

## Respuesta fotosíntesis-irradiación del nanoplancton de dos ecosistemas acuáticos urbanos

María del Rosario Cruz Muñoz y María Amparo Martínez Arroyo

Laboratorio de Ecofisiología. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México D.F. Fax: (525) 616 07 89. E.mail: marroyo@servidor.unam.mx.

Recibido 14-I-1999; Corregido 12-III-1999. Aceptado 12-IV-1999.

**Abstract:** Four series of experiments on the phytoplankton smaller than 20  $\mu\text{m}$  (nanoplankton) were performed during 1997 in two urban aquatic ecosystems: Lake Chapultepec and Lake Xochimilco, in Mexico City. The goal was to learn the nanoplankton photosynthetic capacities by means of laboratory experiments where photosynthesis-irradiance (P-I) curves were constructed using an integrated system with a polarographic electrode and light and temperature control. Experimental data were fitted to exponential models. The maximum photosynthesis rates ( $P_{\text{max}}$ ) ranged from 0.28 to 3.96  $\mu\text{mol O}_2 \text{ mg Chl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$  in Chapultepec Lake and from 0.07 and 2.99  $\mu\text{mol O}_2 \text{ mg Chl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$  in Xochimilco Lake samples. The highest production in Chapultepec occurred in the rainy season while in Xochimilco it was in the dry season. Saturation irradiance ( $I_k$ ) varied from 18 to 295  $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ . The highest photosynthesis rates occurred when some Cyanobacteria genera were dominant (*Microcystis* spp. and *Oscillatoria* spp. in both lakes and *Merismopedia* spp. and *Anabaenopsis* sp. for Xochimilco Lake). Biomass expressed as chlorophyll *a* concentration had its maximum values in the rainy season, 220.9  $\text{mg m}^{-3}$  in Chapultepec and 136.2  $\text{mg m}^{-3}$  in Xochimilco.

**Key words:** Freshwater phytoplankton, nanoplankton, photosynthesis, urban lakes.

El proceso mundial de urbanización ha destruido o transformado los ecosistemas acuáticos naturales ubicados en su zona de influencia. Los lagos y cuerpos de agua ubicados en núcleos urbanos tienen un papel importante en la modulación del microclima, en la producción de oxígeno y como sumideros de bióxido de carbono y otros compuestos; paralelamente a su función en la recreación, pueden también tener importancia como reservorios de agua en las ciudades (Jáuregui 1990/91). El conocer el funcionamiento de los organismos que viven en estos ecosistemas permitiría un mejor manejo de sus potencialidades así como una mayor comprensión de los procesos y mecanismos que desarrollan para responder a las condiciones ambientales, contribuyendo a la caracterización biológica de ambientes perturbados.

El comportamiento fotosintético del fitoplancton se ha descrito experimentalmente me-

dante curvas de fotosíntesis-irradiación (P-I), fotosíntesis-bióxido de carbono (P-CO<sub>2</sub>) y fotosíntesis-temperatura (P-T), las cuales permiten analizar la respuesta de la comunidad ante factores externos y son un indicador indirecto de la salud de todo el ecosistema (Geider y Osborne 1992). Las ecuaciones que describen el efecto de la irradiación sobre la fotosíntesis consisten principalmente de tres parámetros:  $P_{\text{máx}}$  es la tasa de fotosíntesis máxima,  $I_k$  es la irradiación de saturación que depende de  $\alpha$  ( $\alpha$ ), la pendiente inicial de la curva. Estos parámetros son utilizados para entender que factores controlan la actividad fotosintética del fitoplancton en su ambiente natural. Al estudiar las diferentes clases de tamaño de la comunidad fitopláncica se han encontrado variaciones en la tasa fotosintética, la cual es frecuentemente mayor en los organismos más pequeños (Taguchi 1976, Suttle *et al.* 1988, Frenette

*et al.* 1996, Malinsky-Rushansky *et al.* 1997). En México no existen muchos trabajos sobre este tema y los que se han publicado son para ambientes marinos (p.e. Abrajan-Villaseñor y Alvarez-Borrego 1987).

Las microalgas estudiadas provienen de dos lagos ubicados en la ciudad de México que se encuentra en una cuenca localizada entre los 19° 2' y 20° 12' de latitud norte y los meridianos 98° 28' y 99° 32' a 2 240 metros de altura sobre el nivel medio del mar (Fig. 1). El clima de la cuenca puede ser globalmente descrito como templado con lluvias en verano, si bien se pueden encontrar varios tipos y subtipos (Cardoso y García 1982). Se diferencian claramente dos periodos durante el año de lluvias en los meses de Junio a Septiembre y de sequía de Febrero a Mayo (Rosas *et al.* 1995).

El llamado Lago Viejo de Chapultepec está situado al oeste de la ciudad de México dentro del bosque de Chapultepec, abarca una superficie total de 60 240 m<sup>2</sup>, su cuenca alberga 49 525 m<sup>3</sup> de agua con una profundidad media de 1.0 m y máxima de 1.8 m. La alimentación del Lago Viejo proviene de tres fuentes: el río Hondo, la planta de tratamiento de aguas residuales del Lago de Chapultepec y las pequeñas descargas de agua cruda (aguas negras sin tratar) provenientes de los locales comerciales asentados en la periferia (Alcocer 1988).

El Lago de Xochimilco se encuentra localizado en el sureste de la ciudad (Fig. 1) está constituido por canales cuya superficie es de aproximadamente 189.32 ha que de acuerdo con su anchura se clasifican en primarios, secundarios y terciarios (Flores-Granados 1980). Actualmente se alimenta con agua proveniente de una planta de tratamiento de aguas negras y en menor medida, de aportes de manantiales.

Se realizó un muestreo piloto para identificar los sitios que podrían ser representativos de las condiciones ambientales prevalecientes en los cuerpos de agua. En el Lago Viejo de Chapultepec no se identificaron grandes diferencias en el entorno ambiental, pero se fijaron cuatro estaciones de muestreo tomando en cuenta los sitios de salida y entrada de agua y dos sitios intermedios. El Lago de Xochimilco

presenta zonas muy distintas en relación con las actividades humanas que se realizan en su periferia, además de tener una superficie considerablemente mayor a la del otro lago. Se seleccionaron siete estaciones con diferentes condiciones que influyen en la calidad del agua.

Durante 1997 se realizaron cuatro periodos de muestreo matutinos de tres a cinco días de duración cada uno, abarcando condiciones meteorológicas características tanto de secas como de lluvias (Febrero y Junio en Chapultepec y Marzo y Julio en Xochimilco).

Las muestras experimentales de agua se tomaron a 0.5 m de profundidad con una botella van Dorn de 3 l de capacidad; cada muestra se filtró con una red de fitoplancton con abertura de malla de 20 µm. Se conservaron submuestras de 250 ml en acetato lugol para conteo celular e identificación posterior en microscopio invertido Olympus por el método de Utermöhl (Wetzel y Likens 1991).

Con el fin de conocer las características físicas y químicas de cada sitio de muestreo se registraron las variables de la luz fotosintéticamente disponible (PAR) con un cuantómetro LI-COR (sensores 192SA y 193SA). El pH con un potenciómetro de campo (pH-mV-ORP Cole Parmer). El oxígeno disuelto y la temperatura del agua se cuantificaron con un oxímetro de campo (YSI mod. 58), además de efectuar análisis de oxígeno en el laboratorio por el método de Winkler. Los métodos para las determinaciones de nutrimentos fueron los establecidos en APHA (1992). La determinación de la concentración de clorofila *a*, *b* y *c*<sub>1</sub>+*c*<sub>2</sub> fue mediante el método espectrofotométrico tomado de Wetzel y Likens (1991) utilizando como solvente acetona al 90% y las fórmulas de Jeffrey y Humphrey (1975).

Las curvas PI se elaboraron con base en la cuantificación de oxígeno producido por 2.0 ml de muestra (con una réplica) bien homogeneizada utilizando un oxímetro con sistema especial de control de luz y temperatura (DW/2 Hansatech Ltd, Kings Lynn, U. K.). El oxígeno que se acumula como un gas en una fase durante la fotosíntesis es detectado polarográficamente por un electrodo tipo Clark. Las mues-

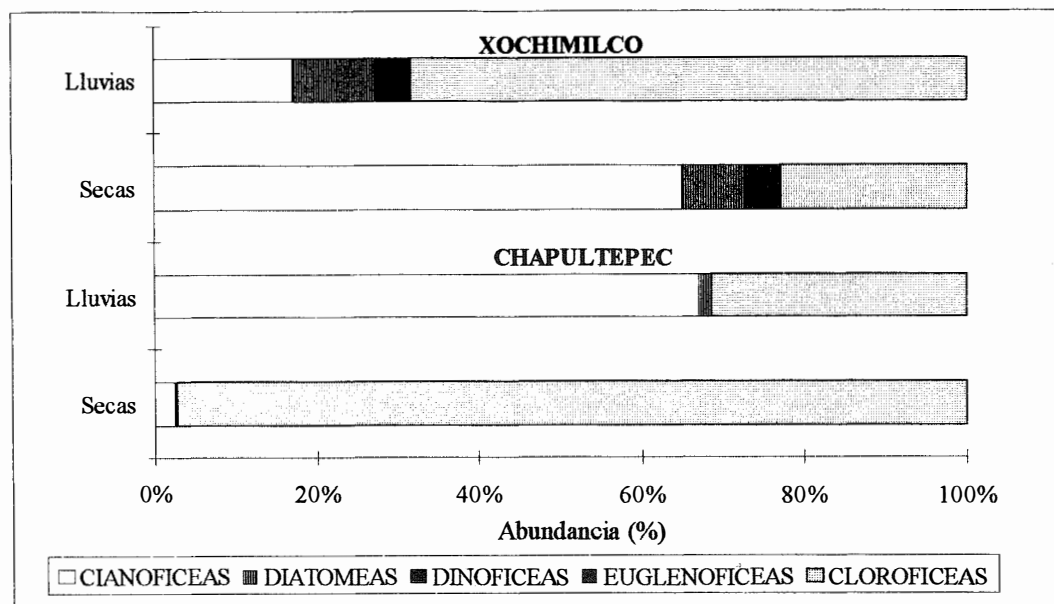


Fig. 1. Abundancia del nanoplancton por sitio y época de muestreo

CUADRO 1

Variación de los parámetros físicos y químicos durante las épocas de muestreo

Parámetro/Época de muestreo	CHAPULTEPEC		XOCHIMILCO	
	Febrero (secas)	Junio (lluvias)	Marzo (secas)	Julio (lluvias)
	X±DE	X±DE	X±DE	X±DE
Profundidad (m)	0.84±0.16	0.75±0.17	1.57±0.26	1.65±0.33
Penetración luminosa (%) a 0.5 m de profundidad	2.20±2.60	7.80±2.70	12.50±3.10	16.40±2.40
Temperatura del agua (°C)	19.90±0.50	20.90±0.20	20.10±0.60	22.40±1.30
pH (H <sup>+</sup> )	9.81±0.06	9.06±0.11	8.62±0.26	8.57±0.40
Oxígeno disuelto (mg l <sup>-1</sup> )				
superficie	18.30±1.70	6.40±1.50	15.60±3.40	12.40±4.10
fondo	3.90±3.40	3.50±1.80	7.80±1.90	3.50±1.40
<b>Nutrientes (mg l<sup>-1</sup>)</b>				
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.17±0.06	0.25±0.02	0.39±0.36	0.35±0.09
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<0.001	0.002±0.001	0.001±0.0	0.003±0.004
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.22±0.01	0.20±0.02	0.30±0.10	0.23±0.02
Fósforo total (P <sup>-</sup> )	0.27±0.04	1.07±0.06	2.67±0.37	2.70±0.43
Ortofosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	0.09±0.04	0.08±0.03	0.17±0.03	0.67±0.08
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	15.0±13.37	12.92±2.69	31.52±1.73	6.33±1.23
<b>Clorofilas (mg m<sup>-3</sup>)</b>				
Clorofila a	177.00±11.80	220.90±31.50	88.70±15.60	136.20±20.70
Clorofila b	49.40±3.20	20.00±1.60	13.70±6.70	26.80±5.40
Clorofila c <sub>1</sub> +c <sub>2</sub>	47.10±1.80	23.50±2.60	25.00±4.00	39.20±5.70

X = media

DE= desviación estándar

tras fueron expuestas a irradiancias crecientes (0, 88.5, 177, 295, 465, 760 y 1900  $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) durante 9 minutos en cada una (Walker 1990) a temperatura constante de 20°C. Los datos experimentales se ajustaron a dos modelos teóricos para obtener los parámetros característicos de la fotosíntesis: 1) la función tangencial hiperbólica de Jassby y Platt (1976) y 2) el modelo de Platt *et al.* (1980) que incorpora la fotoinhibición.

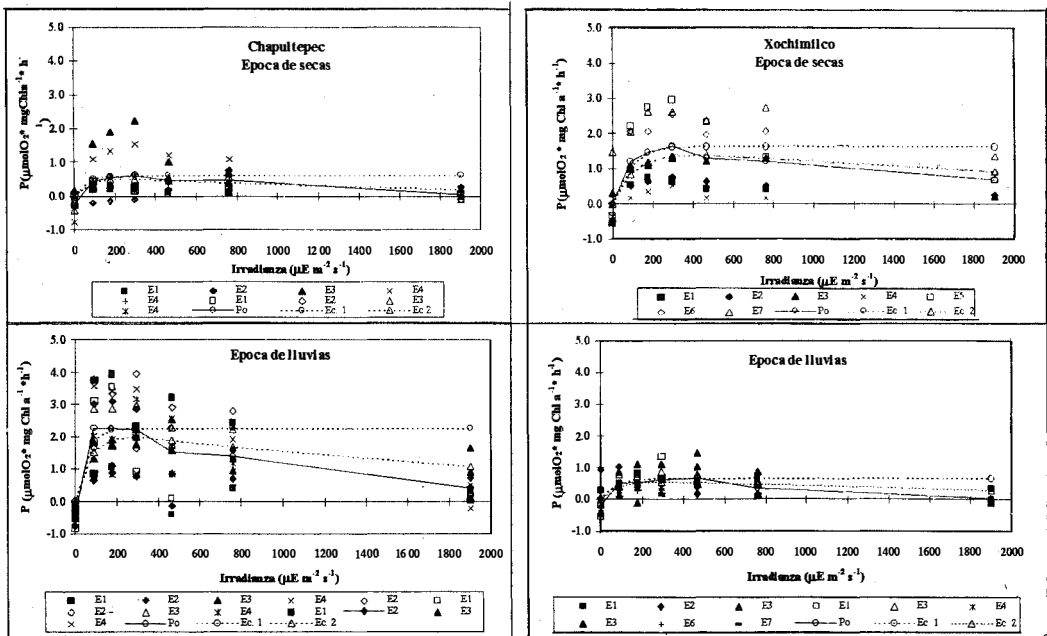
Los valores promedio (X) y desviación estándar (DE) de los parámetros físicos y químicos registrados a la profundidad a la que se colectaron las muestras para experimentación, 0.5 m, se presentan en el Cuadro 1.

En el Lago de Chapultepec se determinaron un total de 24 géneros de nanoplancton, principalmente cianobacterias y clorofitas. En el Lago de Xochimilco se identificaron 40 géneros predominando también dichas divisiones, pero la diversidad fue mayor, presentán-

dose con mayor frecuencia euglenofitas, bacilariofitas y dinofitas (Fig. 1).

Se realizaron un total de 37 experimentos y se elaboraron las curvas correspondientes. En la Fig. 2 se presentan las curvas P-I integradas por época del año y por lago, incluyéndose tanto los datos experimentales (observados) como los calculados para cada uno de los modelos utilizados. Se realizaron análisis de varianza de dos vías, para saber si había diferencias significativas en los valores de P<sub>máx</sub> entre las épocas y sitios de muestreo.

La concentración elevada de nutrientes, clorofila y oxígeno disuelto y por lo tanto los altos valores de saturación (mayores de 200%) son debidos a la gran producción del fitoplancton y corresponden a condiciones eutróficas (Geider y Osborne 1992). Los altos valores de oxígeno también corresponden a una alta aireación mecánica por el tránsito constante de embarcaciones (Alcocer 1988).



E = estaciones  
 Po= producción de oxígeno promedio  
 Ec. 1= ecuación 1 (Jassby y Platt 1976)  
 Ec. 2= ecuación 2 (Platt *et al.* 1980)

Fig. 2. Curvas de respuesta P-I integradas por época del año y por lago.

La producción fotosintética muestra un comportamiento temporal con valores mayores en la época de lluvias para el Lago de Chapultepec y en la época de secas para Xochimilco. La más alta producción coincidió con la abundancia de cianobacterias (*Microcystis* spp., *Oscillatoria* spp., *Merismopedia* spp. y *Anabaenopsis* sp.).

Hubo diferencias significativas ( $t, p < 0.05$ ) en la producción fotosintética de los dos lagos, siendo mayor la producción en el Lago de Chapultepec en el periodo de lluvias y en el Lago de Xochimilco en secas.

Con los resultados antes expuestos podemos concluir que debido a que los dos lagos se caracterizan por ser poco profundos y con poca penetración de luz debido a la gran cantidad de sólidos suspendidos, se encuentran especies que están adaptadas a poca iluminación y que con poca irradiación llegan a su producción máxima de oxígeno, esto concuerda con lo reportado para lagos en zonas con días más cortos (Megard *et al.* 1984, Frenette *et al.* 1996) cuya producción máxima de oxígeno es muy similar a la encontrada en los lugares de muestreo.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado dentro del proyecto IN206396 apoyado por la DGAPA, UNAM.

#### RESUMEN

En 1997 se realizaron cuatro series de experimentos con fitoplancton menor a 20  $\mu\text{m}$  (nanoplancton), de dos ecosistemas acuáticos urbanos: Lago de Chapultepec y Lago de Xochimilco, en la ciudad de México, D.F. El objetivo fue conocer la respuesta fotosintética del nanoplancton realizando curvas de respuesta fotosíntesis-irradiación (P-I), mediante un sistema de cámara con control de luz y temperatura y un electrodo polarográfico tipo Clark. Los datos de las curvas P-I fueron ajustados a modelos exponenciales. Los valores de producción máxima ( $P_{\text{máx}}$ ) encontradas en las muestras de Chapultepec van de 0.28 a 3.96  $\mu\text{mol de O}_2 \text{ mg Chl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$  y en Xochimilco de 0.07 a 2.99  $\mu\text{mol de O}_2 \text{ mg Chl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$ , los valores máximos encontrados fueron en la época de lluvias para Chapultepec y en la época de secas para Xochimilco. La irradiación de saturación ( $I_k$ ) tuvo variaciones de 18 a 295  $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . La mayor producción fotosintética observada coincidió con la dominancia de Cianobacterias de los géneros *Microcystis* spp. y *Oscillatoria* spp. en ambos lagos y *Merismopedia* spp. y *Anabaenopsis* sp. en el Lago de Xochimilco. La bio-

masa expresada en concentración de clorofila *a* presentó valores máximos en la época de lluvias de 220.9 $\pm$ 31.5  $\text{mg m}^{-3}$  en el Lago de Chapultepec y 136.2 $\pm$ 20.7  $\text{mg m}^{-3}$  en el Lago de Xochimilco.

Palabras clave: Fitoplancton de agua dulce, nanoplancton, fotosíntesis, lagos urbanos.

#### REFERENCIAS

- Abrajan-Villaseñor, I. & S. Alvarez-Borrego. 1987. Relación fotosíntesis-irradiación de dos fracciones de tamaño del fitoplancton de verano de una laguna costera del noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas*. 13(3): 49-62.
- Alcocer J., D. 1988. Caracterización hidrobiológica de los lagos de Chapultepec, México. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 88p.
- Anónimo. 1984. Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana. Ed. Porrúa. México, D.F. 219 p.
- APHA, AWWA & WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Díaz de Santos (ed.). Madrid, España.
- Cardoso, M. & E. García. 1982. Vegetation and climate the Basin of Mexico. Latin American Regional Conference Igu. Brasil. Geographical Topics of Mexico City its Environs. Inst. Geogr. Univ. Nal. Autón. México. 19-25.
- Flores-Granados, C. 1980. Variaciones estacionales en la composición florística del fitoplancton de los canales de Xochimilco, D.F. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. 59 p.
- Frenette, J., S. Dermes, L. Legendre & M. Boulé. 1996. Size-related photosynthetic characteristics of phytoplankton during periods of seasonal mixing and stratification in an oligotrophic multibasin lake system. *J. Plankton Res.* 18: 45-61.
- Geider, R. J. & B. A. Osborne. 1992. Algal photosynthesis. The measurement of algal gas exchange. Ed. Chapman & Hall, Nueva York. 256 p.
- Jassby, A. D. & T. Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 21: 540-547.
- Jáuregui, E. 1990/1991. Effects of Revegetation and New Artificial Water Bodies on the Climate of Northeast Mexico City. *Energy and Buildings* 15-16: 447-455.

- Jeffrey, S. & G. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, and *c*<sub>1</sub>+*c*<sub>2</sub> in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.* 167: 191-194.
- Malinsky-Rushansky, N., T. Berman & Z. Dubinsky. 1997. Seasonal photosynthetic activity of autotrophic picoplankton in Lake Kinneret, Israel. *J. Plankton Res.* 19: 979-993.
- Megard, R., D. Tonkyn & W. Senft. 1984. Kinetics of oxygenic photosynthesis in planktonic algae. *J. Plankton Res.* 6(2): 325-336.
- Platt, T., C. L. Gallegos & W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.* 38: 687-701.
- Rosas, I., R. Belmont & E. Jáuregui. 1995. Seasonal variation of atmospheric lead levels in three sites in Mexico City. *Atmósfera.* 8: 157-168.
- Suttle, C., J. Stockner, K. Shortreed & P. Harrison. 1988. Time-courses of size-fractionated phosphate uptake: are larger cells better competitors for pulses of phosphate than smaller cells?. *Oecologia (Berlin).* 74: 571-576.
- Taguchi, S. 1976. Relationship between photosynthesis and cell size of marine diatoms. *J. Phycol.* 12: 185-189.
- Walker, D. 1990. The use of the oxygen electrode and fluorescence probes in simple measurements of photosynthesis. Ed. Sheffield. Gran Bretaña. 203 p.
- Wetzel, R. E. & G. E. Likens. 1991. *Limnological Analyses.* Ed. Springer-Verlag. Nueva York. p. 139-166.