

Estado trófico de la presa El Abrevadero, Morelos, México

Trophic state of dam El Abrevadero, Morelos, Mexico

Judith García-Rodríguez*, Francisca Isela Molina-Astudillo*, Víctor Manuel Estrada-Salgado**, Migdalia Díaz-Vargas*, Martha Beatriz Soriano-Salazar***

RESUMEN

El "estado trófico" se refiere a la cantidad de materia orgánica e inorgánica que presenta un cuerpo de agua. El objetivo de este trabajo fue conocer el estado trófico de la presa El Abrevadero, para lo cual se registraron los siguientes parámetros fisicoquímicos y biológicos: temperatura del agua, oxígeno disuelto, transparencia o visibilidad al disco de Secchi, clorofila "a" y fósforo total mensualmente. Se empleó el Índice del Estado Trófico de Carlson (TSI por sus siglas en inglés) a través del cálculo del TSI de la transparencia (TSI_{DS}), clorofila "a" (TSI_{CA}) y fósforo total (TSI_{TP}). Los parámetros fisicoquímicos mostraron un patrón de variación relacionado con la época de lluvias y de secas; con respecto al TSI de Carlson, la presa El Abrevadero se clasifica como hipereutrófico.

ABSTRACT

"Trophic state" refers to the amount of organic and inorganic material having a body of water. The aim of this study was to determine the trophic status of the dam El Abrevadero which were recorded for the physicochemical and biological parameters: water temperature, dissolved oxygen, transparency or Secchi disk visibility, chlorophyll "a" and phosphorus total monthly. We employed Trophic State Index of Carlson (TSI) of calculating the TSI of transparency (TSI_{SD}), chlorophyll "a" (TSI_{CA}) and total phosphorus (TSI_{TP}). The physicochemical parameters showed a pattern of variation associated with the rainy season and dry, with respect to TSI of Carlson dam El Abrevadero is classified as hypereutrophic.

INTRODUCCIÓN

El "estado trófico" se define como el peso total de biomasa en un cuerpo de agua en un sitio y en un tiempo específico (Carlson, 1977). El Índice del Estado Trófico de Carlson (TSI) es el método más empleado en la caracterización trófica o de salud de un sistema acuático (Xu, Tao, Dawson & Li, 2001), el cual considera tres indicadores (biológico, químico y físico) importantes que se sustentan en la determinación de los índices de clorofila "a" (TSI_{CA}), fósforo total (TSI_{TP}) y transparencia o visibilidad al disco de Secchi (TSI_{SD}) (Carlson, 1980).

La presa El Abrevadero se construyó en agosto del 2004 con la finalidad de abastecer de agua las zonas agrícolas, actividad prioritaria de los pobladores (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2005), aun cuando se empleaba, además, como abrevadero de ganado, ésta una actividad secundaria. Por ello, el objetivo de este estudio es conocer el estado trófico actual que presenta la presa.

Área de estudio

El estado de Morelos presenta una superficie territorial de 4 959 km², se encuentra entre las coordenadas 19°08' y 18°20' N, 98°38' y 99°30' O. Su territorio está dividido en 33 municipios. Colinda con el Distrito Federal, el

Recibido: 31 de julio de 2012
Aceptado: 13 de agosto de 2013

Palabras clave:

Estado trófico; presa; clorofila "a"; fósforo total; transparencia.

Keywords:

Trophic state; dam; chlorophyll "a"; total phosphorus; transparency.

* Laboratorio de Hidrobiología. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Río Pánuco 41, Col. Vista Hermosa, Cuernavaca, Morelos, México, C.P. 62290. Tel.: (777) 3162354. Correos electrónicos: garciarj@uaem.mx; molina@uaem.mx; migdalia@uaem.mx

** Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México, C.P. 62209. Tel.: (777) 3297047. Correo electrónico: torvic35@hotmail.com

*** Laboratorio de Acuicultura, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Río Pánuco 41, Col. Vista Hermosa, Cuernavaca, Morelos, México, C.P. 62290. Tel.: (777) 3162354. Correo electrónico: soriano@uaem.mx

Estado de México, Puebla y Guerrero. La presa El Abrevadero se localiza en el municipio de Jantetelco. Presenta un área aproximada de 13 ha con una profundidad promedio de 8.0 m (Centro Nacional de Desarrollo Municipal-Gobierno del Estado de Morelos, 2001). Se encuentra entre las coordenadas geográficas 18°40' N y 98°45' O (figura 1).

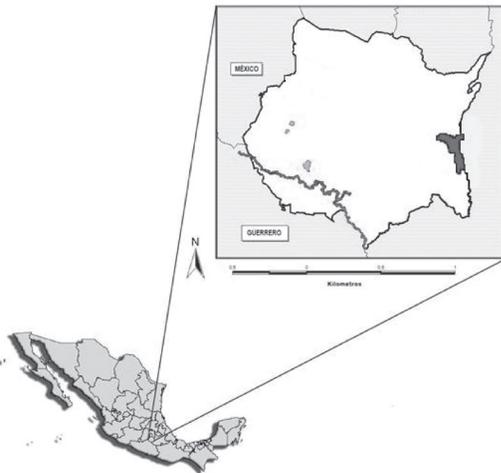


Figura 1. Localización del área de estudio.
Fuente: Elaboración de Abigail Barrientos, 2005.

De acuerdo con la estación meteorológica, se registró una temperatura promedio de 20.9 °C. Los meses más calurosos fueron abril, mayo y junio, con temperaturas de 22.9 °C a 23 °C; y los meses más fríos fueron enero y febrero con 17.5 °C y 19 °C, respectivamente. En cuanto a la precipitación pluvial, el valor promedio fue de 76.2 mm, siendo los meses de mayo a octubre los de mayor precipitación con valores de 62.5 mm a 200 mm, marcando la época de lluvias, y de enero a abril y noviembre a diciembre con precipitaciones de 2 mm a 20 mm, correspondiendo a la época de secas (figura 2).

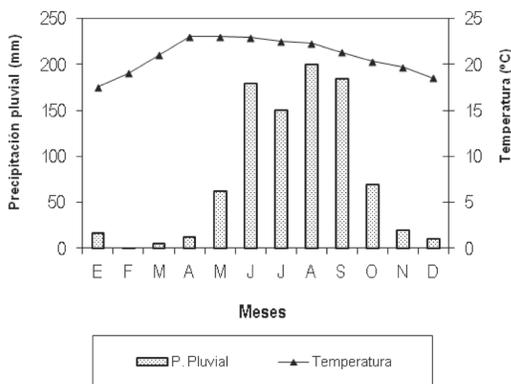


Figura 2. Valores de temperatura y precipitación pluvial correspondientes al periodo de estudio (enero-diciembre 2008).
Fuente: Estación Meteorológica de Joncatepec.

El tipo de suelos que predominan en la zona de estudio son suelos arcillosos. El contenido de materia orgánica varía de pobre a medio. La vegetación está representada por selva baja caducifolia que se caracteriza por perder todas o la mayoría de sus hojas en la época de secas (Comisión Nacional del Agua [CNA], 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se consideraron tres estaciones de muestreo: dos en la zona litoral (E1 y E2) y una en la zona limnética (E3) (figura 3). El registro de datos se realizó de manera mensual (excepto en agosto), entre el periodo de abril de 2008 a mayo de 2009.



Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo en la presa El Abrevadero.
Fuente: CNA, 2004.

Los parámetros fisicoquímicos y biológicos que se determinaron se muestran en la tabla 1. Para la estimación de la clorofila "a" se empleó la técnica de extracción acetónica de pigmentos (Boyd, 1979; Lorenze & Jeffrey, 1980), para la cual se filtró una muestra de agua de 500 ml.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y biológicos determinados en la presa El Abrevadero.

Parámetro	Unidades	Método empleado	Determinación
Temperatura	°C	Oxímetro YSI Model 58	<i>In situ</i>
Transparencia	m	Disco de Secchi	<i>In situ</i>
Oxígeno disuelto	mg/L	Oxímetro YSI Model 58	<i>In situ</i>
Clorofila "a"	mg/L	Espectrofotometría/HACH	Laboratorio
Fósforo total	µg/L	Espectrofotometría/HACH	Laboratorio

Para calcular el estado trófico de la presa se utilizó el TSI de Carlson, considerando la relación entre la transparencia, clorofila "a" y el fósforo total. Para ello se calcularon de manera individual los valores tróficos de las variables mencionadas anteriormente (Carlson, 1977).

Transparencia (TSI_{DS}) = $60 - (14.41) [\ln \text{Transparencia}]$

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

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

En donde,

In = Al logaritmo natural

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

Con la finalidad de conocer la distribución de los datos obtenidos se aplicaron las pruebas de bondad de ajuste normal de Anderson-Darling y Lilliefors, empleando el paquete estadístico XLSTAT 2009.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación a las pruebas de normalidad aplicadas, la distribución de los datos no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Por tal motivo se aplicó una prueba paramétrica ANOVA de una vía registrando diferencias significativas entre los meses muestreados ($p > 0.05$), pero no en las estaciones de muestreo ($p > 0.05$). Es probable que la homogeneidad que presentan los datos pueda deberse a que la E1 es la zona en la que se encuentra la mayor parte de los cultivos agrícolas y en donde abreva el ganado, y que durante la época de lluvias el arrastre de nutrientes sea mayor y que por acción del viento se distribuya hacia la E3 y la E2. Por dicha razón se procedió a sacar un valor promedio a cada uno de los parámetros determinados.

El registro de las variables fisicoquímicas y biológicas en los sistemas acuáticos naturales y artificiales muestran un marco ambiental de las condiciones que se desarrollan como parte de su metabolismo, lo cual es importante porque, por un lado, nos permite contribuir con la generación y divulgación del conocimiento y, por otro, conocer la capacidad productiva que presentan estos recursos acuáticos y que conllevan al desarrollo de actividades que benefician a las poblaciones humanas aledañas (De la Lanza-Espino, García-Cabrera, Soto-Cadena, Zamudio-Reséndiz, González-Mora & Hernández-Pulido, 2007), pero también a dar estrategias que permitan la sustentabilidad de los recursos.

La temperatura y el oxígeno disuelto son dos variables que interaccionan entre sí, y son de gran importancia en los procesos biológicos 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 & Hernández, 1998).

La temperatura registró un valor mínimo de $19.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en diciembre y un máximo de $26.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en junio. Se observaron dos incrementos notables: el primero entre los meses de abril-octubre de 2008, con valores de $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $26.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el segundo entre marzo-mayo de 2009, con valores entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ (primavera-verano-primavera); los valores más bajos fueron durante noviembre-febrero, con $19.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $21.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (otoño-invierno) (figura 4). En ello se observa una estrecha relación con la estacionalidad y la incidencia de la luz solar en el sistema en donde la mayor parte del calor es retenido en la capa superficial del agua (Torres & García, 1995). Por otra parte, Marshall (1991) menciona óptimos de temperatura entre $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el crecimiento de los organismos fitoplanctónicos de agua dulce, siendo acordes con los registrados en El Abrevadero.

Por otra parte, el oxígeno disuelto guarda una estrecha relación con la cantidad de productores primarios, la transparencia, la cantidad de nutrientes, la materia orgánica en descomposición y los organismos consumidores (Hernández-Avilés, Galindo de Santiago & Loera, 2002). El oxígeno disuelto presentó un valor mínimo de 1.3 mg/L en noviembre y un máximo de 5.7 mg/L en abril de 2008; asimismo, se observó una tendencia de variación semejante a la temperatura, registrándose las concentraciones más altas en dos momentos durante abril-octubre de 2008 con valores de 3.6 mg/L a 5.7 mg/L (primavera-verano), destacando los meses de lluvias y abril-mayo de 2009 con 4.1 mg/L a 4.7 mg/L , mientras que las concentraciones más bajas se registraron entre noviembre y marzo con 1.3 mg/L a 2.4 mg/L (otoño-invierno-primavera) que corresponde a la época de secas y que se pueden relacionar con la tendencia que registraron la clorofila "a" y el fósforo total (figuras 4 y 5).

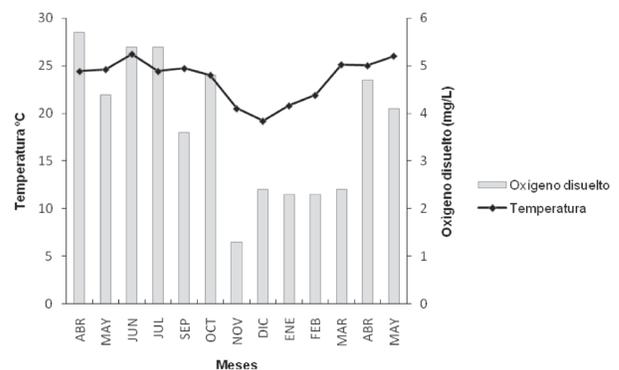


Figura 4. Temperatura y oxígeno disuelto del agua en la presa El Abrevadero. Fuente: Elaboración propia.

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. Se registró una transparencia mínima de 0.23 m en el mes de septiembre y una máxima de 0.80 m en noviembre y enero, se observó un patrón de variación con dos reducciones y un incremento en los valores, disminuyendo durante abril-octubre con 0.23 m a 0.42 m abarcando la época de lluvias, esto probablemente debido al arrastre de material orgánico e inorgánico hacia la presa, y en los meses de abril-mayo de 2009 observándose, además, una relación inversa con las concentraciones de clorofila "a" y fósforo total, las cuales incrementaron notablemente. Los máximos de transparencia se presentaron de noviembre a marzo con 0.58 m a 0.80 m durante la época de secas, correspondiendo a decrementos en las concentraciones de clorofila "a" y fósforo total (figura 5).

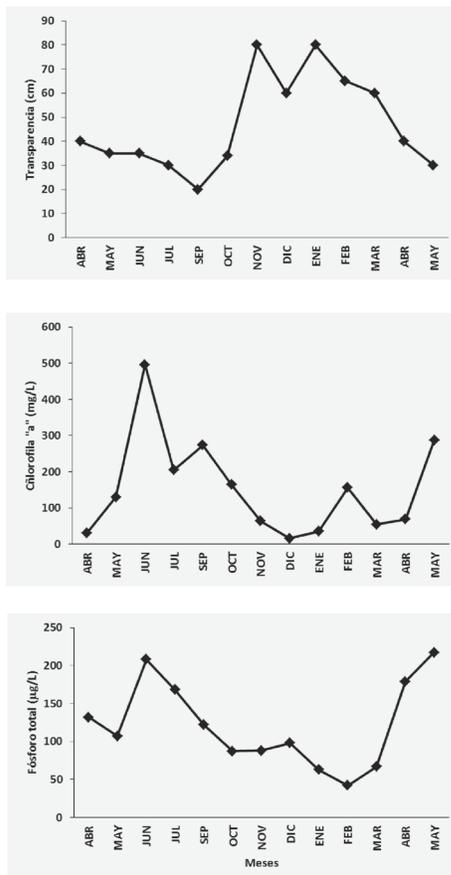


Figura 5. Variación mensual de la transparencia, clorofila "a" y fósforo total en la presa El Abrevadero.

Con respecto a la concentración de clorofila "a", el valor más bajo fue de 16 mg/L en diciembre y el más alto de 481 mg/L en junio. La clorofila "a" mostró un patrón de variación inverso a la transparencia, concentraciones altas entre mayo-octubre con 126 mg/L a 481 mg/L abarcando la época de lluvias, y febrero-mayo con 54 mg/L a 281 mg/L, y un decremento entre noviembre-enero con concentraciones de 16 mg/L a 62 mg/L, correspondiendo a la época de secas. En cuanto al fósforo total, el valor más bajo fue de 42 µg/L durante febrero y el más alto de 237 µg/L en mayo de 2009. El fósforo total mostró un patrón de variación semejante a la clorofila "a" e inverso a la transparencia, con dos puntos máximos, el primero durante abril-septiembre con concentraciones de 121 µg/L a 212 µg/L abarcando la mayor parte de la época de lluvias, el segundo durante abril-mayo de 2009 con valores de 179 µg/L a 237 µg/L y uno de decremento durante octubre-marzo con concentraciones de 42 µg/L a 96 µg/L abarcando la mayor parte de la época de secas (figura 5).

De acuerdo con lo anterior, las concentraciones de clorofila "a" presentaron una relación directamente proporcional con el incremento de la temperatura y el fósforo total, así como una respuesta directa con las concentraciones de oxígeno disuelto registradas semejante a lo descrito por Carlson (1977), Kimmel, Lind & Paulson (1990) y Hernández-Avilés *et al.*, (2002). La biomasa de clorofila "a" guardó una relación con las condiciones físicas y químicas que se registraron en la presa El Abrevadero y con la temporalidad, es decir, presentando incrementos durante la época de lluvias, posiblemente influenciados por el arrastre de material orgánico e inorgánico alóctono que permitió el incremento, disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes (Ahlgren, 1970; Patceva & Mitic, 2010).

Con respecto a la aplicación del TSI de Carlson individual se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 2. El intervalo que prevaleció en el TSI_{DS} fue entre 70-80, y para los TSI_{CA} y TSI_{PT} fue de 70-90 indicando un estado hipereutrófico, los valores promedio fluctuaron de 72 a 76, siendo de 73 el valor del TSI quedando dentro de la misma condición de hipereutrófico (Carlson, 1977; Panduranga, Shivalingaiah, Leelaja & Hosmani, 2008).

Es importante mencionar que actualmente se implementó una tercera actividad en la presa El Abrevadero: la acuicultura extensiva de Tilapia (*Oreochromis niloticus*), cuya producción piscícola ha disminuido notablemente (Quiroz, García, Molina, Díaz & Trujillo, 2010), con lo cual se puede inferir la excesiva utilización del recurso y el acumulamiento de materia orgánica e inorgánica.

Tabla 2.

Variación mensual de los TSI de la transparencia (TSI_{DS}), clorofila "a" (TSI_{CA}) y fósforo total (TSI_{PT}) registrados en la presa El Abrevadero.

Índice individual	abr	may	jun	jul	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	Promedio
TSI_{DS}	73	74	75	79	81	77	63	68	63	67	67	74	77	72
TSI_{CA}	64	78	91	83	86	80	71	58	65	80	70	72	86	76
TSI_{PT}	75	73	81	76	75	68	68	70	63	58	64	79	83	72

La eutrofización en las presas se refiere a la degradación de la calidad del agua debido, principalmente, a la acumulación de lodos en los fondos, al desarrollo de malezas acuáticas (macro y microscópicas) y a la introducción de aguas residuales, limitando el aprovechamiento múltiple del recurso (Mitchell & Thomas, 1972). Al respecto, se pueden mencionar a Juárez (2002), quien trabajó en la presa Infiernillo (Adolfo López Mateos), ubicada entre los límites de los estados de Michoacán y Guerrero; y a Hernández & Orbe (2002), quienes caracterizaron la presa Fernando Hiriart Balderrama (Zimapan), localizada entre los estados de Hidalgo y Querétaro, creadas como hidroeléctricas y para el desarrollo pesquero; asimismo, a Díaz & Gutiérrez (2002), quienes realizaron un estudio en la presa Requena, construida en el estado de Hidalgo con la función principal de riego y control de avenidas, sistemas con un alto grado de eutrofización semejante al estudio de la presa El Abrevadero.

Finalmente, se pueden hacer las siguientes consideraciones con la finalidad de disminuir el proceso de eutrofización en estos sistemas acuáticos: no sobre-utilizar el sistema con el desarrollo de actividades múltiples, realizar alternancia de actividades, en el caso de implementar la acuicultura estimar la capacidad de carga de la especie en cultivo y realizar estudios complementarios de componentes biológicos (fitoplancton, zooplancton y bentos) con la finalidad de conocer la disponibilidad de alimento vivo y el aprovechamiento de la columna de agua.

CONCLUSIONES

Los valores de oxígeno disuelto, transparencia, clorofila "a" y fósforo total mostraron una estrecha relación entre sí y con la temporalidad. Incrementando las concentraciones de clorofila "a", oxígeno disuelto y fósforo total durante la época de lluvias y disminuyendo en la época de secas. En cuanto al índice del TSI de Carlson, la presa El Abrevadero se clasifica como un sistema hipereutrófico.

REFERENCIAS

Ahlgren, G. (1970). Limnological studies of the lake Norrviken, a eutrophicated Swedish lake. II. Phytoplankton and its production. *Schweizerische Zeitschrift Für Hydrologie*, 32(2), 353-396.

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.

Centro Nacional de Desarrollo Municipal-Gobierno del Estado de Morelos (2001). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Morelos. Jantetelco* (Tomo II). Morelos: Gobierno del Estado de Morelos.

Comisión Nacional del Agua (CNA). (2004). *Evaluación de resultados del Programa S082. Ampliación de Unidades de Riego. (Informe Final)*. México, D. F.: Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. CNA Editor.

De la Lanza-Espino, E. G., García-Cabrera, J., Soto-Cadena, J., Zamudio-Reséndiz, M. E., González-Mora, I. D. & Hernández-Pulido, S. (2007). La presa Requena y su calidad de agua a través de indicadores fitoplanctónicos, Hidalgo. En G. De la Lanza & J. L. García (Comps.), *Las aguas interiores de México. Conceptos y casos* (pp. 481-494). México: AGT Editor.

De la Lanza, E. G. & Hernández, P. S. (1998). Nutrientes y productividad primaria en sistemas acuícolas. En C. L. R. Martínez (Ed.), *Ecología de los sistemas acuícolas* (pp. 1-27). México: AGT Editor.

Díaz, Z. G. & Gutiérrez, L. E. (2002). La presa Requena. En G. De la Lanza-Espino & J. L. García-Calderón (Comps.), *Lagos y presas de México* (pp. 460-464). México: AGT Editor.

Hernández-Avilés, J. S., Galindo de Santiago, M. C. & Loera, P. J. (2002). Bordos o microembalses. En G. De la Lanza-Espino & J. L. García-Calderón (Comps.), *Lagos y presas de México* (pp. 559-619). México: AGT Editor.

Hernández, M. D. & Orbe, M. A. (2002). Presa Fernando Hiriart Balderrama (Zimapan), Hidalgo-Querétaro, México: Opciones para su manejo. En G. De la Lanza-Espino & J. L. García-Calderón (Comps.), *Lagos y presas de México* (pp. 438-457). México: AGT Editor.

Juárez, P. J. R. (2002). Presa Infiernillo (Adolfo López Mateos). En G. De la Lanza-Espino & J. L. García-Calderón (Comps.), *Lagos y presas de México* (pp. 422-436). México: AGT Editor.

Kimmel, B. L., Lind, O. T. & Paulson, L. J. (1990). Reservoir primary production. In K. W. Thorton, B. L. Kimmel & F. E. Payne (Eds.), *Reservoir limnology: ecological perspectives* (pp. 133-193). New York, EEUU: Wiley.

Lorenze, C. J. & Jeffrey, S. W. (1980). *Determination of chlorophyll in seawater: Report of intercalibration tests* (Unesco technical papers in marine science). Paris: Unesco.

- Marshall, D. W. (1991). *Biología de las algas. Enfoque fisiológico*. México, D.F.: Limusa.
- Mitchell, S. D. & Thomas, A. P. (1972). *Ecology of water weeds in the Neotropics*. Paris: Unesco.
- Panduranga, M. G., Shivalingaiah, Leelaja B. C. & Hosmani, S. P. (2008). Trophic state index in conservation of lake ecosystems. En M. Sengupta & R. Dalwani (Eds.), *Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference* (pp. 840-843). Jaipur, India.
- Patceva, S. & Mitic, V. (2010). *Chlorophyll a content as indicator of eutrophication of lake Prespa*. Ohrid, Republic of Macedonia: Hydrobiological Institute.
- Quiroz, C. H., García, R. J., Molina, A. F. I., Díaz, V. M. & Trujillo, J. P. (2010). Condiciones abióticas de la presa "El Abrevadero", utilizada para el cultivo extensivo de *Oreochromis niloticus* en Morelos, México. *REDVET*, 11(7), 1-19. Recuperado el 23 de mayo del 2012 de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070710/071002.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2005). *Ecología y medio ambiente: una responsabilidad compartida*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Torres, O. R. & García, C. J. L. (1995). *Introducción al manejo de datos limnológicos*. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Xu, F. L., Tao, S., Dawson, R. W. & Li, B. G. (2001). A GIS-based method lake eutrophication assessment. *Ecological Modelling*, 144(2-3), 231-244.