

Producción primaria como indicadora de eutrofización de los canales del lago de Xochimilco (México).

Núñez-Jiménez M*, Cuestas-Alvarado PR, Almada-Ávila, G

Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco. Depto. El Hombre y su Ambiente, Licenciatura en Biología. Módulo Ciclos Biogeoquímicos. Calzada del Hueso. No 1100. Col Villa Quietud, México, 04960, DF. Del. Coyoacán, Tel: 5483 7000 Ext. 3114, Fax: 54837469.

* Email responsable: monys-91@hotmail.com.

RESUMEN

La eutrofización de un ecosistema acuático es producto del incremento en la carga de nitrógeno y fósforo, dando como consecuencia un aumento en la biomasa primaria y una disminución en la calidad física, química y biológica del sistema. En la actualidad, uno de los problemas centrales del lago de Xochimilco es la deficiente calidad del agua que alimenta los canales, las escorrentías de la zona agropecuaria aledaña y el aporte de agua proveniente de las descargas residuales domésticas. En el presente estudio se midió la variación de la producción primaria en diferentes zonas de los canales de la zona chinampera con el objetivo de utilizar este parámetro como indicador del grado de eutrofización. Las mayores concentraciones de producción primaria bruta (PPB) y neta (PPN) se encontraron en la desembocadura de las aguas semi tratadas provenientes del Cerro de la Estrella ($134.20 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) y en el embarcadero de Cuemanco ($1124.38 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$). En el agua de superficie se obtuvieron los valores más altos de respiración. Las mayores concentraciones de clorofila *a*, *b*, *c1* y *c2* se presentaron en la Laguna de la Virgen. Los parámetros físico-químicos que tuvieron mayor influencia sobre PPB y PPN fueron el N-NO_3^- , el P-PO_4^{2-} y la turbidez, mientras que la respiración se vio afectada por P-PO_4^{2-} . Los resultados obtenidos permiten afirmar que la producción primaria y la concentración de clorofila-*a* son buenos indicadores del grado de eutrofización en este cuerpo de agua y que los canales de la zona chinampera de Xochimilco se encuentran en estado mesotrófico homogéneo.

Palabras clave: Caracterización química, clorofilas, columna de agua, estado trófico.

ABSTRACT

Eutrophication of an aquatic ecosystem is due to an increase in nitrogen and phosphorus load, producing an increase in primary biomass and a decrease in physical, chemical and biological system quality. Currently, one of the main problems in Xochimilco Lake is the poor water quality that feeds channels, runoff from surrounding agricultural area and water supply coming from domestic wastewater. In this study, the variation of primary production in different zones of channels in chinampera areas, aiming to use this parameter as indicator of eutrophication grade. The highest concentrations of gross (GPP) and net (NPP) primary production were found in untreated water mouth coming from “Cerro de la Estrella” ($134.20 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) and Cuemanco pier ($1,124.38 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$). In surface water it was obtained the highest values of R. Highest concentration chlorophyll *a*, *b*, *c1* and *c2* were found in La Virgen lagoon. Physical-chemical parameters that had more influence in GPP and NPP were N-NO_3^- , and P-PO_4^{2-} . Obtained results allow to confirm that primary production and chlorophyll-*a* concentration are good indicators of eutrophication grade in this water body and channels in chinampera zone of Xochimilco who are in a homogeneous mesotrophic state.

Key words: Chemical characterization, chlorophyll, water column, trophic state

Eutrofización canales de Xochimilco
Núñez-Jiménez M, Cuestas-Alvarado PR, Almada-Ávila, G.

INTRODUCCIÓN

Los productores primarios son la base principal de las redes tróficas (Roldán et al. 2008), en la columna de agua esta función la cumplen las algas planctónicas. La capacidad fotoautotrófica se evalúa de diversas maneras, pero su estimación más directa se obtiene con la medición de la producción primaria. Esta a su vez, es un reflejo del proceso fotosintético, por lo que, su medición permite tener una idea clara de la capacidad de las comunidades fitoplanctónicas para asimilar carbono inorgánico y convertirlo en carbono orgánico (Pinilla 2009). La distribución vertical de la productividad fitoplanctónica está determinada principalmente por la intensidad de la radiación luminosa, la disponibilidad de nutrientes, la transparencia y la mezcla de aguas (Esteves 1998).

En cuerpos de agua contaminados por descargas de nitrógeno y fósforo los florecimientos algales aumentan y por ende la producción primaria planctónica y la turbidez de la columna de agua; como consecuencia de esto desaparece la vegetación sumergida debido a que el proceso fotosintético llevado a cabo por las algas plantónicas de la superficie no abastece de oxígeno a las zonas más profundas de la columna de agua, excepto en primavera y otoño cuando se rompe la estratificación térmica de los lagos de zonas templadas. Cuando el fitoplancton muere llega al fondo en forma de detritus, provocando a su vez que aumente la materia orgánica y con ella la hipoxia, debido al aumento en la demanda de oxígeno disuelto (OD) que es consumido en la fase de respiración y oxidación de materia orgánica por bacterias heterótrofas, limitando la vida de otros organismos (Moreno et al. 2010).

La eutrofización en los ecosistemas acuáticos es consecuencia del incremento en la carga de nitrógeno y fósforo, principalmente en sus afluentes, dando como consecuencia un aumento en la biomasa primaria y una disminución en la calidad física, química y biológica del sistema (Romero 2009). La proliferación masiva de algas y macrofitas puede producir problemas en el uso de estos recursos debido a las alteraciones de sus propiedades organolépticas (olor, sabor), acumulación del

amoniaco en la columna de agua y resuspensión de ciertos metales pesados como el Fe y el Mn que se encuentra en el sedimento bajo condiciones anóxicas. Aunque la eutrofización es un proceso que de forma lenta puede tener un origen natural, hoy en día es fundamentalmente de carácter cultural y acelerado por el aporte continuo de nutrientes de origen antropogénico (Salas y Martino 2001).

En la actualidad, uno de los problemas centrales del lago de Xochimilco es la deficiente calidad del agua que alimenta los canales de la zona chinampera y parte de la zona agrícola ejidal. La fuente más importante de contaminación, es el aporte de agua semidepurada proveniente de las descargas residuales domésticas y de algunas actividades productivas como la ganadería tras patio y el empleo de fertilizantes químicos en la agricultura (Alva-Martínez et al. 2005).

López et al. (2010) reportaron que el alto grado de eutrofización en la zona se debe a que las aguas que alimentan el lago de Xochimilco están sobre enriquecidas con nutrimentos como el fósforo, nitrógeno y carbono que son promotores de crecimiento algal. Por lo que en el presente estudio se midió la variación de la producción primaria en diferentes zonas del lago de Xochimilco con el objetivo de utilizar este parámetro como indicador del grado de eutrofización existente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de Estudio

Xochimilco se localiza al sureste del Distrito Federal entre las latitudes 19° 09'01" y 19°19'08". Tiene una superficie de 509 kilómetros cuadrados (335 hectáreas), en las que destaca la existencia de 25 hectáreas de chinampas y 140 kilómetros de canales. Las principales corrientes que escurren en esta zona son las de San Gregorio Atlapulco, San Lucas Xochimanca, Santiago Tepalcatlalpan y San Buenaventura, las cuales nacen en su mayor parte en la Sierra Chichinautzin y descargan a los canales de Xochimilco (CONAGUA 2010). El clima es

considerado como templado, subhúmedo y lluvioso semifrío (INEGI 2008).

El presente trabajo, se realizó en los canales del lago de Xochimilco en el Distrito Federal, México, en mayo del 2013. Se eligieron seis puntos de muestreo en los canales: Cerro de la estrella (estación 1) localizado a 34°00'00" N, 68°54'22" O; embarcadero de Cuemanco (estación 2), 34°00'00" N, 68°54'22.5" O; Laguna de Tilac (estación 3), 19°31'22" N, 96°55'39.9" O; Laguna la Virgen (estación 4) 19.4°20'21.3" N 95°55.4'28.9" O; frente a las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (estación 5), 9°22'034" N 53°04'30.1" O y Frente a las instalaciones de la Marina (estación 6), 19°28'029" N 53°07'21" O (Fig.1).

Trabajo de Campo

En cada una de las estaciones de muestreo se midió la temperatura del agua de superficie y de fondo utilizando un termómetro de cubeta, la salinidad con un refractómetro (Atago ATC-S/Mill-E), el pH con un potenciómetro de campo (Conductronic modelo pH10), la profundidad y turbidez con un disco de Secchi (20 cm diámetro), la concentración de oxígeno disuelto con método de Winkler (Barreiro y Signoret 1999), la conductividad y el OR utilizando un multiparamétrico YSI 50.

El análisis de la concentración de nutrientes inorgánicos ($P-PO_4^{2-}$, $N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$) se realizó a partir de muestras de agua (superficie y fondo) de cada estación de muestreo tomadas con una botella Van Dorn horizontal de 1L, para cada determinación fueron filtrados 100 mL de la muestra de agua a través de una membrana Whatman GF/F y un sistema de filtración Millipore. Las muestras

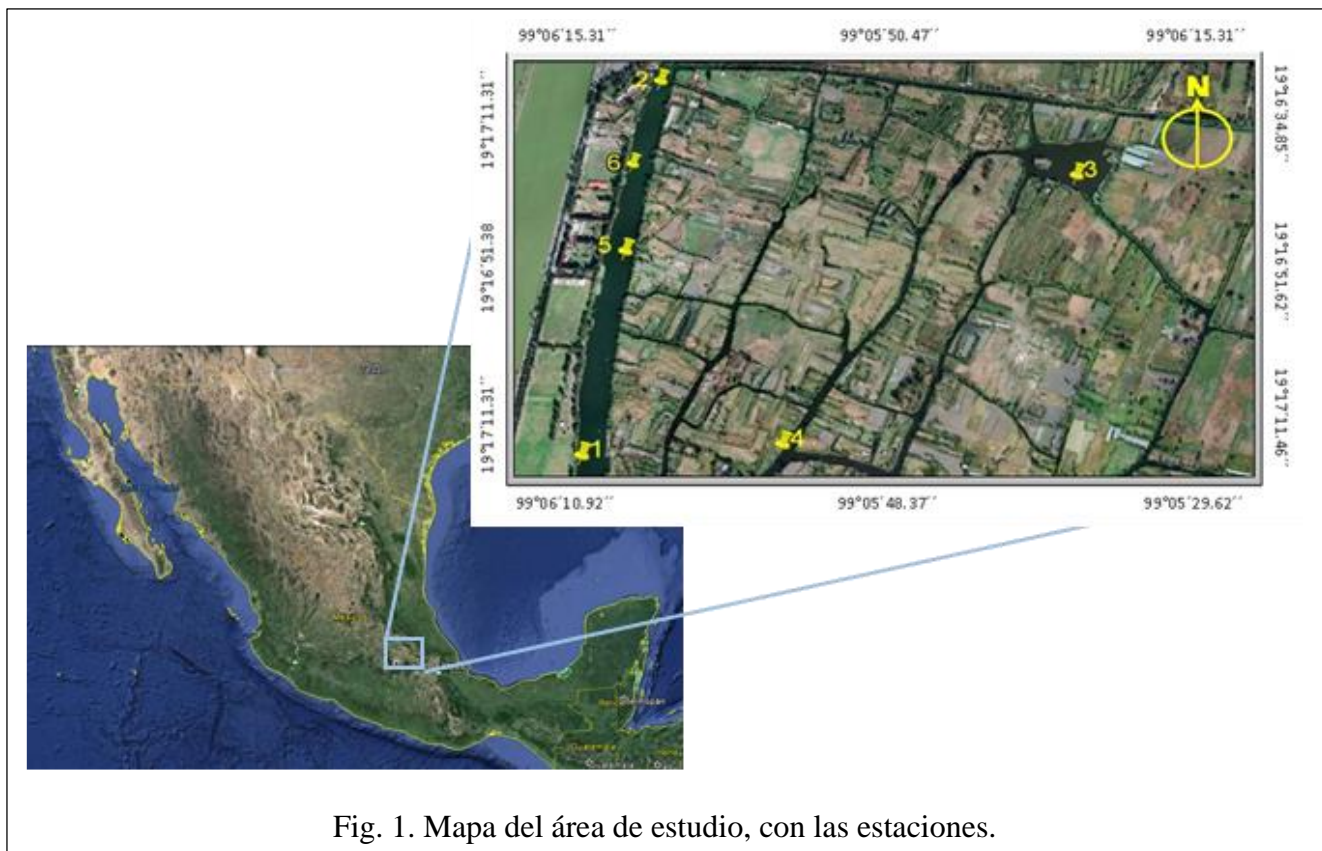


Fig. 1. Mapa del área de estudio, con las estaciones.

Eutrofización canales de Xochimilco
Núñez-Jiménez M, Cuestas-Alvarado PR, Almada-Ávila, G.

filtradas fueron almacenadas en frascos ámbar de 125 mL a -20°C hasta su utilización. Para determinación de fósforo total (PT) y carbono orgánico total (COT) las muestras de agua no fueron filtradas.

La producción primaria, bruta (PPB) y neta (PPN), se calculó con el método evaluación de oxígeno en botellas claras y oscuras incubadas *in situ* durante 8 horas, tanto en agua de superficie como de fondo. Se calculó la PPB, PPN y respiración (R) como incorporación de carbono (Barreiro y Signoret 1999).

Para la determinación de pigmentos fotosintéticos del fitoplancton, se filtraron 300 mL de agua a través de membranas Whatman GF/F por estación y por estrato, los filtros se mantuvieron secos hasta su procesamiento en el laboratorio. Para determinación de pigmentos fotosintéticos se utilizó el método espectrofotométrico recomendado por Barreiro y Signoret (1999), el cual se basa en las ecuaciones propuestas por Jeffrey y Humphrey (1975). Para la estimación de biomasa algal los resultados obtenidos de la concentración de clorofila-a (extraída con etanol al 90%) fueron multiplicados por un factor de 50 de acuerdo con Montoya y Aguirre (2010).

La determinación de amonio, nitritos, nitratos, ortofosfatos, PT y COT se hizo por métodos espectrofotométricos utilizando kits específicos marca HACH® para aguas continentales. El N-NH_4^+ por el método de salicita 10031, HR (0.4 a 50.0 mg L^{-1} $\text{NH}_3\text{-N}$); los N-NO_2^- por el método de sulfato ferroso 863, HR (2 a 250 mg L^{-1} NO_2^-); los N-NO_3^- por el método de reducción de cadmio 8039 HR (0.3 a 30 mg L^{-1} NO_3^- -N); el P-PO_4^{2-} por el método 8114 de molibdovanadato HR (0.3 a 45 mg L^{-1} PO_4^{3-}); el PT por el método 10127 de molibdovanadato con digestión de ácido persulfuro HR (1.0 a 100.0 mg L^{-1} PO_4^{3-}); y el COT por método directo 10173 MR (15 a 150 mg L^{-1} C).

Se utilizó un análisis multivariado de correspondencia para evaluar la relación entre PP y las variables físico-químicas, igualmente se comparó la PPB, PPN, R y la producción de clorofila-a en superficie y fondo por medio de un diagrama de caja y bigote utilizando el programa Statistica® (Statsoft, 1999) (Pielou, 1984).

RESULTADOS

La profundidad media de los canales en la zona chinampera del lago de Xochimilco, fue de 90 ± 52.2 cm a excepción de la estación 1 que tuvo 220 cm; en esta estación se registró una transparencia con disco de Secchi de 75cm a diferencia de las demás en las que osciló entre 45cm y 30cm. La temperatura media en la columna de agua fue $22.3^{\circ}\text{C} \pm 1.03$. La media de pH fue de 7.36 ± 1.28 , el valor mayor fue de 9.99 (en agua de superficie) y el menor de 6.0 (en agua de fondo) en la estación 3. La media de salinidad fue de 0.33 ± 0.025 UPS, la conductividad de 0.70 ± 0.4 mS m^{-1} y el redox fue en general siempre electropositivo (Tabla 1).

Las mayores concentraciones de PPB se obtuvieron en agua de superficie, siendo dos veces mayor que PPN en la desembocadura de las aguas semitratadas del Cerro de la Estrella ($134.20 \text{ mgC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) y en el embarcadero de Cuemanco ($1124.38 \text{ mgC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$), y este comportamiento se invierte en las demás estaciones. Los valores de PPN en el agua de fondo de las estaciones 4, 5 y 6 fueron mayores que en agua de superficie y en las estaciones 1, 2 y 3 el comportamiento fue inverso (Tabla 2). En lo que respecta a la respiración del ensamble fitoplanctónico, no se observó un patrón de comportamiento claro pero en general los valores más altos se encontraron en las botellas incubadas con agua de superficie.

El análisis de pigmentos fotosintéticos mostró que los valores de clorofila *a* como *b* activas fueron más bajos con respecto a los esperado para este tipo de ecosistemas. Los valores más altos de clorofila-*a*, se encontraron en la estación 4 (Laguna de la Virgen) en ambos estratos (21.9 mg m^{-3} en superficie y 23.7 mg m^{-3} en fondo) y los menores en las estaciones 1 (Cerro de la Estrella) y 2 (Embarcadero de Cuemanco), en superficie (1.8 mg m^{-3} y 3.1 mg m^{-3} respectivamente) y fondo (1.0 mg m^{-3} y 1.3 mg m^{-3} respectivamente) (Tabla 3). Los valores más altos de clorofila-*b* se presentaron en las aguas de superficie del embarcadero Cuemanco (1.1 mg m^{-3}), la Laguna Tlilac (1.1 mg m^{-3}), y la laguna la Virgen (1.5 mg m^{-3}).

Tabla 1. Variables ambientales en la zona de estudio. 1) Cerro de la Estrella, 2) embarcadero Cuemanco, 3) Laguna de Tlilac, 4) laguna la Virgen, 5) Frente al CIBAC, 6) Frente a las instalaciones de la marina. S) Superficie, F) Fondo.

Estación	Ubicación geográfica	Temperatura ambiente °C	Profundidad cm	Transparencia cm
1	N. 34°00'00'' E. 68° 54'22''	22°	220	75
2	N. 34°00'00'' E. 68°54'22.5''	23	80	45
3	N. 18°31'2'' E. 0.96°55'33.9''	20	80	32.5
4	N. 19.4°0'21.3' O.0.95°55.4'28.9''	24	100	35
5	N. 19° 22'0.34'' O. 53° 0.4'30.1''	21.5	100	30
6	N 19° 28'0.29'' O 53° 07'21''	22	80	35

Estación	Estrato	Temperatura °C	pH	Salinidad UPS	Conductividad mS cm ⁻¹	Eh mV
1	S	21.2°	7.02	0.31	0.645	646.7
	F	21.25°	6.97	0.32	0.649	-51
2	S	22.11	7.99	0.33	0.671	571
	F	21.32	7.38	0.33	0.684	639
3	S	21.1	9.99	0.37	0.7599	14.5
	F	20.92	8.4	0.36	0.739	-188.5
4	S	23.55	8.47	0.34	0.703	313
	F	21.75	7.23	0.34	0.707	372
5	S	23.01	7.7	0.33	0.745	285
	F	22.45	5.97	0.33	0.728	296
6	S	23.77	5.64	0.31	0.677	31.4
	F	23.17	5.63	0.27	0.678	27.4

Las menores concentraciones de clorofila *c1* se encontraron en la estación 4 ubicada en la Laguna de la Virgen en superficie (2.1 mg m⁻³) y fondo (2.4 mg m⁻³) y en el agua de superficie de la estación 2 del embarcadero Cuemanco (1.2 mg m⁻³).

El análisis multivariado de correspondencia ($r= \leq 7$) de los parámetros físico-químicos y de la PPB,

PPN y R para agua de superficie y de fondo, evidenció que los parámetros que tiene una mayor influencia sobre la PPB y PPN fueron la turbidez y las concentraciones de N-NO₃⁻, el P-PO₄²⁻, en ambos estratos (Tabla 4). En menor grado, pero no por esos menos importante, el PT, COT y la temperatura. La

Tabla 2. Variación de la producción primaria bruta (Pb), neta (Pn) y de la respiración (R), en las diferentes estaciones y biotopos estudiados: agua de superficie (s) y agua de fondo (f). Expresadas en $\text{mgC m}^{-3} \text{h}^{-1}$.

Número de estación	Nombre de la estación	Estrato	PPB	PPN	R	Biomasa primaria (mgCl-a.m^{-3})
1	Cerro de la Estrella	S	134.20	60.68	88.21	90
		F	90.05	57.14	39.49	50
2	Embarcadero Cuemanco	S	124.38	73.78	60.72	155
		F	95.54	35.03	72.61	65
3	Laguna Tlilac	S	239.74	199.04	48.83	500
		F	172.50	176.04	4.24	295
4	Laguna La Virgen	S	126.50	130.04	4.24	1095
		F	171.62	152.16	23.35	1185
5	Frente al CIBAC	S	168.08	196.39	33.97	215
		F	220.27	206.12	16.98	360
6	Frente a las instalaciones de la marina	S	68.11	62.81	6.36	200
		F	127.39	106.15	25.47	355

Tabla 3. Variación de las concentraciones de clorofila a, b y c1 expresada en mg.m^{-3} en cada estación muestreada: agua de superficie (S) y fondo (F).

Número de Estación	Nombre de la Estación	Biotopo	Clorofila-a	Clorofila-b	Clorofila-c1
1	Cerro de la Estrella	S	1.8	0.6	0.9
		F	1.0	0.2	0.3
2	Embarcadero Cuemanco	S	3.1	1.1	1.2
		F	1.3	0.9	0.1
3	Laguna Tlilac	S	10.0	1.1	1.0
		F	5.9	0.9	0.6
4	Laguna La Virgen	S	21.9	1.5	2.1
		F	23.7	1.7	2.4
5	Frente al CIBAC	S	4.3	0.6	0.5
		F	7.2	0.7	0.6
6	Frente a las instalaciones de la Marina	S	4.0	0.4	0.3
		F	7.1	0.7	0.5

Tabla 4. Variación de nutrientes en las diferentes estaciones de muestreo y biotopos estudiados: agua de superficie (S) y agua de fondo (F); fósforo total (PT), carbono orgánico total (COT).

Número de Estación	Nombre de la Estación	Biotopo	N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	P-PO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	PT (mg L ⁻¹)	COT (mg L ⁻¹)
1	Cerro de la Estrella	S	7.4	0.33	0.44	9.1	8.8	214
		F	6	0.37	0.62	8.2	8.7	256
2	Embarcadero Cuernavaca	S	3.2	0.7	0.97	8.1	3	63
		F	3.6	0.21	0.92	8.7	10.4	213
3	Laguna Tlilac	S	1.4	2.12	0.42	5.2	14.8	26
		F	1.1	1.4	0.43	6.4	20.6	19
4	Laguna La Virgen	S	1.6	0.9	0.65	7	34	32
		F	1.8	0.6	0.57	8.1	33	26
5	Frente al CIBAC	S	2.2	0.74	0.42	9.8	5.2	22
		F	2.5	0.88	0.5	10	5.3	7
6	Frente a las instalaciones de la Marina	S	1.6	0.83	0.3	8.2	5.4	18
		F	1.5	0.72	0.37	7.7	5.9	23

Tabla 5. Correlación canónica de los parámetros físico-químicos obtenidos durante el muestreo vs producción bruta, producción neta y respiración en agua de superficie (S) y fondo (F).

	Producción Bruta		Producción Neta		Respiración	
	S	F	S	F	S	F
N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	0.7	0.79	0.72	0.81	0.52	0.51
N-NO ₂ (mg L ⁻¹)	0.35	0.41	0.43	0.39	0.32	0.32
N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	0.53	0.31	0.65	0.27	0.64	0.56
P-PO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	0.81	0.93	0.86	0.89	0.67	0.98
Fosforo Total (mg L ⁻¹)	0.76	0.76	0.69	0.69	0.65	0.61
COT (mg L ⁻¹)	0.69	0.74	0.62	0.69	0.59	0.72
Salinidad (USP)	0.21	0.02	0.11	0.13	0.09	0.03
pH	0.33	0.43	0.28	0.31	0.16	0.54
Conductividad (mS m ⁻¹)	0.42	0.57	0.33	0.44	0.31	0.51
Eh (mV)	0.08	0.59	0.12	0.67	0.14	0.71
Temperatura (°C)	0.67	0.71	0.69	0.65	0.21	0.67
Turbidez (cm)	0.74	0.89	0.79	0.91	0.11	0.52

respiración mostró una alta correlación con el $P-PO_4^{2-}$ ($r=0.98$), y en menor grado con el COT ($r=0.72$) y el Eh ($r=0.71$), en agua de fondo (Tabla 5).

Se evidenciaron diferencias entre PPB, PPN y R entre las aguas de superficie y de fondo algunas veces mayores al 100%. Solo en el agua de fondo del embarcadero Cuemanco y en el agua de superficie de la estación de muestreo Cerro de la Estrella se observó predominancia de la respiración sobre la PPN. La variación de la biomasa fitoplanctónica fue alta (422%) con un valor medio alto ($380.42 \text{ mgC Cl-a.m}^{-3}$), con un valor mínimo de $50 \text{ mgC Cl-a.m}^{-3}$ correspondiente al agua de fondo de la estación Cerro de la Estrella y un valor máximo de $1185 \text{ mgC Cl-a.m}^{-3}$ del agua de fondo de la laguna La Virgen (Tabla 3).

DISCUSIÓN

En los resultados de los análisis de las variables físico-químicas, no se observa una diferencia significativa entre las aguas de superficie y fondo, debido a la poca profundidad que existe en los canales, como lo indica Oliva et al. (2008) quienes mencionan que una característica de los lagos someros es que la columna de agua se mezcla frecuentemente por la acción del viento, la actividad pesquera y ecoturística, de tal manera los canales del lago de Xochimilco puede considerarse típicamente polimícticos, debido a que la acción del viento provoca la mezcla de la columna de agua, alterando su estabilidad e impidiendo la limitación de nutrientes, lo cual puede favorecer el crecimiento de microalgas con baja tasa de sedimentación y altas tasas de crecimiento.

A pesar de que el pH es un factor limitante en este tipo de ecosistemas, no se obtuvo ninguna correlación con la PPN, debido a que en aguas duras, como las de Xochimilco, la presencia de carbonatos ejerce un efecto amortiguador, permitiendo que la concentración de hidrogeniones permanezca relativamente estable como han sugerido Quiroz-Flores et al. (2008).

Debido a que la producción primaria de un ecosistema acuático depende de los organismos

fotosintéticos, es indispensable que este parámetro sea considerado para la evaluación del potencial sustentable del mismo. Los resultados de producción primaria neta obtenidos fueron semejantes a los valores reportados para lagunas colombianas y lagos de tierras bajas brasileñas (Montoya y Aguirre 2010), estos autores también reportaron que existe una relación significativa entre la PPN y PPB con el nivel del agua, la transparencia Secchi y temperatura del agua, lo cual concuerda con los datos obtenidos en análisis multivariado de correspondencia realizado en esta investigación (Tabla 5). Los valores relativamente bajos de nitrógeno ($2.83 \pm 1.98 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ y $0.55 \pm 0.21 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-H}_4^+$) y los altos valores de PT ($12.93 \pm 10.76 \text{ mg L}^{-1}$) (Tabla 4), sugieren que la PP de esta zona está limitada por el nitrógeno. La actividad fotosintética es baja como lo indican los valores de clorofilas que fueron $< 23 \text{ mg m}^{-3}$. Los resultados de las pruebas de correlación canónica confirmaron que la PP y la R están limitados por N-NH_4^+ , N-NO_3^- , y el P-PO_4^{2-} y que estas actividades en agua de fondo podrían estar limitadas por el Eh y la materia orgánica suspendida, como ha sido reportado por González et al. (2004).

De los nutrientes inorgánicos analizados el ortofosfato es que mostró una correlación altamente significativa con la producción primaria bruta y neta, tanto en agua de superficie ($r=0.81$ y 0.93) como de fondo ($r=0.93$ y 0.89), al igual que para la respiración en agua de fondo ($r=0.98$); esta última actividad se vio claramente relacionada con el Eh ($r=0.72$) y la temperatura ($r=0.71$), en agua de fondo.

González et al. (2004), reportaron que la combinación de la temperatura y los nutrientes inorgánicos generan una elevada biomasa que conlleva a una alta producción primaria y con esto es posible obtener altas tasas respiración ya que un aumento en la temperatura eleva la tasa metabólica de los organismos. La correlación observada entre la turbidez, la PPN y PPB puede deberse a que la turbidez limita la producción primaria debido a un ambiente lumínico pobre.

Por otra parte, la biomasa expresada en concentración de clorofila es un estimador útil y simple de la densidad del fitoplancton y ha sido ampliamente utilizado en los modelos como el

parámetro más pertinente para predecir la densidad de algas en lagos. En ocasiones, la respuesta trófica de los lagos no es la esperada y las causas pueden ser diversas, como es el caso de los gastos biológicos que pueden modificar el contenido de los nutrientes y por lo tanto la respuesta trófica (Salas 2001). Con respecto a los datos obtenidos de *Cl-a* ($0.007 \pm 0.008 \mu\text{g L}^{-1}$), se puede considerar que en esta temporada del año el estado trófico de los canales fue mesotrófico, de acuerdo a los valores límites de la Organización, Cooperación y Desarrollo Económico de las Aguas Interiores (OECD) (Ledezma et al. 2013).

Las concentraciones de clorofila-*a* encontradas se pudieron deber a que, como reportó Bayley en 1995, en la temporada de secas existe una mayor mineralización de los nutrientes orgánicos, dando como consecuencia una baja presencia de clorofilas y por lo tanto una baja tasa de producción primaria.

A través de un diagrama de caja y bigote (Fig.2), se pudo comprobar que debido a la baja profundidad de la columna de agua no existe ninguna diferencia

significativa entre la PPB, PPN y la biomasa primaria en agua de superficie y de fondo. En general, en los canales se encontró dominancia de cianobacterias y clorofitas, no obstante en la estación 4, Laguna de la Virgen, se detectó la presencia de dinoflagelados. Los resultados coinciden con los florecimientos de cianobacterias observados en este ecosistema por otros autores y que pueden llegar a ser potencialmente tóxicas, como es el caso del género *Microcystis* (Pineda-Mendoza et al. 2011; Oliva-Martínez et al. 2014).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede afirmar que la producción primaria y la concentración de clorofila-*a* son buenos indicadores del grado de eutrofización en este ecosistema.

A pesar de lo reportado por otros autores (Rocha-Ramírez et al. 2014), en la época de año muestreada los canales de la zona chinampera de

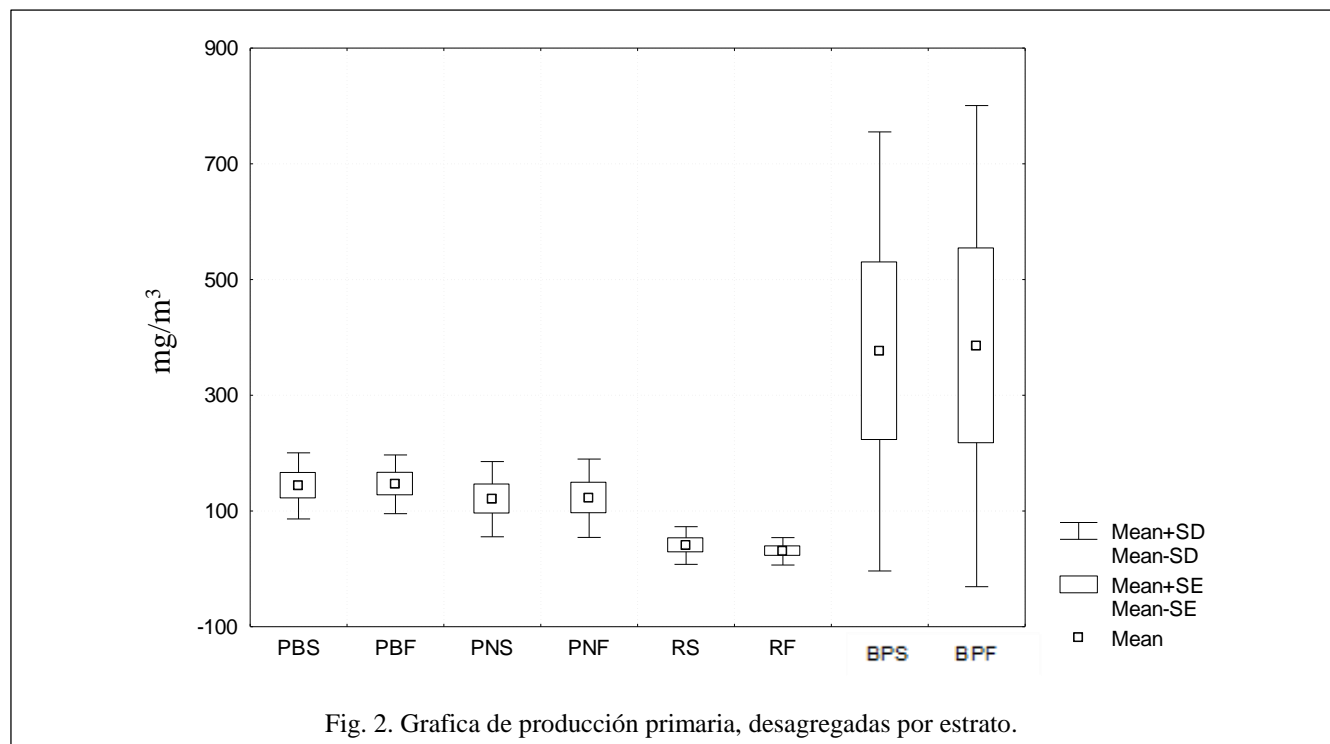


Fig. 2. Grafica de producción primaria, desagregadas por estrato.

Xochimilco se encontraron en un estado mesotrófico homogéneo debido a su poca profundidad.

AGRADECIMIENTOS

A la licenciatura en Biología que nos permitió a través de la investigación modular obtener todos los recursos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

A la doctora María Jesús Ferrara Guerrero y al doctor José Roberto Ángeles Vázquez, docentes del Modulo de Carrera Ciclos Biogeoquímicos, por el apoyo y asesoría brindados durante la realización del presente trabajo y al grupo del módulo Ciclos Biogeoquímicos 13P por el apoyo brindado en campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva-Martínez AF, MM Benítez-Díaz, L Bojórquez-Castro, FA Cabeza de Vaca-Inclán, ME Castellanos-Páez, HJ Cuenca-Munguía, I Del Río-Camacho, A Esquivel-Herrera, MJ Ferrara-Guerrero, MG Figueroa-Torres, G Garza-Mouriño, M López-Hernández, L Miranda-Tello, V Moran-Villa, CC Moreno-Álvarez, TP Páez-Ramírez, G Ramos-Espinosa, R Soto-Castor. 2005. Proyecto para la identificación participativa de un plan de rehabilitación integral del patrimonio cultural de Xochimilco. UNESCO. Distrito Federal, México.pp.9.
- Barreiro-Güemes MT, M Signoret-Poillon. 1999. Productividad primaria en sistemas acuáticos costeros. Métodos de evaluación. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana. Sección de producción Editorial. México, D.F. 81 p.
- Bayley PB. 1995 Understanding large river: Floodplain ecosystems. *BioScience, Ecology of large rivers* 45(3): 153-158.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. Compendio del agua de la región hidrológica-administrativa XIII. Lo que se debe saber del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 190 p. http://centro.paot.org.mx/documentos/conagua/compendio_del_agua_.pdf
- Esteves F. 1998. Fundamentos de limnología. 2ª ed. Ed. Interciencia. Sao Paulo, Brasil 409 p.
- González E J, M Ortaz, C Peñaherrera, ML Matos. 2004. Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): Abundancia, biomasa y producción primaria. *Interciencia* 29(10): 548-555.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía e Informática). 2008. Cuaderno estadístico Delegacional de Xochimilco, Aspectos geográficos, clima. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/info/df/m013/mapas.pdf>
- Jeffrey SW, GF Humphrey. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1, and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzn. (BPP)* 167: 191-194.
- Ledezma C, M Bonansea, CM Rodriguez, AR Sánchez Delgado. 2013. Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista ciencia Agronómica.* 44(3):419-425.
- López Hernández M, G Ramos Espinoza, G Figueroa Torres, A Flores Macías y OT Lind. 2010. Efecto de agua tratada sobre la biomasa del perifiton de dos sitios del área lacustre de Xochimilco utilizando un microcosmos artificial. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.* 10 (19): 39-61.
- Moreno FDP, MJ Quintero, CA López. 2010. Método para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Reporte de Servicio Social. Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F. 27 p.
- Montoya Y, N Aguirre. 2010. Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un lago tropical (ciénaga Escobillitas) a lo largo del pulso de inundación. Medellín, Colombia. 85 p.
- Oliva Martínez MA, A Rodríguez Rocha, A Lugo Vázquez, MR Sánchez Rodríguez. 2008. Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica* 18 (1): 1-13.
- Pielou, E. C. (1984). The interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination. John Wiley & Sons.
- Pineda-Mendoza R, F Martínez-Jerónimo, G Garduño-Solórzano, R Olvera-Ramírez. 2011. Caracterización morfológica y molecular de cianobacterias filamentosas aisladas de

- florecimientos de tres lagos urbanos eutróficos de la ciudad de México. *Polibotánica* (31):31-50.
- Pinilla AGA. 2009. Producción primaria en un lago de aguas claras de la amazonía Colombiana (lago Boa). *Acta Biológica Colombiana* 14(2): 21-30
- Quiroz-Flores A, GM Miranda-Arce, A Lot-Helgueras. 2008. Estudio comparativo de algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de Xochimilco con y sin *Eichhornia Crassipes* (Martius) Solms-Laubach. *Polibotánica* 25: 127-133.
- Rocha-Ramírez A, E Robles-Valderrama, E. Ramírez-Flores. 2014. Invasive alien species water hyacinth *Eichhornia crassipes* as abode for macroinvertebrates in hypertrophic Ramsar Site, Lake Xochimilco, Mexico. *Journal of Environmental Biology* 35; 1071-1080.
- Roldán GE, JJ Ramírez. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. 2a ed. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín. 268 p.
- Romero RJ. 2009. Calidad del agua. 3ª ed. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. Colombia. pp. 173-175.
- Salas HJ, P Martino. 2001. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima, Perú. 60 p.