

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y COMPOSICIÓN DEL FITOPLANCTON EN LA PRESA "EL ABREVADERO", JANTETELCO, MORELOS, MÉXICO

PRIMARY PRODUCTIVITY AND PHYTOPLANKTON COMPOSITION IN "EL ABREVADERO" DAM, JANTETELCO, MORELOS, MEXICO

Francisca Isela Molina-Astudillo*¹, Judith García-Rodríguez¹,
Migdalia Díaz-Vargas¹

¹Laboratorio de Hidrobiología. Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209. Cuernavaca, Morelos, México.
Tel. 777 316 2354.

*Autor de correspondencia: molina@uaem.mx

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue conocer la productividad primaria desarrollada en la presa "El Abrevadero". Los resultados mostraron que se presentó una relación dominante Euglenophyceae > Cyanophyceae > Chlorophyceae > Bacillariophyceae que indica una alta tasa de descomposición de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes. Los parámetros considerados para evaluar la productividad primaria mostraron una relación directa con la estacionalidad, presentando un estado eutrófico durante la época de lluvias e hipereutrófico durante la época de secas.

Palabras clave: Productividad primaria, fitoplancton, fósforo total, clorofila "a", presa.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine primary productivity developed in the "El Abrevadero" dam. The results show a dominant relationship Euglenophyceae > Cyanophyceae > Chlorophyceae > Bacillariophyceae, indicating a high rate of decomposition of organic matter and nutrient availability was presented. The parameters used to evaluate primary productivity showed a direct relation to seasonality, dry and rainy period. Featuring a eutrophic state during the rainy season and hypertrophic state during the dry season.

Keywords: Primary productivity, phytoplankton, total phosphorus, chlorophyll "a", dam.

INTRODUCCIÓN

Las presas son cuerpos de agua artificiales construidos por el hombre para el desarrollo de actividades específicas en el manejo y uso del agua, en el cual su funcionamiento ecológico dependerá de la interacción entre los factores bióticos y abióticos, el metabolismo de estos sistemas acuáticos se encuentra directamente relacionado con las vías de disposición y aprovechamiento de los nutrientes, lo cual se ve reflejado en la productividad primaria que se genera, siendo el crecimiento del fitoplancton una forma de expresarse (Morabito *et al.*, 2004).

Por definición la productividad primaria es la tasa de incorporación del carbono inorgánico durante la fotosíntesis, lo que permite la formación de materia orgánica nueva (Roldán y Ramírez, 2008), siendo un aspecto de gran importancia en el desarrollo y manejo de actividades tales como la acuicultura (muy pocas veces evaluada). La productividad primaria se puede expresar como número de células por unidad de volumen, como biovolumen, como biomasa a través de determinación de pigmentos, y como la concentración de nutrientes o el estado trófico que presenta el sistema acuático (Morabito *et al.*, 2004).

La presa "El Abrevadero" es una obra construida en agosto del 2004 con el propósito de cubrir diferentes actividades en beneficio de los pobladores de las zonas aledañas entre las cuales se encuentran: abrevadero para el ganado, riego de pequeñas superficies de cultivo, y de manera eventual para uso doméstico, sin embargo, con el paso del tiempo se implementó la acuicultura principalmente de mojarra como una fuente de consumo directo. Considerando la importancia que representa la productividad primaria fitoplanctónica como la materia orgánica que sostiene los sistemas acuáticos.

Se llevó a cabo el presente estudio con la finalidad de conocer dicha productividad en la presa "El Abrevadero",

para lo cual, se consideraron el número de células, concentración de clorofila "a", temperatura, transparencia, oxígeno disuelto, fósforo total y nitrato, como parámetros de la limnología básica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presa "El Abrevadero" se localiza en la región oriente del estado de Morelos, en la parte baja de la barranca Amatzinac, afluente del río Nexapa, en el municipio de Jantetelco. Pertenece a la región hidrológica No. 18 en la Cuenca del Balsas (CNA, 2004a). La presa tiene un área aproximada de 13 ha con una profundidad promedio de 8.0 m (Centro Nacional de Desarrollo Municipal, 2001). Se ubica entre las coordenadas 18°38'39.8" y 18°38'39.0" LN y 98°45'0.25" y 98°45'05.1" LO (Figura 1).

De acuerdo con la estación meteorológica ubicada en el municipio de Tepalcingo, Morelos, la temperatura promedio fue de 22.3 °C; siendo los meses más calurosos abril, mayo y junio. La precipitación pluvial promedio fue de 66.07 mm; se observan dos periodos muy bien definidos, el primero en la época de secas que cubre los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo, y el segundo en la época de lluvias durante los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre. Los suelos que predominan son arcillosos, el contenido de materia orgánica va de pobre a medio. La vegetación de la zona está representada por diversas especies de Selva Baja Caducifolia, que se caracteriza por perder todas o la mayoría de sus hojas en la época de estiaje (CNA, 2004b).

Para la realización del presente estudio se consideraron tres sitios de muestreo en la presa, dos en la zona litoral (S1 y S2) y una en la zona limnética (S3) (Figura 2), realizando muestreos mensuales de mayo de 2008 a mayo de 2009 (a excepción del mes de agosto).

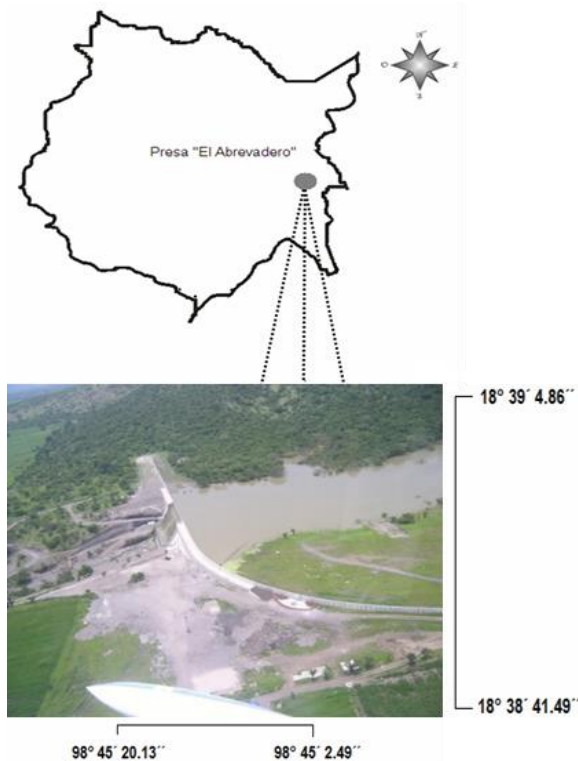


Figura 1. Localización de la presa "El Abrevadero" en el estado de Morelos, México. Elaborado por Víctor Manuel Estrada Salgado (2014).

La productividad primaria se estimó recolectando 500 ml de agua de cada uno de los sitios, las cuales fueron transportadas en frío para su análisis posterior en el laboratorio, asimismo para la cuantificación del material fitoplanctónico se tomaron muestras de 250 ml de manera directa, fijándose con formol al 4%, posteriormente se emplearon cámaras de sedimentación de Utermöhl con volumen de 10 ml, para realizar el conteo de los organismos y el reconocimiento del material biológico a nivel de clase taxonómica. Además del registro *in situ* de la temperatura del agua, transparencia y oxígeno disuelto (Cuadro 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densidad fitoplanctónica es la representación numérica de los productores primarios generadores de la materia orgánica que sostienen la mayor parte de la productividad de un sistema acuático.



Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

Cuadro 1. Métodos empleados para la estimación de los parámetros fisicoquímicos del agua en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

Parámetro	Unidades	Método empleado	Determinación
Densidad algal	cels ml	Conteos en microscopio estereoscópico Axiostar	Laboratorio
Clorofila "a"	mg L ⁻¹	Técnica de extracción acetónica (Boyd, 1979; SCOR/UNESCO, 1980).	Laboratorio
Temperatura	°C	Oxímetro YSI Model 58	<i>In situ</i>
Transparencia	cm	Disco de Secchi	<i>In situ</i>
Oxígeno disuelto	mg L ⁻¹ O ₂	Oxímetro YSI Model 58	<i>In situ</i>
Nitrato	µg L ⁻¹ NO ₃	Reducción con cadmio/ HACH DR 2010	Laboratorio
Fósforo total	µg L ⁻¹ P	Ácido Ascórbico/ HACH DR 2010	Laboratorio

En el presente estudio la densidad total fue de 28,377 cels ml registrándose los valores más altos en el Sitio 3 durante los meses de junio, julio (2008), abril y mayo (2009), observándose densidades menores a 1,500 cels ml en el resto de los meses muestreados (Figura 3).

El Sitio 1 registró un promedio de 418 cels ml, una desviación estándar (DE) de 336.6, un valor mínimo y máximo de 99 (julio) y 1,419 cels ml (diciembre), con una diferencia entre éstos dos valores de $\pm 1,320$ cels ml. El Sitio 2 presentó un promedio de 692 cels ml, DE de 480, una densidad mínima de 66 (julio) y máxima de 1,518 cels ml (mayo 2009), con una diferencia de $\pm 1,452$ cels ml. En el Sitio 3 se obtuvo un promedio de 1,254 cels ml, DE de 931, densidad mínima de 132 (marzo 2009) y máxima de 2,838 cels ml (junio), con una diferencia de $\pm 2,706$ cels ml (Figura 3). En este último sitio de muestreo se observó una mayor diferencia entre los valores registrados, así como las densidades más altas, lo cual pudo deberse a la confluencia de nutrientes y del propio fitoplancton por acción del viento, ya que este punto corresponde al centro de la presa.

De acuerdo con el ANOVA se

presentaron diferencias significativas entre las densidades fitoplanctónicas de manera temporal y en los sitios de muestreo ($P < 0.05$).

Las densidades obtenidas de manera global, por sitio y por mes de muestreo son bajas comparadas con lo reportado por Gómez *et al.* (2007) en la presa Emiliano Zapata, Morelos, con un total de 1'099,989 org ml. La presa Emiliano Zapata recibe agua de varios arroyos que confluyen en dicho cuerpo, el uso del agua es para riego y para cultivo extensivo de tilapia, sin embargo, se vierten aguas de desecho municipal lo cual provoca un incremento excesivo de microalgas que pueden ser nocivas y que deterioran la calidad del agua, así como su productividad. Por otra parte, De la Lanza *et al.* (2007) reportan para diferentes sitios de la presa Requena, Hidalgo, densidades totales de 234,734 a 2'225,574 cels ml, en este sistema acuático existe el aporte de aguas residuales, altas concentraciones de fósforo y nitrógeno, y sobrepoblación de lirio acuático.

En la presa El Abrevadero los cambios en las densidades del fitoplancton pueden estar dados por las condiciones

ambientales, así como por el arrastre de nutrientes provenientes del terreno adyacente y de los campos de cultivo. Las densidades fitoplanctónicas registradas por sitio y meses de muestreo, así como totales, indican que se encuentra entre los rangos tróficos de Ultraoligotrófico-Oligotrófico-

Mesotrófico (<100<10,000 cels ml) (UTE Red Biológica Ebro, 2009). Lo que indica un sistema acuático que va incrementando su productividad; sin embargo, si consideramos el valor general de 28,377 cels ml, la tasa productiva corresponde a un sistema eutrófico (10,000-100,000 cels ml).

Cuadro 2. Valores de las Pruebas de Normalidad aplicadas a los parámetros biológicos y fisicoquímicos del agua de la presa "El Abrevadero en Morelos, México.

Parámetro	Lilliefors Valor de P			Jarque-Bera Valor de P			Nivel de significancia alfa 0.05
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	
Fitoplancton	0.0009*	0.246	0.589	0.0001*	0.579	0.669	NS
Clorofila "a"	0.107	0.128	10.126	0.254	0.114	0.079	NS
Temperatura	0.914	0.007	0.023	0.646	0.394	0.469	NS
Transparencia	0.132	0.099	0.082	0.886	0.840	0.862	NS
Oxígeno disuelto	0.236	0.709	0.273	0.578	0.627	0.599	NS
Nitrato	0.310	0.160	0.269	0.628	0.563	0.642	NS
Fósforo total	0.582	0.922	0.893	0.823	0.807	0.730	NS

S1= Sitio 1; S2= Sitio 2; S3= Sitio 3; NS: No hay diferencia significativa; *: Si hay diferencia significativa.

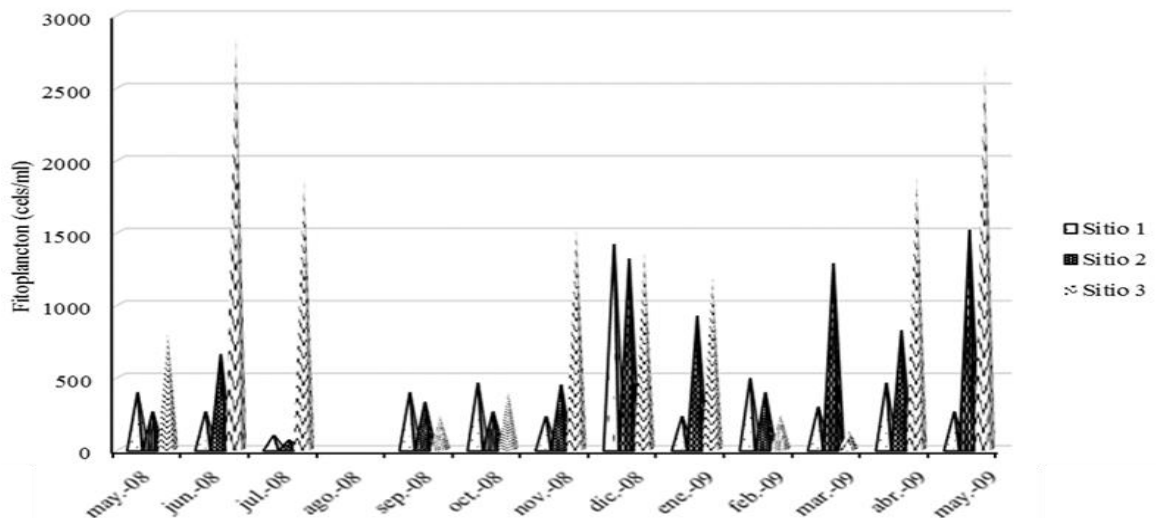


Figura 3. Densidades fitoplanctónicas en los sitios de muestreo en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

En cuanto a la composición del fitoplancton, se agrupó en cuatro clases taxonómicas, Cyanophyceae, Euglenophyceae, Bacillariophyceae y Chlorophyceae. En el Cuadro 3, se muestran las abundancias de cada grupo del fitoplancton, observando que Euglenophyceae predominó en la mayoría de los meses de muestreo (231 a 1,518 cels ml) con excepción de junio, presentándose un mayor número celular de Chlorophyceae (1,650 cels ml) y Cyanophyceae (1,089 cels ml) en el S3, en el mes de diciembre Cyanophyceae (1,155 cels ml) en los S1 y S2, en el mes de enero Bacillariophyceae (693 cels ml) y Chlorophyceae (660 cels ml) en el S3, durante abril fueron Cyanophyceae (825 cels ml) y Chlorophyceae (924 cels ml) en el S3 las dominantes; mostrando cambios en la composición principalmente en el S3.

En cuanto a la abundancia por clase taxonómica se presentó el siguiente patrón de distribución: En los S1 y S2 Euglenophyceae > Cyanophyceae > Chlorophyceae > Bacillariophyceae mientras que el S3 Chlorophyceae > Euglenophyceae > Cyanophyceae > Bacillariophyceae; sin embargo, se mantiene la relación entre los grupos algales, sin mostrar un patrón sucesional estacional contrario a lo que mencionan Ortega-Murillo *et al.* (2007) en la presa la Mintzita, Michoacán, en donde la abundancia fue diferente tanto en épocas como en grupos algales. La presencia de este patrón de distribución con predominio de uno o dos grupos indica la presencia de materia orgánica en descomposición, y una buena disposición de nutrientes para su establecimiento (Gómez y Martínez, 1998).

Cuadro 3. Composición del fitoplancton en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

MESES	Cyanophyceae			Euglenophyceae			Bacillariophyceae			Chlorophyceae		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Mayo	33	0	29	198	231	99	33	0	0	132	33	396
Junio	0	330	1,089	231	0	66	0	0	33	33	330	1,650
Julio	0	0	66	66	66	825	0	0	330	33	0	627
Septiembre	0	0	0	363	264	99	33	0	0	0	66	132
Octubre	33	33	33	264	198	330	0	0	0	165	33	33
Noviembre	0	152	0	231	297	1,518	0	0	0	0	0	0
Diciembre	1,155*	1,155	33	165	99	429	33	33	693	66	33	198
Enero	66	198	0	132	264	165	33	231	363	0	231	660
Febrero	99	33	0	363	231	198	0	99	0	33	33	43
Marzo	0	462	0	99	528	66	0	132	0	198	165	66
Abril	99	33	825	198	297	132	99	33	0	66	462	924
Mayo	66	198	330	198	990	429	0	0	99	0	330	1,782
Total	1,551	2,594	2,673	2,508	3,465	4,356	231	528	1,518	726	1,716	6,511

*Los números en negritas representan las densidades más altas registradas en los meses y sitios de muestreo; S1= Sitio 1; S2= Sitio 2; S3= Sitio 3.

La clorofila "a" es un pigmento fotosintético presente en todas las algas, y empleado como un parámetro muy importante en la producción algal (Carlson, 1977). Al respecto, Kimmel *et al.* (1990) señalan que éste parámetro presenta variaciones a través del tiempo de acuerdo con los cambios que presentan las variables físicas, químicas y biológicas.

Las concentraciones de clorofila "a" más altas se presentaron en los meses de junio, septiembre (2008) y mayo (2009). El S1 registró un promedio de 159.9 mg L⁻¹, una DE de 131, un valor mínimo de 16 mg L⁻¹ y máximo de 457 mg L⁻¹ con una diferencia de ±441.4 mg L⁻¹. El S2 presentó un promedio de 156.9 mg L⁻¹, una DE de 135.6, una concentración mínima de 16.8 mg L⁻¹ y una máxima de 490 mg L⁻¹ con una diferencia de ±473.2 mg L⁻¹. El S3 registró un promedio de 162.3 mg L⁻¹, una DE de 138.01, un valor mínimo de 15.5 mg L⁻¹ y un máximo de 495.4 mg L⁻¹ con una diferencia de ±479.9. En los tres sitios los valores mínimo y máximo se presentaron en diciembre y junio respectivamente (Figura 4). Se observó una mayor amplitud en los valores del S3.

De acuerdo con el ANOVA se presentaron diferencias significativas entre las concentraciones de clorofila "a" de manera temporal ($P < 0.05$) ($P = 5.056$) y entre los sitios de muestreo ($P = 0.899$).

Se observa que las mayores concentraciones de clorofila "a" se presentaron principalmente durante los meses de lluvia entre junio y octubre debido posiblemente a la lixiviación del sustrato rico en nutrientes, así como la disminución del pigmento en los meses de secas (noviembre, diciembre y enero de 2009), marzo y abril, que coincide con disminución de la temperatura en los primeros meses y en los segundos con incremento en la misma, lo que pudo originar un aumento en la evaporación y reducción del nivel del agua, así como una posible concentración de nutrientes, observando un incremento en los

valores de la clorofila "a" en el mes de mayo (2009). Lo anterior se relaciona con lo descrito por Ahlgren (1970), quien indica que el contenido de clorofila en el fitoplancton depende de la luz, la concentración de nutrientes y los cambios en la composición de especies, y que es directamente proporcional a la concentración de nutrientes en el agua, pero inversamente proporcional a la luz, esto significa que las concentraciones más altas de clorofila se obtienen bajo condiciones moderadas de luz y altas concentraciones de nutrientes. Estas observaciones son similares a lo mencionado por Patceva y Mitic (2010), en donde las menores concentraciones de clorofila "a" se observaron durante el periodo de secas que coincide con el cambio en las condiciones ambientales (invierno-primavera), y las mayores en el periodo de lluvias (verano-otoño).

Por otra parte, de acuerdo a Ramírez (2006) y a la UTE Red Biológica Ebro (2009) las concentraciones de clorofila "a" registradas en la presa El Abrevadero son >25 lo cual indican condiciones hipereutróficas, altamente productivas.

La estimación de los parámetros fisicoquímicos del agua, incluidos los nutrientes, son de suma importancia ya que permiten tener un marco ambiental de las condiciones que se presentan en los sistemas acuáticos, estos parámetros inciden directamente en la composición de la biota, y en conjunto permiten conocer la capacidad productiva de los recursos acuáticos (Boyd, 1979; De la Lanza-Espino *et al.*, 2007).

La temperatura es un factor relevante que influye en la tasa de producción primaria y en las reacciones metabólicas de la reproducción y el crecimiento de las especies (De la Lanza y Hernández, 1998), los niveles de tolerancia de las algas frente a las variaciones de la temperatura son diversos de tal forma que los organismos del fitoplancton elevan su tasa de crecimiento

cuando aumenta la temperatura hasta su valor óptimo, después del cual disminuye, con frecuencia, drásticamente (Marshall, 1991).

La temperatura registró valores más bajos durante el periodo noviembre a febrero, durante el resto de los meses las temperaturas fueron superiores. El S1 registró un promedio 23.5 °C, una DE de 2.28, valores mínimo de 18.9 °C y máximo de 26.1 °C, con una diferencia ± 7.2 °C. En el S2 el promedio fue de 23.4 °C, DE de 2.39, una temperatura mínima de 19.3 °C y máxima de 25.9 °C, con una diferencia de ± 6.6 °C, en cuanto al S3 el promedio fue de 23.6 °C, DE de 2.22, temperatura mínima de 19.3 °C y máxima de 26.5, una diferencia de ± 7.2 °C.

Es importante mencionar que en los tres sitios las temperaturas mínima y máxima correspondieron a los mismos meses, diciembre y junio respectivamente, por otra parte, la mayor diferencia entre temperaturas se mostró en los S1 y S3 (Figura 5). En cuanto al ANOVA se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) ($P = 195.256$) entre los

meses pero no entre sitios de muestreo ($P > 0.05$) ($P = 0.028$).

Las variaciones de la temperatura están influenciadas por las condiciones ambientales de la zona 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 (Moss, 1992; Torres y García, 1995). Se observó una relación directamente proporcional en algunos de los meses entre la temperatura-concentración de clorofila "a"-densidad del fitoplancton, así mismo se mencionan valores óptimos de temperatura entre los 18 a 25 °C (Marshall, 1991).

El oxígeno disuelto en el agua está limitado por factores como son la temperatura, la cantidad de productores primarios, la transparencia, la cantidad de nutrientes, la materia orgánica en descomposición y los organismos consumidores, presentando variaciones en el tiempo y en el espacio (Hernández-Avilés et al., 2002).

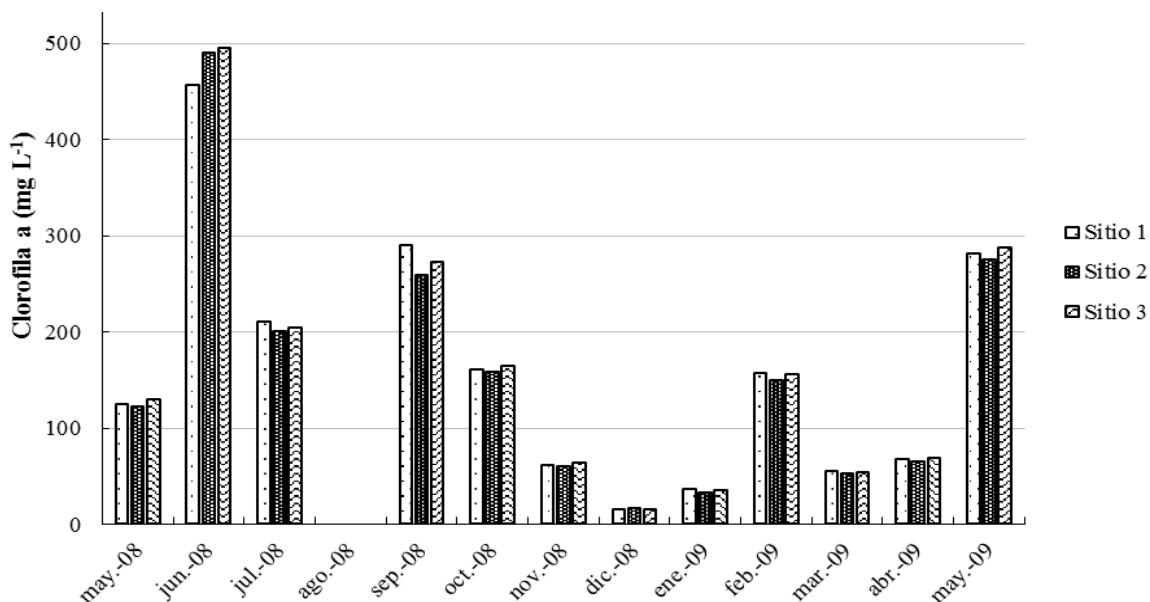


Figura 4. Concentración de clorofila "a" en los sitios de muestreo en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

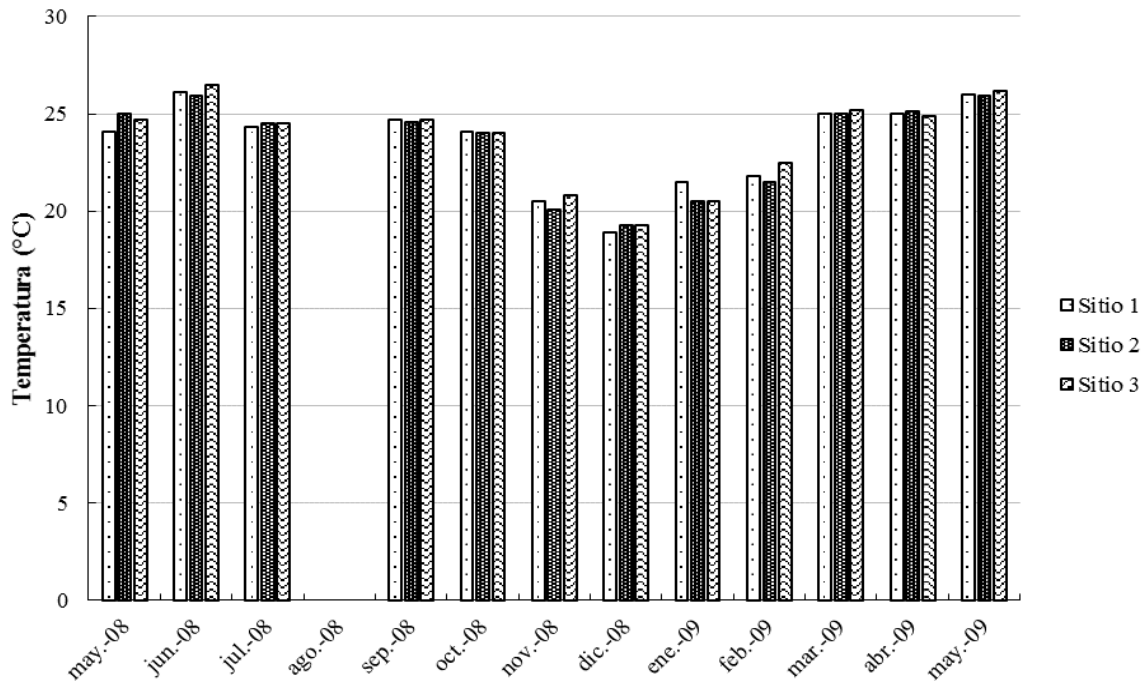


Figura 5. Valores de temperatura en los sitios de muestreo en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron menores a 3 mg L^{-1} durante el periodo noviembre a marzo (2009), mientras que en el resto de los meses los valores se incrementaron. S1 presentó un promedio de 3.5 mg L^{-1} , una DE de 1.37, un valor mínimo de 1.4 y un máximo de 5.4 mg L^{-1} (junio), con una diferencia de $\pm 4 \text{ mg L}^{-1}$. El S2 registró un promedio de 3.6 mg L^{-1} , una DE de 1.45, una concentración mínima de 1.0 mg L^{-1} y una máxima de 5.7 mg L^{-1} (junio), con una diferencia de $\pm 4.7 \text{ mg L}^{-1}$. En el S3 el promedio fue de 3.6 mg L^{-1} , una DE de 1.4, un mínimo de 1.4 mg L^{-1} y un máximo de 5.8 mg L^{-1} , con una diferencia de ± 4.4 (Figura 6). Los valores con mayor amplitud correspondieron para el S2.

Se observó que las concentraciones más altas correspondieron principalmente a los meses de lluvias, mientras que disminuyeron en los meses de secas. Lo anterior se relaciona con el acarreo de

nutrientes durante lluvias que pudieron incrementar la productividad del fitoplancton y una mayor liberación de oxígeno, por otra parte, otro factor importante es la temperatura del agua que mantienen una relación inversamente proporcional con la solubilidad del oxígeno, que a su vez depende de la radiación solar y de la profundidad del sistema (Moreta, 2008).

De acuerdo a los criterios de la UTE Red Biológica Ebro (2009), las concentraciones de oxígeno se encuentran entre eutrófico o moderado ($6-4 \text{ mg L}^{-1}$) a hipereutrófico o malo ($4-2 \text{ mg L}^{-1}$). Por otra parte, De la Mora *et al.* (2006) mencionan que los peces requieren usualmente de 5 a 6 mg L^{-1} , niveles menores (3 mg L^{-1}) causan estrés y a menores de 2 mg L^{-1} los peces mueren, por lo tanto es relevante conocer el tiempo en que se mantienen estas concentraciones.

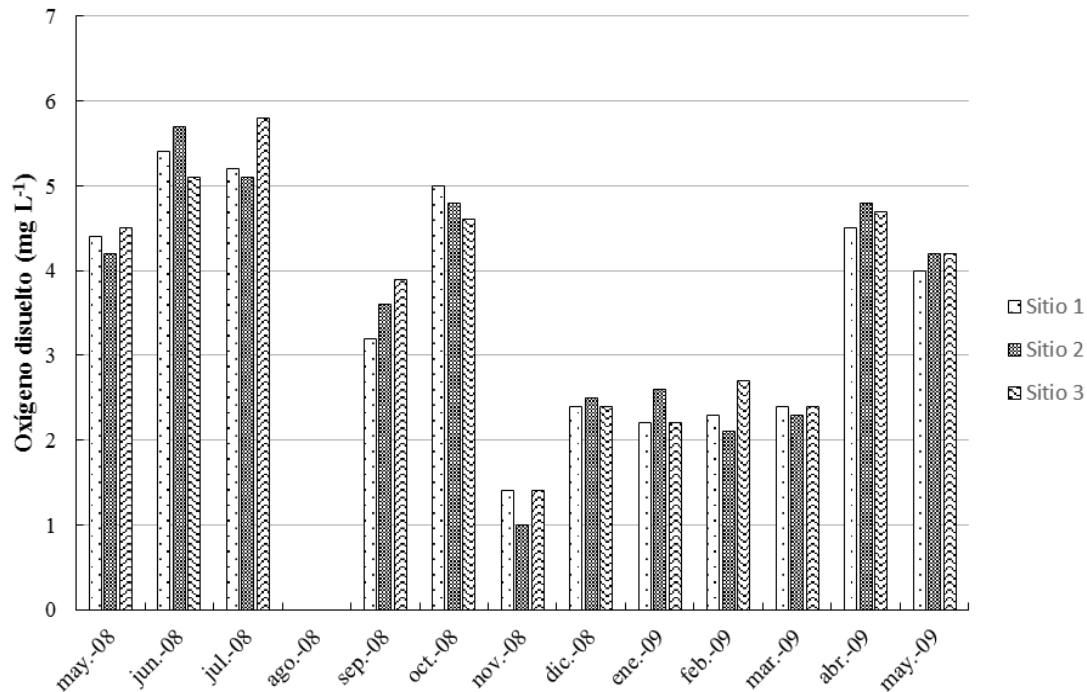


Figura 6. Concentraciones de oxígeno disuelto en los sitios de muestreo en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

La transparencia es otro parámetro importante que está directamente relacionado con la cantidad de fitoplancton, es un factor limitante para la vida en el agua (Arredondo, 1996). Los valores registrados de transparencia fueron menores entre los periodos mayo (2008) a septiembre, abril y mayo (2009). El S1 presentó un promedio de 47 cm, una DE de 20.7, valores mínimo de 25 cm (julio) y máximo de 85 cm (enero) y una diferencia de ± 60 cm. El S2 registró un promedio de 46.3 cm, una DE de 20.3, mínimo de 25 cm (septiembre) y un máximo de 80 cm (noviembre y enero), con una diferencia de ± 55 cm. En el S3 el promedio fue de 47.4 cm, una DE de 20.5, con valores mínimo de 20 cm (septiembre) y máximo de 80 cm (enero), y una diferencia de ± 60 cm. La mayor diferencia entre los valores fue para los S1 y S3 (Figura 7). En cuanto al

ANOVA los datos presentaron diferencias significativas entre los meses ($P < 0.05$) ($P = 1252.38$) pero no por sitios de muestreo ($P > 0.05$) ($P = 0.014$).

Durante el periodo de muestreo, los valores de transparencia se relacionaron con la presencia de material orgánico e inorgánico, presentando una relación inversa con las concentraciones de clorofila "a", observándose durante la época de lluvias los valores más altos de clorofila disminuyendo la transparencia debido al incremento probable del fitoplancton y al arrastre de material hacia la presa. De acuerdo a los valores obtenidos la presa El Abrevadero se encuentra en un estado eutrófico (< 1 m) en época de lluvias e hipereutrófico (< 0.7 m) en época de secas y algunos meses de lluvias (Ramírez, 2006).

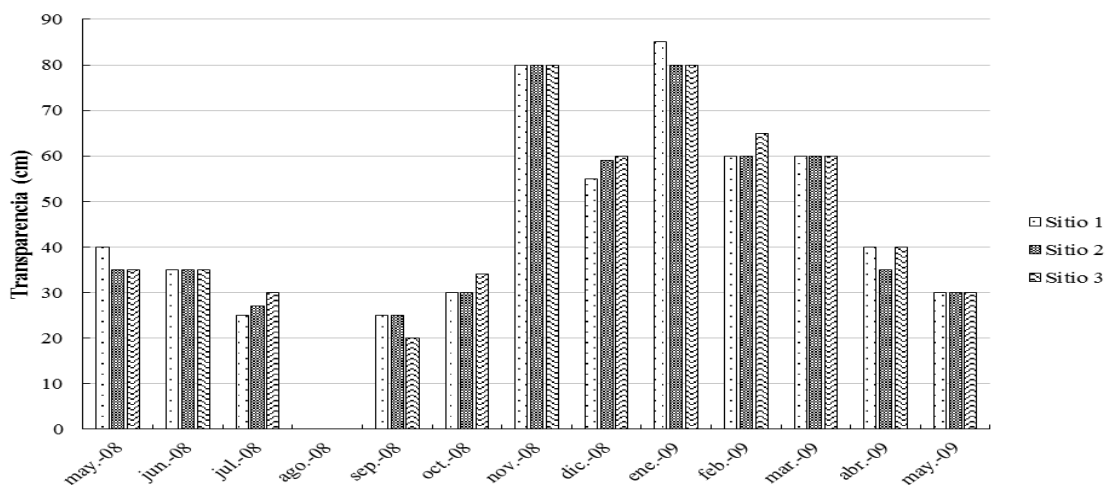


Figura 7. Valores de transparencia en los sitios de muestreo en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

El nitrato es una fuente de nutrientes importante para los organismos autótrofos, además de ser una de las formas de mayor asimilación como fuente nitrogenada (Egna y Boyd, 1997). Las concentraciones más altas se presentaron principalmente en el periodo junio a octubre, mientras que los valores más bajos se registraron entre el periodo diciembre-marzo (2009). El S1 registró un promedio de $31.8 \mu\text{g L}^{-1}$, una DE de 22.9, valores mínimo de $0.01 \mu\text{g L}^{-1}$ y máximo de $72 \mu\text{g L}^{-1}$, con una diferencia de $71.9 \mu\text{g L}^{-1}$. El S2 mostró un promedio de $32.4 \mu\text{g L}^{-1}$, una DE de 24.4, valores mínimo de $0.01 \mu\text{g L}^{-1}$ y máximo de $78 \mu\text{g L}^{-1}$, con una diferencia de $29.7 \mu\text{g L}^{-1}$. En el S3 se registró un promedio de $32 \mu\text{g L}^{-1}$, una DE de 24.6, concentración máxima de $73 \mu\text{g L}^{-1}$ y una diferencia de $\pm 73 \mu\text{g L}^{-1}$.

En los tres sitios coincidió que los valores más bajos se presentaron en el mes de febrero y los más altos en octubre. Las diferencias entre los valores fueron mayores en el S2 (Figura 8). Con relación al ANOVA se presentaron diferencias significativas entre los meses ($P < 0.05$) ($P = 334.220$) pero no entre los sitios de muestreo ($P > 0.05$) ($P = 0.002$).

Es probable que el incremento del

nitrato se deba al arrastre de materia orgánica de la zona circundante durante la época de lluvias producto de la vegetación y ganadería, casos similares se han observado en otros sistemas acuáticos (González *et al.*, 2004). Contrario a lo descrito por López *et al.* (2007) para la presa Zimapán, Hidalgo-Querétaro cuyas concentraciones más altas se registraron en la época de pre-sequía y sequía (febrero y mayo) con valores que sobrepasan los obtenidos en este trabajo de 2,800 a 4,400 y de 2,500 a 4,600 $\mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente, es importante mencionar que la presa se abastece con el aporte de los ríos Tula que recibe sus aguas provenientes de la actividad minera, lo cual representa una fuente de contaminación con metales pesados, y de San Juan que aporta una menor carga orgánica, así como contaminantes de origen industrial de los municipios de San Juan del Río y Tequisquiapan.

De acuerdo con la clasificación de Ramírez (2006), la presa El Abrevadero se considera un sistema oligotrófico ($0-1,000 \mu\text{g L}^{-1}$), puede mencionarse que existe una disponibilidad adecuada de este nutriente para el desarrollo del fitoplancton pero limitada en el ambiente.

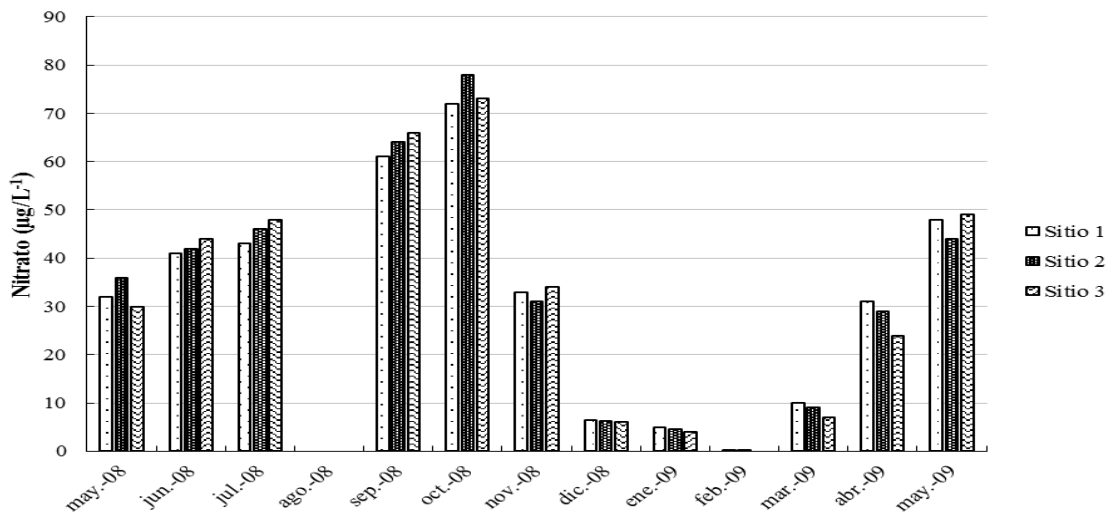


Figura 8. Concentraciones de nitrato en los sitios de muestreo en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

El fósforo es un elemento químico de vital importancia para el metabolismo de los nutrientes, y la disponibilidad del mismo a menudo regula la productividad de las aguas naturales siendo determinante para el crecimiento del fitoplancton (Arredondo, 1986).

Las concentraciones de fósforo total que se registraron en el S1 fueron un promedio de $123.2 \mu\text{g L}^{-1}$, una DE de 63.1, un mínimo de 43 y un máximo de $244 \mu\text{g L}^{-1}$, una diferencia de $201 \mu\text{g L}^{-1}$. En el S2 el promedio fue de $122.4 \mu\text{g L}^{-1}$, una DE de 67.4, valores mínimo de 40 y máximo de $250 \mu\text{g L}^{-1}$ y una diferencia de $210 \mu\text{g L}^{-1}$. Finalmente, en el S3 el promedio fue de $120.5 \mu\text{g L}^{-1}$, una DE de 58.6, un valor mínimo de 42 y un máximo de $217 \mu\text{g L}^{-1}$ y una diferencia de $\pm 175 \mu\text{g L}^{-1}$.

Para los tres sitios los valores más bajos se presentaron en el mes de febrero (2009) y los más altos en mayo (2009) (Figura 9). La mayor diferencia entre los datos se presentó en el S2. De acuerdo con el ANOVA se presentaron diferencias significativas entre los meses ($P < 0.05$)

($P = 70.429$) pero no entre sitios de muestreo ($P > 0.05$) ($P = 0.003$).

Las concentraciones de fósforo total en la mayoría de los meses se registró por encima de los $50 \mu\text{g L}^{-1}$, lo cual presupone una buena disponibilidad durante todo el periodo de estudio, sin considerarse como factor limitante para el crecimiento del fitoplancton, tal como lo señalan Nedoma *et al.* (1993) (citado en Tavera, 1996). González *et al.* (2004) reportan concentraciones óptimas para el desarrollo del fitoplancton de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ como valor mínimo registrado, menor a lo obtenido en este trabajo.

Por otra parte, Gaspar-Dillanes *et al.* (2007) reportan para la presa Peña de Águila, Durango, concentraciones promedio de $20 \mu\text{g L}^{-1}$, mínimo de 5 y máximo de $53 \mu\text{g L}^{-1}$, considerándolo como un sistema mesotrófico con tendencia a la eutrofia, con uso del agua para irrigación, actividades recreativas y pesqueras, mostrando un buen sostenimiento de ésta última actividad, datos que comparados con los obtenidos en el presente estudio permite inferir que existen condiciones de productividad viables para el

desarrollo de la acuicultura extensiva. Finalmente, de acuerdo a la clasificación trófica de la OECD (1982) la presa El Abrevadero presenta un estado eutrófico ($35\text{-}100\ \mu\text{g L}^{-1}$).

Durante la realización del presente estudio la presa El Abrevadero no sólo se empleaba como reservorio de agua para riego y abrevadero, también se cultivaba de manera extensiva la tilapia (*Oreochromis niloticus*) para autoconsumo, no se tienen datos de la producción obtenida pero de acuerdo con los datos registrados, la

productividad primaria que se genera es la necesaria para sostener el crecimiento de peces. Castañeda-Castillo (comunicación personal) Subdelegado de Pesca (CoNaPesca) en Morelos, menciona que en el periodo de 2011 al 2016 se han realizado dos repoblaciones de crías de tilapia, 10,000 crías de tilapia heterosexuada y 25,000 hormonadas en el 2013, lo cual indica que la población ha considerado a la acuicultura, como una actividad no sólo de autoconsumo sino como una actividad económicamente rentable.

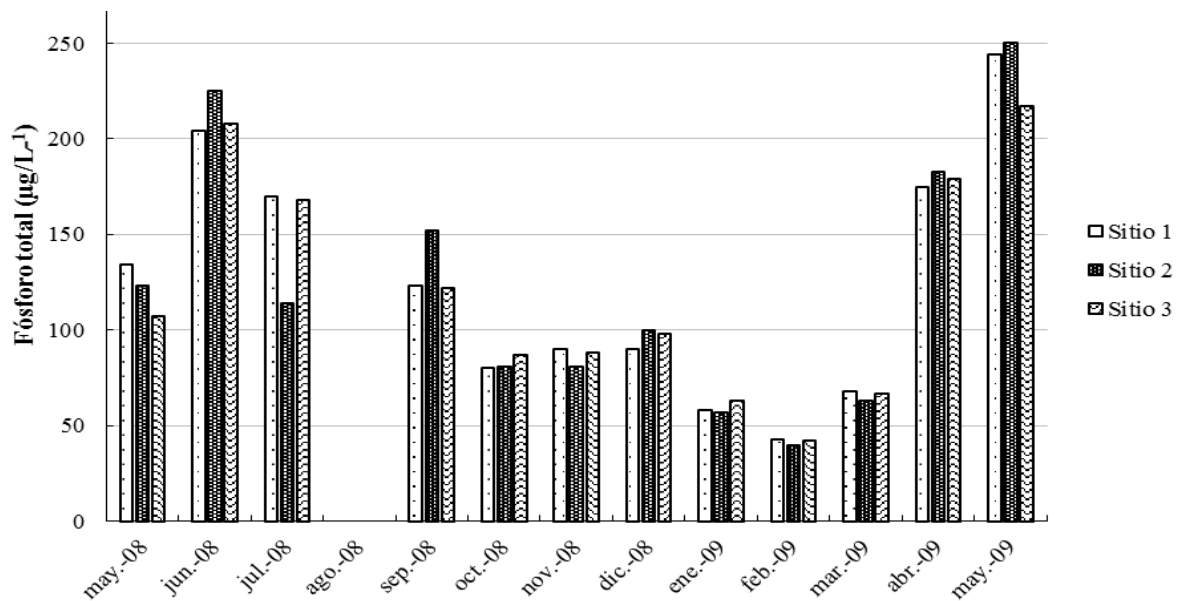


Figura 9. Concentraciones de fósforo total en los sitios de muestreo en la presa "El Abrevadero" en Morelos, México.

CONCLUSIONES

El fitoplancton estuvo constituido por cuatro clases taxonómicas: Cyanophyceae, Euglenophyceae, Bacillariophyceae y Chlorophyceae. De acuerdo con las densidades fitoplanctónicas obtenidas se encontró una relación dominante Euglenophyceae>Cyanophyceae>Chlorophyceae>Bacillariophyceae que indica una alta tasa de descomposición de materia orgánica

y disponibilidad de nutrientes. El estado trófico que presentó la presa fue de ultraoligotrófico a mesotrófico con tendencia a incrementar la productividad.

Las valores obtenidos para evaluar la productividad primaria mostraron una relación directa con la estacionalidad, periodo de secas y lluvias, mostrando diferencias significativas entre los meses más que en los sitios de muestreo.

La clorofila "a", transparencia, oxígeno disuelto y fósforo total presentaron valores que indican para la época de secas un estado de muy alta productividad (hipereutrófico) y durante la época de lluvias una alta productividad (eutrúfico).

La presa El Abrevadero genera la productividad primaria adecuada para el sostenimiento de la producción de peces.

LITERATURA CITADA

- Ahlgren, G. 1970. Limnological studies of the lake Norrviken, a eutrophicated Swedish lake. II. Phytoplankton and its production. *Schweizerische Zeitschrift Für Hydrologie* (32): 353-396.
- Arredondo, F. J. L. 1986. Piscicultura breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de calidad del agua en estanques de piscicultura intensiva. Secretaría de Pesca. 1ª. Ed. México. 182 pp.
- Boyd, C. E. 1979. Water quality management in ponds fish culture. International Center for aquaculture agriculture experiment station. Research and development Series, No. 22. 30 pp.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
- Centro Nacional de Desarrollo Municipal. Gobierno del Estado de Morelos. 2001.
- Comisión Nacional del Agua, CNA. 2004a. Gerencial Regional Balsas. Evaluación social del proyecto Hidroagrícola "El Abrevadero", Estado de Morelos. 61 pp.
- Comisión Nacional del Agua, CNA. (2004b). Evaluación de resultados del Programa S082. "Ampliación de Unidades de Riego". Informe Final. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola.
- De la Lanza, E. G., J. L. García, C., J. Soto, C., M. E. Zamudio, R., I. González, M. y S. Hernández, P. 2007. La presa Requena y su calidad del agua a través de indicadores fitoplanctónicos. pp. 483-494. *In: De la Lanza-Espino, G. (Compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y Casos.* AGT Editor. México, 695 pp.
- De la Lanza, E. G. y S. Hernández, P. 1998. Nutrientes y productividad primaria en sistemas acuícolas. pp. 1-27. *In: L. Martínez, C. (Ed.). Ecología de los sistemas acuícolas.* AGT Editor. México, 227 pp.
- De la Mora, O. C., H. E. Flores, L. y A. Chávez, D. 2006. Calidad del agua del embalse de la presa La Vega y su impacto en las tierras agrícolas bajo riego. Libro Técnico no. 6, Campo experimental Centros-Altos de Jalisco, CIRPAC-INIFAP. México, 168 pp.
- Egna H. y C. Boyd 1997. Dynamics of pond aquaculture. CRC-Press; 1 edition. New York. United States, 480 pp.
- Gaspar-Dillanes, Ma. T., Díaz-Rubin, P., E. Romero, B., A. Liedo, G. y Ma. E. Arenas, A. 2007. Presas Peña de Águila y San Bartolo, Durango. pp. 533-546. *In: De la Lanza-Espino, G. (Compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y Casos.* AGT Editor. México, D. F. 695 pp.
- Gómez, A. S. y L. R. Martínez, C. 1998. El fitoplancton. pp. 77-92. *In: J. R. Martínez, C. (Compilador). Ecología de los sistemas acuícolas: bases ecológicas para el desarrollo de la acuicultura,* AGT. México, 227 pp.
- Gómez, M. J., B. Peña, M., I. H. Salgado, U., O. Flores, M. y J. L. Guzmán, S. 2007. Presa Emiliano Zapata, Morelos. pp. 449-464. *In: De la Lanza-Espino, G. (Compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y Casos.* AGT Editor. México, 695 pp.
- González J. E., Ortaz, M., Peñaherrera, C., Montes, E., M. Matos, L. y Mendoza, J. 2004. Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos. *Limnetica* 22(1-2):15-35.

- Hernández-Avilés, J. S., M. C. Galindo de Santiago, P. J. Loera y J. L. García-Calderón. 2002. Bordos o macroembalses. pp. 600-619. *In: De la Lanza-Espino, G. y J. L. García-Calderón (Eds.). Lagos y Presas de México*, AGT Editor. México, 695 pp.
- Kimmel, B. L., T. Lind, O. y J. Paulson, L. 1990. Reservoir primary production. pp. 133-193. *In: W. Thornton K., B. L., Kimmel and F. E. Payne (Eds.). Reservoir limnology: ecological perspectives*. Wiley. New York, United States, 256 pp.
- López, H. M., M. G. Ramos, E., M. G. Figueroa, T. y J. Carranza, F. 2007. Presa Zimapán: implicaciones ambientales, pesqueras y sociales. pp. 497-516. *In: De la Lanza-Espino, G. (Compiladora). Las aguas interiores de México. Conceptos y Casos*. AGT Editor. México, D. F. 695 pp.
- Marshall, D. W. 1991. *Biología de las algas. Enfoque fisiológico*. Limusa, México, 236 pp.
- Morabito, G., W. Hamza and D. Ruggiu. 2004. Carbon assimilation and phytoplankton growth rates across the trophic spectrum: an application of the chlorophyll labelling technique. *J. Limnol.* 63(1):33-43.
- Moreta, P. J. C. 2008. La eutrofización de los lagos y sus consecuencias. Tesina (Tecnólogo en saneamiento ambiental), Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ciencias de la Salud. Ecuador, 84 pp.
- Moss, B. 1992. *Ecology of Fresh Waters, man and medium*. Blackwell Scientific Publications. Great Britain, 417 pp.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1982. *Eutrofication of waters. Monitoring, assessment and control*. United States, 156 pp.
- Ortega-Murillo, M. del R., R. Alvarado-Villanueva, I. Martínez-Sánchez, M. Arredondo-Ojeda, M. y J. D. Sánchez-Heredia. 2007. Estado trófico de la presa la Mintzita, Morelos, Michoacán, con base en la abundancia y distribución del fitoplancton. *Biológicas* 9:105-114.
- Patceva, S. and V. Mitic. 2010. Chlorophyll a content as indicator of eutrophication of lake Prespa. *BALWOIS* 1-5.
- Ramírez, G. A. 2006. *Ecología. Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Colombia, 271 pp.
- Roldán, G. E. y J. Ramírez, J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. 2ª ed. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. 268 pp.
- SCOR-UNESCO. 1980. *Technical papers in marine science. Determination of chlorophyll in seawater*. 35 pp.
- Tavera, R. 1996. *Phytoplankton of the tropical Lake Catemaco*. Ph. D. Thesis. University of South Bohemia, České Budejovice, Czech Republic. 66 pp.
- Torres, O. R. y J. L. García, C. 1995. *Introducción al manejo de datos limnológicos*. Universidad Autónoma Metropolitana. México, 130 pp.
- UTE RED BIOLÓGICA EBRO. Informe final de Embalses 2008. 2009. Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España, 15 pp.