber, Jr. Y. M. (1979). *A review of the EPA red Book: Qualitycriteria for Water*. Water Quality Section, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 313 p.
- Torres, O. R. y García, C. J. L. (1995). *Introducción al manejo de datos limnológicos*. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 130 p.
- Tricart, J. (1985). *Pro-Lagos del Eje Neovolcánico de México*. Inst. Geografía. UNAM. México. 66 p.
- Wetzel, R. G. (1975). *Limnología*. Ed. Omega, España. 679 p.
- Wetzel and Likens (2000). *Limnological Analyses*. 3ª Ed. Springer-Verlag New York. 429 p.