

ESTADO TRÓFICO DEL LAGO COATETELCO, MORELOS, MÉXICO

TROPHIC STATUS OF COATETELCO LAKE IN MORELOS STATE, MÉXICO

Migdalia Díaz-Vargas*, **Francisca Isela Molina-Astudillo[†]**,
Judith García-Rodríguez, **Edgar Eduardo Elizalde-Arriaga**

Laboratorio de Hidrobiología. Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001. Col. Chamilpa. Cuernavaca, Morelos, México. CP 62209. Tel. 7773 162354.
*Autor de correspondencia: migdalia@uame.mx

RESUMEN

La determinación del estado trófico de un ecosistema acuático permite tomar acciones respecto al uso y buen manejo del mismo, ya que nos indica los valores de productividad que sostiene, sobre todo cuando es un sistema natural que es empleado mayoritariamente para el abasto de agua y el cultivo de peces, así como la recreación turística. El objetivo de este trabajo fue determinar mediante la aplicación del Índice de Carlson el estado trófico del Lago Coatetelco, para lo cual se consideraron valores de transparencia al disco de Secchi, clorofila "a" y fósforo total, complementando la valoración con el registro de oxígeno disuelto, temperatura, alcalinidad, pH y dureza total. Los resultados indicaron que el sistema presenta condiciones de eutrófia-hipereutrofia de acuerdo con los parámetros considerados.

Palabras clave: estado trófico, lago, Coatetelco.

ABSTRACT

The determination of the trophic state of an aquatic ecosystem allows to take actions regarding the use and good management of the same, since it indicates them the values of productivity that sustains, especially when it is a natural system that is used mainly for the water of water and the fish farming, as well as tourist recreation. The objective of this work was determined by the use of the Carlson index of the trophic state of Lake Coatetelco, for which it considered values of transparency to the Secchi disk, chlorophyll "a" and total phosphorus, complementing the titration with the record of dissolved oxygen, temperature, alkalinity, pH and total hardness. The results indicated that the system presents the conditions of eutrophy-hypereutrophy according to the property parameters.

Key words: trophic state, lake, Coatetelco.

INTRODUCCIÓN

La limnología es una ciencia descriptiva que se refiere al estudio de las reacciones funcionales y productividad de las comunidades bióticas de las aguas continentales en relación con los parámetros físicos y químicos ambientales (Wetzel, 2001); entre las áreas de aplicación, se incluye el diagnóstico y conservación de la calidad del agua, así como de los recursos hídricos, la determinación del estado trófico, la conservación de áreas protegidas y de su biodiversidad, así como la reducción del impacto antrópico, el mantenimiento de los usos múltiples y la restauración de los sistemas acuáticos alterados (Arocena y Conde, 1999). Es en ese sentido la información obtenida mediante el análisis de los aspectos limnológicos en cuerpos de agua naturales, provee de herramientas suficientes para la elaboración de estrategias de manejo de manera integral y sustentable de los recursos acuáticos, pues si bien, estos han sido modificados debido al desarrollo de las poblaciones humanas, este tipo de investigaciones tienen aplicación inmediata en la toma de decisiones (De la Lanza-Espino *et al.*, 2007). Uno de estos recursos limnológicos es el Índice del Estado Trófico de Carlson (TSI-trophic state index), el cual nos permite evaluar el estado de salud de los sistemas acuáticos mediante la evaluación de su productividad primaria, ya sea mediante la determinación de clorofila "a" (TSI_{CA}), fósforo total (TSI_{TP}) o transparencia al disco de Secchi (TSI_{SD}) o la combinación de los tres (Carlson, 1977 y 1980; Xu *et al.*, 2001).

En las últimas tres décadas la piscicultura en el lago Coatetelco ha dado sustento a muchas familias, pues si bien el mayor aporte económico es gracias a la actividad turística y recreacional, el aporte alimenticio que brinda este ecosistema a los pobladores aledaños es sumamente importante, y es en ese sentido, que el papel de las administraciones gubernamentales y locales en la protección del entorno natural se debe centrar en el desarrollo de estrategias de gestión como la toma de

decisiones en relación con la depuración de las aguas, reglamentación de vertidos, problemas sanitarios diversos o cuestiones relativas al gobierno de cuencas fluviales, la piscicultura y pesca fluvial, la evaluación de la capacidad de refrigeración de aguas naturales o los problemas que surgen por las peculiaridades regionales en la composición química de las aguas (Colmenar, 2002); por lo que el presente trabajo brinda información sobre la evaluación del estado trófico actual a través de la aplicación del TSI para que la toma de decisiones vaya encaminada al uso responsable de los recursos naturales, especialmente cuando este tipo de estudios sean entendidos como parte de una visión global que considera a las aguas naturales como el mejor indicador del grado de salud de los ecosistemas terrestres (SEMARNAT, 2017).

Área de estudio

El lago Coatetelco (origen *dolina*) tiene una superficie de 150 ha, se localiza a una latitud de 1000 msnm en las coordenadas 18°45' LN y 99°20' LO, dentro de la localidad del mismo nombre y perteneciente al municipio de Miaquatlán, al poniente del estado de Morelos. Se ubica en la región del Balsas perteneciente a la cuenca del río Grande de Amacuzac (Bonilla-Barbosa, 2009; Granados-Ramírez *et al.*, 2014; Gómez-Márquez *et al.*, 2007) y es considerado uno de los cuerpos de agua naturales más importantes en la entidad (Figura 1), pues en este sistema se llevan a cabo actividades tanto pecuarias como turísticas y recreativas, además de ser un ecosistema dinámico que alberga a distintas especies vegetales y animales. Presenta variaciones en el volumen de agua durante la época de estiaje, esta situación ha producido importantes problemas sociales en la región, ya que después de haber tenido 15 m de profundidad en 1930, ha disminuido a un máximo de tres metros en los últimos años debido principalmente a la extracción de agua y al aporte excesivo de sustrato y nutrientes a consecuencia de la erosión de la cuenca de captación, lo que provoca que las partes profundas se asolven y las orillas

presenten un desmesurado crecimiento de vegetación (Contreras-MacBeath *et al.*, 2004; www.inafed.gob.mx). El clima de la región es de tipo sub-tropical húmedo caluroso, con temperatura media anual de 22°C, en la parte baja y en la región de la montaña el clima es templado. Su precipitación media es de 1,112 milímetros al año. El período de lluvias comienza en junio y termina en octubre y la evaporación media es de 2,203 milímetros por año (García, 1988). La vegetación predominante es bosque tropical caducifolio y vegetación secundaria (Granados-Ramírez *et al.*, 2014).

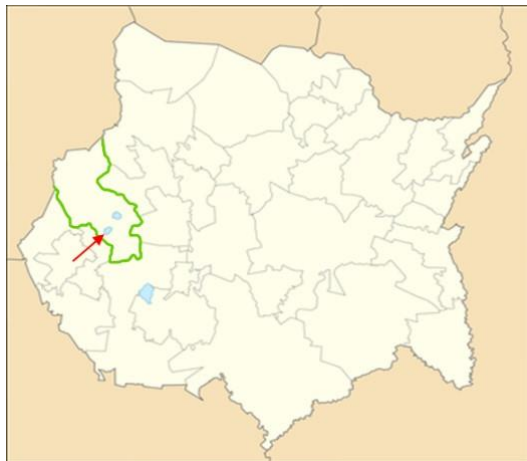


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Miaquatlán, Morelos y el lago Coatetelco. (Tomado de: trabajo propio).

contenido de clorofila "a" y fósforo total. Para la estimación de la clorofila "a" se empleó la técnica de extracción acetónica de pigmentos (Boyd, 1979; Lorenze y Jeffrey, 1980), para la cual se filtró una muestra de agua de 100 ml; para la determinación de fósforo total se utilizó el método de espectrometría, con el empleo de un laboratorio portátil marca HACH 2000, al igual que para la lectura de clorofila "a". También fueron tomados valores de oxígeno disuelto, temperatura, alcalinidad, pH y dureza total (Cuadro 1).



Figura 2. Mapa del lago Coatetelco con la ubicación de los sitios de muestreo. (Tomado de <https://www.google.com.mx/intl/es/earth/>)

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo durante el periodo comprendido de mayo de 2016 a febrero de 2017 con muestreos realizados en intervalos de tres meses con un total de cuatro muestreos anuales, estableciéndose tres sitios de colecta, dos en la zona litoral (E-1 y E-3) y uno en la zona limnética (E-2) (Figura 2). Para la toma de datos *in situ* se empleó un disco de Secchi (transparencia) y para la recolección de muestras de agua se utilizaron botellas de plástico de capacidad de 1 litro para el transporte de las mismas al laboratorio, en donde se determinó el

Para calcular el estado trófico del lago se utilizó el TSI de Carlson (Carlson, 1977 y 1980), considerando la relación entre la transparencia, clorofila "a" y el fósforo total, aplicándose las siguientes fórmulas:

$$\text{Transparencia (TSI}_{\text{DS}}) = 60 - (14.41) (\ln \text{Transparencia})$$

$$\text{Clorofila (TSI}_{\text{CA}}) = 9.81 (\ln \text{Clorofila "a"}) + 30.6$$

$$\text{Fósforo total (TSI}_{\text{PT}}) = 14.42 (\ln \text{Fósforo total}) + 4.15$$

En donde,

ln = Al logaritmo natural

$$\text{TSI Carlson} = (\text{TSI}_{\text{DS}} + \text{TSI}_{\text{CA}} + \text{TSI}_{\text{PT}})/3$$

Cuadro 1. Parámetros determinados *in situ* y equipo utilizado para su lectura.

Parámetro/ Unidad	Equipo empleado
Oxígeno disuelto (mg/L)	Oxímetro (YSI Modelo 58)
pH (Escala 0-14)	Potenciómetro (HANNA Instrument)
Temperatura (°C)	Oxímetro (YSI Modelo 58)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los sistemas acuáticos son muchos los factores que intervienen en la disponibilidad y abundancia de los nutrientes, entre los que destacan: la dimensión de la cubeta, la tasa de renovación de sus aguas, el tipo de suelo de la cuenca, las interacciones con los sedimentos y las actividades antrópicas que se realizan en las inmediaciones del mismo. Estos nutrientes siempre son más abundantes en ambientes situados en regiones en las que la actividad humana produce descargas de sustancias ricas en ellos, como las industriales, agropecuarias y domésticas (Echaniz y Vignatti, 2009).

El lago Coatetelco está rodeado de asentamientos humanos en una porción del mismo, principalmente restaurantes, y la gran mayoría del litoral está ocupada por zonas agrícolas y en menor proporción por zonas pecuarias, lo que contribuye de manera importante con el aporte de nutrientes como fertilizantes, pesticidas y desechos de alimentos (ya sea por su preparación y/o consumo). En conjunto esto puede ocasionar un aporte importante de nutrientes exógenos aunados a los producidos al interior del sistema por la actividad metabólica de los organismos que ahí habitan, principalmente peces bajo cultivo, pues es una actividad que se lleva a cabo en el lago desde hace varias décadas.

De acuerdo con los valores de dureza total registrados, el lago contiene aguas de moderadamente duras a duras (secas y lluvias respectivamente) y pH con rangos alcalinos durante todo el año, con algunas variantes también durante la temporada de lluvias, debido principalmente a la dilución por el efecto de precipitaciones durante los meses de junio a noviembre (Figura 3, Cuadro 2). Esta situación es muy frecuente en ambientes en donde no existe un aporte continuo de agua, es decir las condiciones son muy estables durante gran parte del año, cambiando solo un poco con el aporte de agua nueva proveniente de las lluvias y los arrastres que se ocasionan por este fenómeno. Por otro lado, la temperatura y el oxígeno disuelto son dos variables estrechamente relacionados, siendo de suma importancia en procesos biológicos (respiración, fotosíntesis) que se llevan a cabo en los sistemas acuáticos. La temperatura influye directamente en la productividad primaria, así como en las reacciones metabólicas de la reproducción y el crecimiento de la biota (De la Lanza y Hernández, 1998).

Durante el periodo de estudio estos valores indicaron aguas cuya oxigenación se cataloga como aceptable para la vida acuática, con un valor promedio de 5.7 mg/L de oxígeno disuelto (OD), y temperatura promedio de 28.3 °C (Figura 4), relación que se aproxima a la dependencia de la concentración de OD respecto a la temperatura del agua (Bain y Stevenson, 1999).

En cuanto a la transparencia o visibilidad al disco de Secchi, clorofila "a" y fósforo total, se presentaron las siguientes variaciones: la transparencia es un parámetro estrechamente relacionado con la incidencia de la luz y la cantidad de materia orgánica (fitoplancton) e inorgánica que se encuentra en la columna de agua (APHA, 1998), misma que durante los meses de muestreo registró un promedio de 0.68 m, con el valor más alto en el mes de agosto (0.96 m) y el más bajo en el mes de mayo

(0.41 m), situación que se relaciona principalmente con la temporada de dilución y concentración respectivamente.

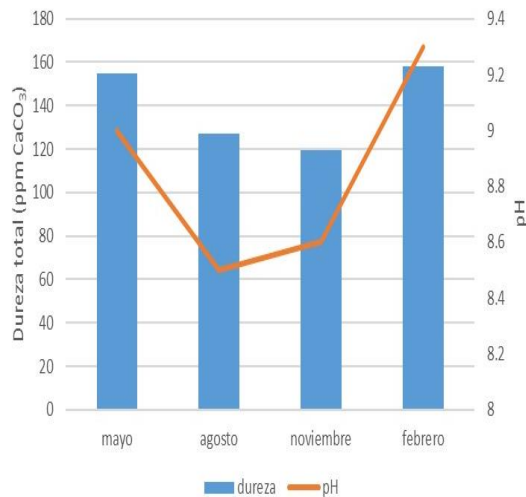


Figura 3. Dureza total y pH durante el ciclo de estudio en el lago Coatetelco.

Cuadro 2. Valores promedio de pH y dureza total registrados durante el periodo de estudio en el lago Coatetelco.

Mes/parámetro	Dureza (ppm CaCO ₃)	pH
mayo 2016	154.95	9
agosto 2016	127.32	8.5
noviembre 2016	119.71	8.6
febrero 2017	158.15	9.3

Valores de referencia (WHO)	
CaCO ₃ (mg/L)	Tipo de agua
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente dura
121-180	Dura
>180	Muy dura

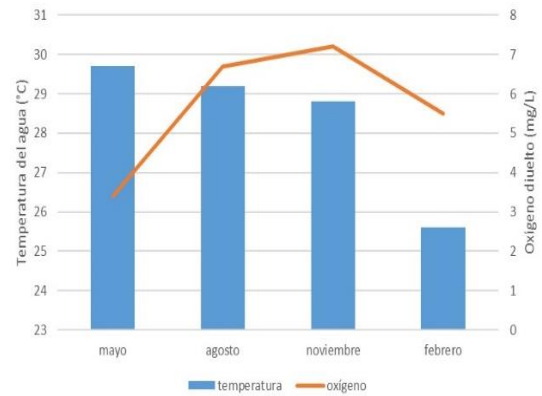


Figura 4. Temperatura y oxígeno disuelto durante el ciclo de estudio en el lago Coatetelco.

Con respecto a la concentración de clorofila “a”, al ser extraída del concentrado de la muestra de agua, nos proporciona información cuantitativa de la productividad microalgal en el momento de la colecta, es decir, la productividad primaria que se lleva a cabo en un momento determinado; para este parámetro el valor promedio registrado fue de 24.43 mg/m³, con el menor valor reportado en febrero (4.46 mg/m³) y el mayor en noviembre (47.2 mg/m³), situación que coincide con lo reportado por Gómez-Márquez y colaboradores (2008), quienes indican que la biomasa de fitoplancton en este sistema aumenta a raíz de las altas concentraciones de nutrientes resultantes de la mezcla de agua y los cambios asociados a las lluvias en la hidrología del lago.

El fósforo es un nutriente de interés ecológico, ya que tiene un papel importante en el metabolismo, además de que es relativamente escaso en la hidrósfera, por lo que es considerado un factor limitante en la productividad primaria (Pérez, 1999, Tapia-Torres y García-Oliva, 2017); los valores de este nutriente fueron los siguientes: 1.56 mg/L en noviembre, 2.75 mg/L en mayo y un promedio de 2.61 mg/L. Respecto al Índice del Estado Trófico, estos valores catalogan al lago Coatetelco como Eutrófico-Hipereutrófico (Cuadro 3), pues todos ellos se registraron por arriba de las 65 unidades TSI.

Cuadro 3: Clasificación de las aguas de acuerdo con el Índice del Estado Trófico (TSI) (Carlson y Simpson, 1996) y valores registrados durante el estudio en el Lago Coatetelco.

Estado trófico	Valor de TSI	TSI _{DS}	TSI _{CA}	TSI _{PT}
Oligotrófico	≤ 30			
Mesotrófico	> 30 - ≤ 60			
Eutrófico	> 60 - ≤ 90	65	85	
Hipereutrófico	> 90			100

Si bien, la eutrofización es un proceso natural de los ecosistemas acuáticos epicontinentales en donde la transformación paulatina en humedales a través de varios años e incluso cientos de ellos es inevitable, pues implica que la entrada de nutrientes desde la cuenca sea relativamente constante a lo largo del tiempo y que presente oscilaciones temporales a consecuencia de los ciclos climáticos, así como, el desarrollo y descomposición de la cubierta vegetal como la erosión (Wetzel, 2001), estas circunstancias pueden ser aceleradas hasta cierto punto por la propia actividad humana; prueba de ello son los ecosistemas acuáticos en nuestro Estado, ya que un número considerable de ellos presenta condiciones de mesotrofia, eutrofia e hipereutrofia, pues se indica que el 79.9 % de los embalses tanto naturales como artificiales en la entidad son eutróficos con tendencia a la hipereutrofia (Granados-Ramírez *et al.*, 2014).

En este sentido, muchos de ellos sustentan actividades acuaculturales, principalmente el cultivo de peces como la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), que, si bien brinda una alternativa alimenticia en las poblaciones rurales y una fuente de ingresos por la venta de excedentes, también enriquece las aguas gracias a su actividad metabólica, misma que se incrementa al ser una actividad constante y con densidades de siembra o repoblamiento considerables. En el lago Coatetelco anualmente son sembradas de 100 000 a 200 000 crías de tilapia, lo que genera una producción aproximada por arriba de las 80 toneladas anuales (www.sagarpa.gob.mx; www.acuasesor.conapesca.gob.mx), que desde el punto de vista económico y

alimenticio generan un importante ingreso para las familias dedicadas a esta actividad.

Sin embargo, uno de los principales problemas en los sistemas utilizados para el cultivo de peces de interés alimenticio y comercial en las zonas rurales, ya sea en embalses naturales o artificiales, es que la población íctica, después de cierto tiempo puede presentar problemas respecto a la degeneración de la especie y por consecuencia bajas tasas de crecimiento debido a la cruce entre individuos provenientes de los mismos progenitores; ante esta problemática, muy frecuente en ambientes en donde es difícil el manejo a través un extracción total o casi total de los peces bajo cultivo, se recurre a la introducción de nuevos ejemplares reproductores (de tallas grandes y con excelente calidad genética) para que se produzca una combinación con la población existente. Esta acción se efectuó durante el año 2016 en el lago Coatetelco, con la siembra de 160 ejemplares (tanto hembras como machos) para mejorar la calidad del producto a corto plazo con la intervención tanto de Gobierno Federal, Estatal y los propios pobladores (www.launion.com.mx).

Considerando que estas son algunas estrategias que se implementan para mejorar el rendimiento de los ecosistemas acuáticos que son utilizados como generadores de recursos alimenticios, no debemos dejar de lado algunas acciones más para mejorar la calidad de agua contenida en estos, pues de ello depende en gran medida el éxito de cualquier tipo de cultivo. Es un hecho que la eutrofización cambia las características de los

ecosistemas acuáticos, alterando a su vez las cadenas tróficas y dando como resultado ecosistemas con una biodiversidad reducida y estable; aunque el término “eutrofización” ha sido utilizado cada vez más para designar el aporte artificial e indeseable de nutrientes minerales, principalmente de fósforo y nitrógeno, a las masas de agua, es importante resaltar que un mal manejo de las actividades pecuarias también pueden impactar negativamente en los ecosistemas acuáticos, pues la carga interna de nutrientes se genera como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica en el propio sistema, la acumulación de nutrientes en los sedimentos, así como la incorporación en su biomasa tanto de organismos vegetales como animales; en este sentido es imprescindible considerar que una eutrofización moderada genera un incremento en la producción de peces, mayores niveles de nutrientes pueden determinar una disminución en la producción a consecuencia de las condiciones extremas generadas (Mazzeo *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

Es importante reconsiderar el manejo que se le da al lago Coatetelco para mejorar las condiciones del mismo, siempre trabajando en colaboración tanto pobladores como instancias gubernamentales, ya que la descarga de aguas residuales no controladas, así como el repoblamiento excesivo de peces para cultivo, puede afectar drásticamente las condiciones ambientales en un plazo de tiempo corto.

No debemos olvidar los servicios ambientales que este importante cuerpo de agua proporciona, como lo es el almacenamiento de un considerable volumen de agua en la entidad, que, si bien es utilizado prioritariamente para actividades humanas, también brinda un sinnúmero de beneficios a distintas especies.

Una alternativa más puede enfocarse en el uso adecuado de la vegetación emergente que se desarrolla en

prácticamente toda la orilla del lago para la fabricación de biocombustibles o como forraje (Aguilar, 2012).

LITERATURA CITADA

Aguilar, I. A. 2012. Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. 308 pp. México.

APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington. 1265 pp.

Arocena, R. y D. Conde. 1999. Métodos en ecología de aguas continentales: con ejemplos de limnología en Uruguay. Edición D.I.R.A.C. Universidad de la República. Facultad de Ciencias. 233 pp.

Bain, M. B. y N. J. Stevenson. 1999. Aquatic habitat assessment: common methods. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Bonilla-Barbosa, J. R. 2009. Factores que afectan los ecosistemas acuáticos y su influencia en la distribución y propagación de plantas acuáticas mexicanas. *Mesoamericana* 13(1): 37-43.

Boyd, C. E. 1979. Water quality management in ponds fish culture. Research and development Series, Núm. 22. Auburn, Alabama: International Center for aquaculture agriculture experiment station, Auburn University.

Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22(2): 361-369.

Carlson, R. E. 1980. More complications in the chlorophyll-Secchi disk relationship. *Limnology and Oceanography* 25(2): 379-382.

- Carlson, R.E. y J. Simpson. 1996. *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*. North American Lake Management Society, Madison, Wisconsin.
- Contreras-MacBeath, T., J.C. Boyás, y F. Jaramillo. 2004. La Diversidad Biológica en Morelos: Estudio del Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 155 pp.
- De la Lanza-Espino, E. G., J. García-Cabrera, J. Soto-Cadena, M. E. Zamudio-Reséndiz, I.D. González-Mora y S. Hernández-Pulido. 2007. La presa Requena y su calidad de agua a través de indicadores fitoplanctónicos, Hidalgo. En De la Lanza, G. y J. L. García. (Comps.). *Las aguas interiores de México. Conceptos y casos* (pp. 481-494). México: AGT Editor.
- De la Lanza, E. G. y P. S. Hernández. 1998. Nutrientes y productividad primaria en sistemas acuícolas. En Martínez, C. L. R. (Ed.), *Ecología de los sistemas acuícolas* (pp. 1-27). México. AGT Editor.
- Echaniz, S. y A. Vignatti. 2009. Determinación del estado trófico y de la capacidad de carga del embalse casa de piedra. *Bioscriba* 2(1): 41-51.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köopen. Instituto de Geografía. UNAM. 68 pp.
- Gómez-Márquez, J. L., B. Peña-Mendoza, J. L. Arredondo-Figueroa, I.H. Salgado-Ugarte y E.A. Guerra-Hernández. 2007. Lago Coatetelco, Morelos. En: Las aguas interiores de México, conceptos y casos (De la Lanza, E. G., (comp.). AGT Editor, S. A. México. pp: 169-183.
- Gómez-Márquez, J.L., B. Peña-Mendoza, I.H. Salgado-Ugarte, A.K. Sánchez-Herrera. y L. Sastré-Baez. 2008. Reproduction of the fish *Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in Coatetelco, a tropical shallow lake in Mexico. *Int. J. Trop. Biol.* 56(4): 1801-1812.
- Granados-Ramírez J.G., J.L. Gómez-Marques, B. Peña-Mendoza y M. Martínez-Alaníz. 2014. Inventario de cuerpos de agua del estado de Morelos. AGT Editor. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 355 pp.
- Lorenze, C.J. y S.W. Jeffrey. 1980. Determination of chlorophyll in seawater: Report of intercalibration tests (Unesco Technical Papers in Marine Science). Paris: Unesco.
- Mazzeo, N., J. Clemente, F. García-Rodríguez, J. Gorga, C. Kruk, D. Larrea, M. Meerhoff, F. Quintans, L. Rodríguez-Gallego y F. Scasso. 2002. Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. En: Domínguez, A. y R.G. Prieto. (eds.). *Perfil Ambiental*, Nordan-Comunidad, Montevideo. pp: 39-55.
- Pérez, B. L. 1999. Concentración, distribución y fraccionamiento geoquímico del fósforo en sedimentos de dos lagunas costeras del noroeste de México. Tesis de Maestría. (Oceanografía Química)-UNAM-Colegio de Ciencias y Humanidades-Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado. 67 pp.
- Tapia-Torres, Y. y F. García-Oliva. 2017. Fósforo, la nueva arista de la crisis global ambiental. *Oikos* 16: 22-24.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystem*. Third Edition. Academic Press. U.S.A. 1006 pp.
- World Health Organization (WHO). 2004. *Guidelines for Drinking-Water Quality. Vol 1. Recommendations*, 2nd ed. Geneva.
- Xu, F. L., S. Tao, R.W. Dawson. y B.G. Li. 2001. A GIS-based method lake eutrophication assessment. *Ecological Modelling* 144(2-3): 231-244.
- Colmenar, E. 2002. Un termómetro para las aguas. *Ambienta*. http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/ambienta/n15/articulo8.pdf 22/09/2017
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. www.acuasesor.conapesca.gob.mx/anuario.php 29/08/2017
- Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Morelos <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EM17morelos/municipios/17015a.html> <https://www.launion.com.mx/morelos/zona-sur/noticias/89336-siembran-160-tilapias-en-la-laguna-de-coatetelco.html> (nota publicada el 13/05/2016).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. www.sagarpa.gob.mx 29/08/2017.