

# CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA LAGUNA EL LIMÓN, CHIAPAS

T Leal-Ascencio,<sup>1\*</sup> S. Miranda,<sup>1</sup> E. Otazo,<sup>2</sup> F. Prieto<sup>2</sup> y A. J. Gordillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Veracruzana,  
Lomas del Estadio, Xalapa, Veracruz CP 91090. Tel. 2288421700 ext. 11666.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.  
Carretera Pachuca-Tulancingo, km 4.5, CP 42076, Pachuca, Hgo. e-mail: tere.leal.a@gmail.com

men

guna El Limón, en el municipio de Reforma, Chiapas, ha  
entado una disminución masiva en el número de peces,  
e llevó a una caracterización fisicoquímica del cuerpo de  
. Se realizaron tres muestreos sucesivos de agua de la  
ta, con el fin de determinar la calidad de ésta por me-  
le análisis físicos y químicos. La caracterización se llevó  
to mediante el análisis de conductividad específica, pH,  
no disuelto, temperatura, alcalinidad, cianuros, color,  
fila-a, DBO5, ortofosfato, fósforo total, DQO, nitratos,  
geno amoniacal, fenoles, grasas y aceites, hidrocarburos  
es de petróleo, sulfuros, SST, sulfatos, turbiedad, barrido  
látiles y semivolátiles orgánicos, campo y laboratorio. El  
a de la laguna no cumple las recomendaciones estable-  
s en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (SEDUE,  
9) en oxígeno disuelto, pH, ortofosfatos, sólidos disuel-  
sulfatos, nitrógeno amoniacal y fósforo total; así como  
os criterios internacionales para DQO, DBO5, nitrógeno  
niacal y sulfuros. Se analizaron las posibles causas de  
is desviaciones a las condiciones naturales de la laguna.

**Palabras clave:** caracterización fisicoquímica, laguna, El Li-  
n, sulfuros.

## roducción

istema lagunar San Miguel está situado en el municipio de  
arma, Chiapas. Lo forman las lagunas del Río, Enmedio y  
Limón. Es alimentado por los escurrimientos de arroyos y  
eríos, y vierte en forma natural hacia el río Mezcalapa a  
rés del arroyo Boca Limón. La laguna El Limón ha presen-  
o eventos de mortandad de peces, por lo que se prohibió  
pesca en el sitio. En temporada de estiaje, la laguna es

somera, con un metro de profundidad como promedio y con  
fosas de un máximo de 1.5 m, debido a que se abrió artifi-  
cialmente una boca adicional del sistema lagunar hacia el río.  
Esto ha provocado que el intercambio de agua entre El Limón  
y las lagunas Enmedio y del Río sea muy limitado. El Limón  
recibe agua del arroyo Limón, que aporta un 10% de las  
entradas totales de agua, así como de diversas descargas de  
agua residual que representan el 90% del total de aportes a  
la laguna. Éstas provienen de poblados como El Carmen, San  
Miguel Segunda y Las Garzas e instalaciones industriales de  
tratamiento de gas natural (complejo Cactus de Pemex).

## Metodología

Se realizaron análisis físicos y químicos del agua en siete  
estaciones de muestreo en tres ocasiones sucesivas, entre  
el 10 y el 15 de marzo de 2005, tal como se muestra en la  
figura 1. Se analizaron conductividad específica, pH, oxígeno  
disuelto, temperatura, alcalinidad, cianuros, color, clorofila-  
a, DBO5, ortofosfato, fósforo total, DQO, nitratos, nitrógeno  
amoniacal, fenoles, grasas y aceites, hidrocarburos totales  
de petróleo, metales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, cro-  
mo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, cinc), sulfuros,  
SST, sulfatos, turbiedad, barrido de volátiles y semivolátiles  
orgánicos. Las mediciones de campo se realizaron con un  
equipo *Yellow Springs Instruments*. El equipo se calibró an-  
tes de la salida del laboratorio, así como al inicio de cada  
día de muestreo. Se midió la transparencia de la columna  
a través del disco de *Secchi*. Los análisis de dureza, me-  
tales, sólidos, cianuros, sulfuros, clorofila-a, conductividad,  
pH, nitratos, nitrógeno amoniacal, alcalinidad, fenoles, color,  
grasas y aceites y DBO siguieron los procedimientos de las  
normas técnicas mexicanas NMX; los barridos de compues-



tos orgánicos y los hidrocarburos totales de petróleo se analizaron mediante técnicas del Standard Methods (2002).

### Resultados

La conductividad eléctrica en la laguna fluctúa entre 535 y 2030  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una tendencia de incremento de este a oeste. El afluente del arroyo Limón presenta una conducti-

disuelto en la laguna muestra concentraciones entre 0.5 mg/L. La escasez casi total de oxígeno se presenta en la zona poniente del cuerpo de agua. De acuerdo con criterios ecológicos, se recomienda que el oxígeno promedio sea mayor a 5 mg/L, para proteger a la vida acuática que no se cumple en la laguna, donde el promedio gen

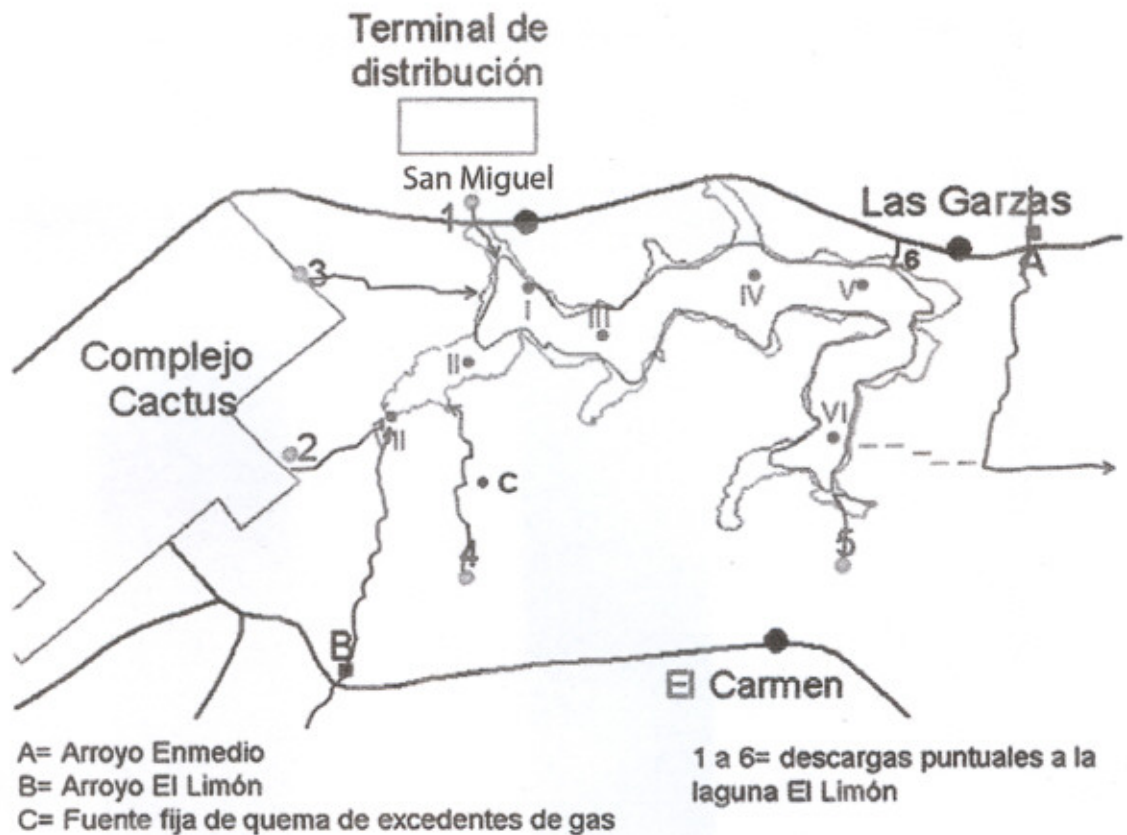


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo.

vidad de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por la poca mezcla en el interior, se observa un gradiente entre las diversas zonas del cuerpo de agua. La temperatura del agua determinada en la laguna varía entre 23 y 30.4 °C, teniendo en cuenta los valores en la zona centro y en el extremo oeste. El afluente presenta una temperatura de 25 °C. El pH presenta valores entre 6.5 y 8.7, la zona occidental con los valores menores y el área central los más elevados. De considerarse un valor de 8.1 como el pH natural de este cuerpo de agua, se podría demostrar que algunas regiones de la laguna tienen un pH muy bajo y menor a lo recomendado en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (SEDUE, 1989). El oxígeno

es de 4.83 mg/L. Las concentraciones tan bajas pueden ser efecto del arribo de materia orgánica en exceso, que sobrepasa la capacidad de asimilación de la laguna. Éste puede agravarse por la presencia de lirio acuático, que cubre la superficie del agua e impide con ello el libre intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el agua.

La laguna presenta una alcalinidad baja, entre 70 y 100 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ , lo que permitiría clasificar esta agua como aceptable para fuente de abastecimiento; además muestra que los suelos de la zona no son fuentes naturales de carbonatos.

El color verdadero es muy uniforme en el cuerpo de

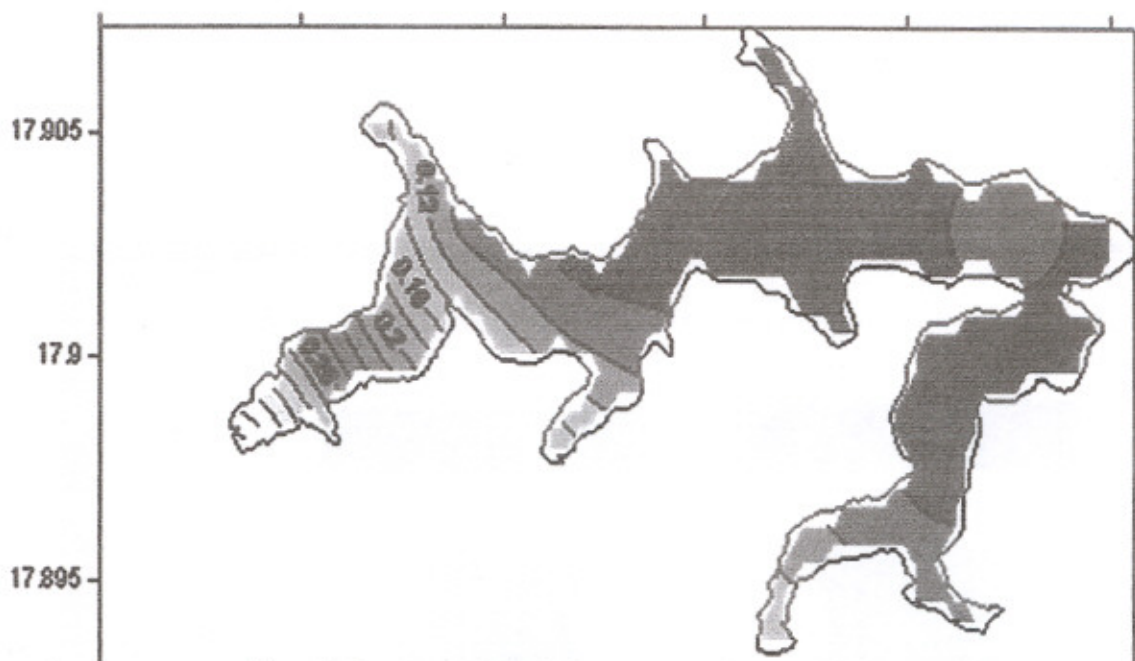


Figura 2. Concentración de fósforo total en la laguna (mg/L).

agua, con valores entre 22 y 25 unidades Pt/Co, lo que se considera normal para una laguna tropical, con presencia de fitoplancton. Estos valores rebasan el valor límite establecido por Chapman (1996), que es de 5 unidades Pt/Co, para cuerpos de agua libres de contaminación. La clorofila-a presentó valores entre 0 y 22  $\mu\text{g/L}$ , con los valores más elevados en los extremos oriente y poniente de la laguna.

Los cloruros, al igual que la alcalinidad, muestran valores bajos, cercanos a 100 mg/L, con los valores máximos en la zona oeste y los valores mínimos en el brazo menor de la laguna, que es la zona de influencia de las descargas municipales. Estas concentraciones muestran que la conductividad que se detecta en la zona poniente no está relacionada con los cloruros; así como tampoco está relacionada a carbonatos o bicarbonatos, dados los valores de alcalinidad referidos con anterioridad. Asimismo, el nivel de cloruros permite clasificar el agua como apta para fuente de abastecimiento.

Se analizó la  $\text{DBO}_5$ , que muestra valores entre 4 y 36 mg/L. En este sentido, la laguna presenta una contaminación de moderada a baja, si se toman en consideración los límites recomendados en la Unión Europea para protección de la vida acuática, que es de 6 mg/L, descritos por Chapman (1996). No se encontraron fenoles en agua, hasta un

límite de detección de 0.12 mg/L.

Con respecto a los ortofosfatos —fracción soluble disponible del fósforo— éstos se detectaron en concentraciones entre 0.04 y 0.12 mg/L como fósforo. Los valores mayores se presentaron en la zona poniente de la laguna, mismos que rebasan el límite recomendado por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para protección de la vida acuática (SEDUE, 1989), que es de 0.006 mg/L; así como las recomendaciones de 0.02 mg de fósforo para limitar la eutrofización, dado por Chapman (1996). El fósforo total muestra valores entre 0.09 y 0.42 mg/L. Estos datos se representan en la figura 2. El fósforo total también rebasa los límites recomendados en los Criterios Ecológicos de 0.006 mg/L, mas no el criterio establecido en la Unión Europea para fuentes de abastecimiento que es de 5.0 mg/L.

En la laguna se detectaron concentraciones de grasas y aceites entre 4.4 y 15.7 mg/L. Las mayores se localizaron en el brazo menor de la laguna, zona de influencia de las descargas municipales. Esto se corroboró mediante la medición de hidrocarburos totales de petróleo, los cuales se encontraron entre 0.5 y 3.1 mg/L. Esto demostró que el origen de las grasas y aceites detectados es municipal y no industrial.

No se detectaron nitratos en superficie, hasta un límite



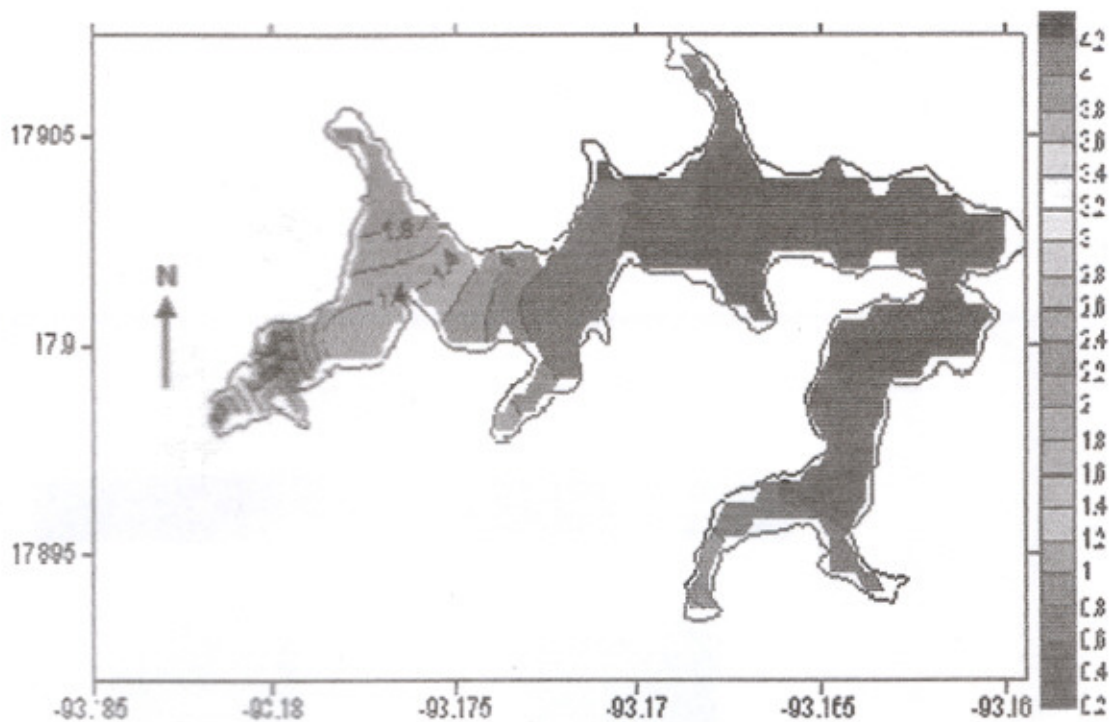


Figura 3. Nitrógeno amoniacal en superficie de la laguna (mg/L).

de detección de 0.05 mg/L. Se analizó el nitrógeno amoniacal, el cual varió entre 0.6 y 4 mg/L, con las concentraciones máximas en la zona occidental de la laguna (ver figura 3). Éstas rebasan casi 30 veces los límites recomendados por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (SEDUE, 1989), para protección de la vida acuática que es de 0.06 mg/L; así como el límite establecido en la Unión Europea de 0.025 mg/L y en Rusia, que es de 0.05 mg/L. La toxicidad del nitrógeno amoniacal depende de la composición iónica, la temperatura y el pH. Con un pH ácido todo se encuentra no ionizado como el amoniaco, el cual es cien veces más tóxico que el amonio para las especies acuáticas. A temperaturas altas el amoniaco es más tóxico que a temperaturas bajas, por lo que a 28 °C, temperatura del agua en El Limón, la concentración máxima admisible en la laguna sería entre 2.48 y 3.13 mg/L, dependiendo del pH, lo que se rebasa en la zona poniente de la laguna.

Los sólidos suspendidos totales muestran que éstos fluctúan entre 8 y 25 mg/L, con los valores menores en el brazo menor de la laguna y las máximas concentraciones en la zona poniente de la misma. Los criterios ecológicos no incluyen este parámetro dentro de sus recomendaciones.

Los sulfatos varían entre 40 y 360 mg/L, con los valores máximos en la zona poniente de la laguna y los más bajos en el brazo menor de la laguna, área de influencia de las descargas municipales. Ello demuestra que la conductividad está muy probablemente relacionada a los sulfatos, dado que es el único anión presente en concentraciones de consideración. El límite recomendado en los criterios Ecológicos de Calidad del Agua (SEDUE, 1989) señala que para la protección de la vida acuática no se deberá exceder 0.005 mg/L de sulfatos, lo que es rebasado en varias órdenes de magnitud en este caso. En Rusia se establece que no se deberán exceder 100 mg/L de sulfatos para la protección de pesquerías y la vida acuática (Chapman, 1996), de tal manera que es posible que los criterios recomendados en México, sean en extremo bajos. Aun con esta consideración, la laguna presenta en su área occidental concentraciones cercanas a 300 mg/L.

Los sulfuros en la superficie de la laguna varían en un rango entre 0.2 y 0.4 mg/L (ver figura 4). Estos se presentan de forma natural en proceso anaerobio, de tal manera que es difícil detectarlos en la superficie y más a tan altas concentraciones. Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua de México recomiendan que las concentraciones de sulfuros

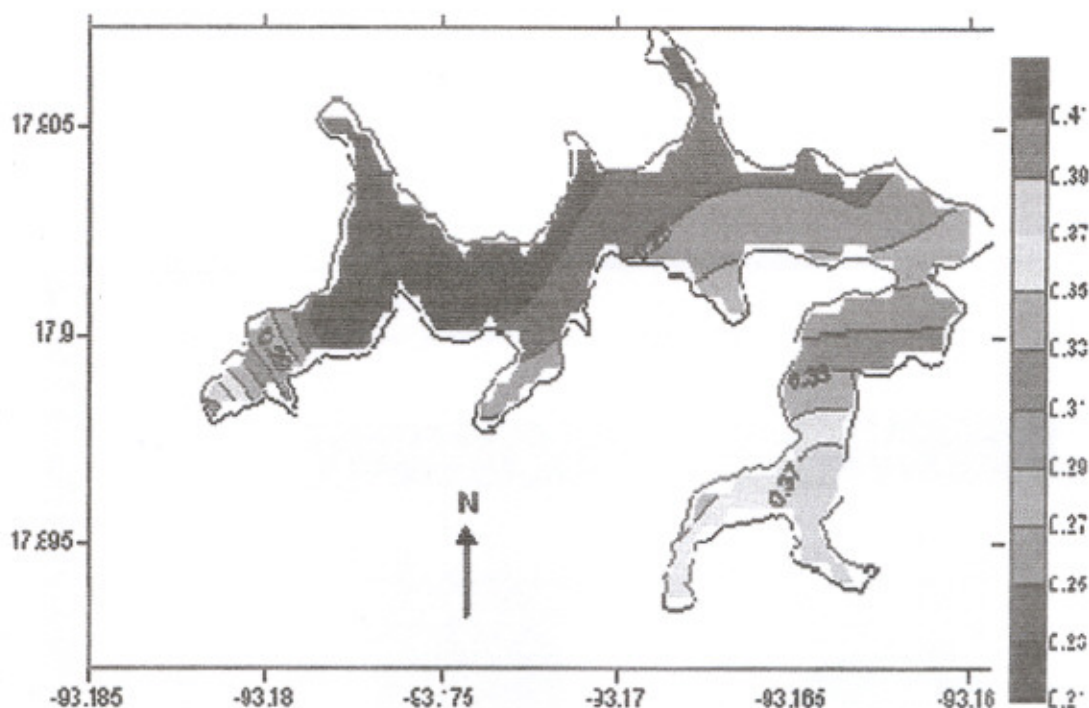


Figura 4. Sulfuros totales en la laguna El Limón (mg/L).

no deben rebasar 0.002 mg/L para proteger la vida acuática (SEDUE, 1989). Esta recomendación coincide con el límite máximo permisible por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 1991). Es importante resaltar que en la laguna El Limón se rebasan los límites de sulfuros entre cien y doscientas veces. La formación de sulfuros a causa de la reducción de sulfato en la naturaleza se incrementa en sedimentos con valores de pH mayores a 6.0. La acumulación de sulfuros puede ser más elevada en áreas ricas en sulfatos, como es el caso de la zona poniente de la laguna.

La geoquímica de los procesos anaerobios más importantes en ambientes acuáticos incluye la oxidación de materia orgánica por medio del oxígeno disuelto. Una vez que se ha agotado éste, se acompaña de la reducción de  $\text{I}^{+5}$  a  $\text{I}^{-3}$ ,  $\text{Mn}^{+4}$  a  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$  a  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{S}^{+6}$  a  $\text{S}^{-2}$ . En general, estos procesos son excluyentes de tal manera que no habrá reducción de Mn o Fe si hay oxígeno disuelto o nitratos. A partir del agotamiento del nitrato se efectúa la oxidación subsiguiente a expensas de estos metales. Finalmente, el sulfato es reducido si hay materia orgánica a oxidar y la presencia de bacterias sulfatoreductoras (Lovley y Phillips, 1987; Murray y Skyring, 2005). En este caso, la presencia

de los sulfuros coincide con el nitrógeno amoniacal, así como bajos contenidos de oxígeno disuelto, entre otros hallazgos; también tiene que ver con el hecho de que es indicativa de la presencia de procesos reductores y de la escasez de oxígeno disuelto en el medio acuático. Esto puede tener graves implicaciones para el desarrollo de especies piscícolas en la laguna. Por otro lado, el sulfuro mismo presenta un alto grado de toxicidad para las especies, pues se convierte en ácido sulfhídrico a bajos valores de pH del medio, lo cual es volátil a temperatura ambiente.

### Conclusiones

La caracterización de la laguna El Limón muestra que en el poniente del cuerpo de agua se dan procesos anaerobios, en los cuales se ha agotado el nitrato y se detecta un exceso de nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfuros, pH ácido; así como sustancias disueltas, principalmente sulfatos. La presencia de los sulfuros coincide con la presencia de nitrógeno amoniacal, conductividad eléctrica, así como bajos contenidos de oxígeno disuelto, entre otros. La importancia de los sulfuros reside en el hecho de que es indicativa de la presencia de procesos reductores y de la escasez de



oxígeno disuelto en el medio acuático, como lo demuestran los resultados fisicoquímicos. Esto puede tener graves implicaciones para el desarrollo de especies piscícolas en la laguna. Por otro lado, el sulfuro mismo presenta toxicidad para las especies, pues se convierte, según el pH del medio, en ácido sulfhídrico, que es volátil a temperatura ambiente.

## Referencias

- AWWA, WEF, APHA. 2002. *Standard methods for examination of water and wastewater*. Amer. Pub. Health Assoc. Washington, DC Sección 5520F.
- Chapman, D. (ed). 1996. *Water Quality Assessments: A guide to the use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. UNESCO, WHO, UNEP. Chapman & Hall. Londres. 585 pp.
- Environmental Protection Agency. 1991. *Guidance for Water Quality-based Decisions: The TDML Process*. EPA 440/2-91-001. Washington. 63 p.
- Lovley, D. y E. Phillips. 1987. Competitive mechanisms for inhibition of sulfate reduction and methane production in the zone of ferric iron reduction in sediments. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 53. Pp. 2636-2641.
- Murray, E. y G. Skyring. 2005. *Biological Sulfate reduction*. Geoscience Australia.
- Normas Mexicanas-AA-00-SCFI. Normas técnicas de análisis de agua. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1989. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. *Diario Oficial de la Federación*.

## Agradecimientos

Se agradece al Gobierno del Estado de Chiapas el financiamiento para la realización de este estudio. MT Leal agradece al IMTA y a CONACYT el apoyo otorgado para los estudios doctorales.