



HACIA LA TRANSDISCIPLINA Y LA SUSTENTABILIDAD EN LA SUBCUENCA DE XOCHIMILCO Y SUS AFLUENTES

NÚMERO ESPECIAL No. 5. AÑO 7. No. 14. JUNIO A DICIEMBRE DE 2017.



TRANSDISCIPLINA Y SUSTENTABILIDAD: SUBCUENCA DE XOCHIMILCO Y SUS AFLUENTES

Recibido: 01 de junio de 2017

Aceptado: 01 de septiembre de 2017

Publicado: 15 de diciembre de 2017



Autoridades institucionales

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Xochimilco

Dra. Patricia Emilia Alfaro Moctezuma

Rectora

Mtro. Rafael Díaz García

Director de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud.

M. en SIG Gilberto Sven Binnqüist Cervantes

Jefe del Departamento El Hombre y su Ambiente

Universidad Autónoma Metropolitana

ISSN 2007-5782

Edición 2017

Derechos reservados

Comité editorial

María Guadalupe Figueroa Torres

Suny Ramírez Figueroa

María Jesús Ferrara Guerrero

Jorge Castro Mejía

Este trabajo fue realizada con el apoyo de la Universidad Autónoma Metropolitana
unidad Xochimilco y de Atzin A.C. (Acción para la Sustentabilidad del Territorio).

El contenido de esta publicación es responsabilidad de sus autores.

Fotografía de la portada: Reconstrucción de una chinampa

Autor: Gualadupe Figueroa



Contenido

Prólogo	5
Introducción	9
Riqueza biológica y gastronomía chinampera en la Cuenca del lago de Xochimilco-Chalco Ortega Olivares M.	11
Contribución de las bacterias heterótrofas al enriquecimiento con carbono orgánico del agua y los sedimentos de la zona chinampera del Lago de Xochimilco. Reyes-Arroyo NE, Ángeles-Vázquez JR, Figueroa-Torres MG, Alcántara-Azuara AK, Vargas-Solís RC y Ferrara-Guerrero, MJ.	31
Crecimiento poblacional y tasa de ingestión y filtración de <i>Daphnia pulex</i> (Müller, 1785), mediante el suministro de una dieta mixta de <i>Scenedesmus</i> sp y <i>Chlorella</i> sp González-Rentería M, Bustamante-González JD, Albarrán-Hernández MP y González-Velasco J.	53
Evaluación de las condiciones del agua tratada que abastece los canales de Xochimilco y de la función de un humedal artificial, asociados al desarrollo del alga <i>Selenastrum capricornutum</i> Printz Ramos-Espinosa MG, López-Hernández M, Reboul-Salze F y Figueroa-Torres MG.	63



- Energía, bioquímica y composición ecológica de la cianoprocarionta *Anabaenopsis elenkinii* V. V. Miller en la pista olímpica de remo y canotaje “Virgilio Uribe”, Cuernavaca, Xochimilco, CDMX** 79
Moreno-Ruiz, JL, Figueroa-Torres, MG, Licea S, Chávez-García MG,
Domínguez-Velázquez ZY, García-Ruiz V, Hernández Juárez LA y Romero Serralde J.
- Diagnóstico fitopatológico en jitomate bola (*Solanum lycopersicum* L.) y chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) de invernadero, en las Ánimas, Xochimilco** 99
Jiménez-Salado R, Menor-González JF, Moreno-García CM,
Pacheco-Sánchez DB, Vázquez-Cardona H y Jiménez-Castañeda V.
- Diagnóstico Fitopatológico del durazno *Prunus persica* (L.) Batsch, en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC)** 107
Aguilera-Meza LR, Nava-Quintana AP, Carlos-Melquiades P,
Pérez-Montes AD, Tintor-Orozco MI, Jiménez-Castañeda V.
- Sistema rústico de biodigestión, una alternativa para el control y aprovechamiento de especies exóticas invasoras en Xochimilco.** 113
Chávez-Valadez JA, Ayala-Pérez LA, Figueroa-Torres, MG.
- La UAM-Xochimilco como promotor de integración social en comunidades vulnerables con discapacidad mental** 125
Arienti-Villegas M.



PRÓLOGO

En este trabajo se presentan investigaciones realizadas por académicos de varias Divisiones y Departamentos de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco que abordan temas relacionados con la Cuenca de Xochimilco y sus afluentes, con el fin de incidir en su conocimiento, rescate y conservación desde varias disciplinas: biológica, ambiental, económica, social y cultural, entre otras.

Se presentan nueve artículos; en primer término se tiene el trabajo del doctor M. Ortega, titulado: “Riqueza biológica y gastronomía chinampera en la cuenca del lago de Xochimilco-Chalco”, en éste, el autor recupera información sobre diversas especies que han habitado la Cuenca basándose en fuentes etnohistóricas y etnográficas. De igual forma habla de la riqueza chinampera que sustenta la gastronomía de la zona y advierte la acelerada destrucción del ambiente de la Cuenca debido a la expansión urbana y a la extracción irracional del agua de los mantos freáticos para abastecer a la Ciudad de México. También señala que si no se toman las medidas de protección necesarias a la brevedad, estas acciones ocasionarán la extinción de las especies endémicas en vida silvestre, entre las que se encuentra el ajolote.

Por su parte, MJ. Ferrara y col. explican en el texto “Contribución de las bacterias

heterótrofas al enriquecimiento con carbono orgánico del agua y los sedimentos de la zona chinampera del lago de Xochimilco” que la biomasa bacteriana es un componente funcional de la microbiota de la columna de agua y de los sedimentos. Señalan su papel como fuente de nutrientes ya que contribuye al incremento de carbono orgánico en estos biotopos. Muestran la influencia de las variables físicas y químicas sobre la producción de biomasa bacteriana en la zona chinampera del lago de Xochimilco y refieren que las zonas conurbadas y de vertimiento de aguas negras y grises provocan su incremento; se observa entonces, que el volumen celular puede ser un buen indicador de la transferencia de carbono a través del asa microbiana.

M. González y col. en su trabajo “Crecimiento poblacional y tasa de ingestión y de filtración de *Daphnia pulex* (Müller, 1785), mediante el suministro de una dieta mixta de *Scenedesmus* sp. y *Chlorella* sp.” explican que los organismos del género *Daphnia* al igual que otros miembros del zooplancton, desempeñan un papel muy importante en la transferencia de materia y energía dentro de los ecosistemas acuáticos y representan un buen modelo biológico para este tipo de estudios ya que son filtradores y experimentan variaciones en lapsos de



tiempo relativamente cortos en función de la disponibilidad y calidad de los alimentos.

En el trabajo “Evaluación de las condiciones del agua tratada que abastece los canales de Xochimilco y de la función de un humedal artificial, asociados al desarrollo del alga *Selenastrum capricornutum* Printz”; MG. Ramos y col. parten de que el agua de los canales de Xochimilco es utilizada para actividades agrícolas, ganaderas, pesqueras y de turismo; y que el nivel de dicha agua es mantenido mediante el abastecimiento de agua tratada proveniente de las Plantas de Tratamiento Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemalco. En este estudio, se analizó la calidad del agua obtenida directamente del afluente de ambas plantas tratadoras y se comparó con la de un canal secundario de Xochimilco, para evaluar su función como humedal, considerando la entrada y la salida del agua. Se usaron como indicadores parámetros químicos y el crecimiento poblacional del alga *Selenastrum capricornutum* Printz. Se observó que el canal secundario sí funcionó como humedal, mejorando la calidad del agua de las plantas de tratamiento. La condición eutrófica-hipereutrófica, la concentración de metales pesados en los sitios estudiados y el bioensayo, indican que la calidad del agua debe ser mejorada.

Otro trabajo por demás interesante, es el de “Energía, bioquímica y composición ecológica de la cianoprocarionta *Anabaenopsis elenkinii* V. V. Miller en la pista olímpica de remo y canotaje Virgilio Uribe, Cuemanco, Xochimilco, CDMX”; aquí JL. Moreno y col. exponen que la Cuenca de Xochimilco y sus afluentes es una región de gran importancia biológica, social y económica. En esta zona la cianoprocarionta *Anabaenopsis elenkinii* es un importante productor primario, por lo que se planteó conocer la cantidad de energía que transfiere en la cadena alimenticia. Para este propósito se recolectaron muestras de agua en cinco sitios de la pista olímpica, se obtuvo la abundancia relativa, la biomasa y la cantidad de calorías de esta especie; además, se evaluó su composición ecológica utilizando 35 valores indicadores, que permitieron determinar una moderada calidad del agua en la zona estudiada. En el trabajo se concluye que la presencia de esta especie es importante para el ecosistema por su abundancia y producción de energía, es un buen indicador ecológico, y dada su capacidad de ser potencialmente tóxica, es necesario estar alerta de su crecimiento y distribución, por esto último, se debe dar seguimiento a sus consumidores para evaluar la transferencia de materia y energía, y prevenir daños a la salud.



En el artículo titulado “Diagnóstico fitopatológico en jitomate bola (*Solanum lycopersicum* L.) y chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) de invernadero, en Las Ánimas, Xochimilco” R. Jiménez y col. destacan que la producción de hortalizas en México, ha tenido una alta demanda en las últimas dos décadas, en particular las dos especies antes mencionadas. Estos cultivos en condiciones de invernadero suelen ser más rentables; sin embargo, son más susceptibles a la invasión de hongos y bacterias fitopatógenos. Por lo anterior, el objetivo del estudio, fue identificar los agentes causales de las principales enfermedades presentes en los cultivos, así como determinar su incidencia y severidad, en el predio “Las Ánimas”. Además se determinó la relación entre los síntomas y la presencia de los agentes fitopatógenos de ambos cultivos y se estimó la incidencia y severidad de la enfermedad. Se observó que la presencia de agentes fitopatógenos en el cultivo de jitomate bola fue mayor en comparación con la de chile manzano, con porcentajes de incidencia de 90% y 11.71% respectivamente. Los valores estimados de severidad en ambos cultivos fueron semejantes, donde la mayoría de las plantas afectadas se encontraban en el nivel 1 (de severidad ligera).

En el trabajo “Diagnóstico fitopatológico de durazno *Prunus persica* (L.) Batsch, en el centro de investigaciones biológicas y acuícolas de cuemanco (CIBAC)” LR. Aguilera y col. plantean que el consumo de durazno en México ha aumentado. Sin embargo, el árbol de durazno es afectado por múltiples enfermedades causadas por hongos; algunas de las cuales pueden ser destructivas provocando pérdidas económicas importantes, como las producidas por el *Oidium* o Mildiú polvoriento. El objetivo de esta investigación consistió en identificar los hongos fitopatógenos así como conocer su incidencia y severidad en el durazno *Prunus persica* (L.) Batsch, variedad diamante en el CIBAC, de la UAM Xochimilco. Se identificaron tres diferentes géneros de hongos (*Alternaria* sp., *Cladosporium* sp. y *Colletotrichum* sp.) y se obtuvo que la incidencia fue del 100% y la severidad del daño del 47% en los árboles, es decir, presentaron daño medio.

En la investigación titulada “Sistema rústico de biodigestión, una alternativa para el control y aprovechamiento de especies exóticas invasoras en xochimilco” JA. Chávez y col. explican cómo los peces exóticos invasores han resultado ser una de las prin-



cipales causas de pérdida de biodiversidad en los ecosistemas de agua dulce, tal es el caso de las tilapias *Oreochromis niloticus* y *O. mossambicus*, que fueron introducidas en los canales de Xochimilco y se han convertido en un factor de presión ecológica, económica y social. Sus poblaciones han crecido desproporcionadamente, lo que ha provocado efectos adversos sobre especies nativas, propiciando cambios ecológicos importantes en dichos canales, por lo que el objetivo de este trabajo consistió en diseñar e implementar un sistema de biodigestión para la generación de biogás y biofertilizante, utilizando tilapia como fuente de materia orgánica.

Finalmente, se presenta el trabajo de M. Arienti titulado “la UAM-Xochimilco como promotor de integración social en comunidades vulnerables con discapacidad mental” en el cual, la autora analiza la situación actual de la población humana con alguna discapacidad en México, así como su problemática de integración social, en especial, para lograr una vida digna, independiente y sin discriminación. La autora presenta una propuesta de intervención concreta en la población estudiantil de la asociación Centro de Tareas A.C., por parte de los estudiantes y maestros de la UAM-Xochimilco, a través de un convenio de colaboración, para mejorar la calidad de vida y la integración social y laboral de esta comunidad vulnerable,

señalando la posibilidad de realizar actividades motivacionales y terapéuticas para este sector, en la zona chinampera, debido a sus características paisajísticas relajantes y a su potencial para el desarrollo de habilidades y destrezas.

Félix Venancio González

Atzin: Acción para la Sustentabilidad del Territorio A.C.



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de un conjunto de productos encaminados al conocimiento de las características socioambientales de la cuenca de Xochimilco y sus afluentes así como de la detección de problemas y posibles soluciones para su mejor funcionamiento. Un aspecto muy importante de este documento consiste en tratar de reunir información acerca de las características de la Cuenca, así como de los procesos y actores que inciden en ella, con la finalidad de ir construyendo un tejido o entramado de relaciones que permitan tener una visión de conjunto sobre lo que sucede en términos de causa y efecto mediante sistemas complejos. La mayoría de los recursos naturales útiles para el hombre son agotables, pues en la actualidad no les damos el tiempo para recuperarse exitosamente o desequilibramos sus procesos “cíclicos” volviéndolos “lineales” a través de la destrucción, contaminación, invasión y sobreexplotación de los ecosistemas, provocando la pérdida de la diversidad de genes, de especies y de ecosistemas; y propiciado el desarrollo de plagas y enfermedades; ésto aunado a la pérdida de la cultura, de la identidad y de los valores.

Algunas actividades derivadas del conocimiento científico así como muchas otras realizadas por integrantes los pueblos originarios,

actores políticos y miembros de la sociedad en su conjunto están enfocadas a conservar o a remediar algunos de estos problemas. Gracias a ello se han desarrollado soluciones basadas en ecotecnologías, cuya finalidad es facilitar la vida del hombre permitiéndole el uso de los recursos naturales sin agotarlos o contribuyendo a su recuperación.

Con estas consideraciones, es conveniente reflexionar acerca de la manera en que los factores socioambientales inciden en el funcionamiento de la Cuenca y cómo se puede restablecer la funcionalidad de la misma no sólo desde lo biológico, como lo plantean algunos investigadores, sino en combinación con lo social; ya que el mal manejo de los recursos que hace el hombre ha llevado a la pérdida y degradación de los mismos. En esta lógica, es necesario conocer la naturaleza, evaluar sus cambios, ubicar las alteraciones, desarrollar mecanismos para resarcir los daños y generar cambios sociales de conducta para poderla conservar y poder vivir en armonía con ella.

Por lo anterior, esta obra intenta ser un eslabón que reúna elementos para la reconstrucción de una Cuenca saludable.

M. en C. María Guadalupe Figueroa Torres

RIQUEZA BIOLÓGICA Y GASTRONOMÍA CHINAMPERA EN LA CUENCA DEL LAGO DE XOCHIMILCO-CHALCO

Ortega Olivares M.

Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Departamento de Relaciones Sociales. Calzada del Hueso No. 1100. Col. Villa Quietud. México, 04960, Ciudad de México. Del. Coyoacán. Tel. 5483 7090. Email: ortegaoli@gmail.com

RESUMEN

Este artículo recupera la información sobre la riqueza biológica de la cuenca de Xochimilco-Chalco a partir de fuentes etnohistóricas y etnográficas. Así como de la cosecha chinampera que sustenta la gastronomía nahua y mestiza local. A fin de apoyar los esfuerzos de su preservación. Esta cuenca sufre una acelerada destrucción de su ambiente, ante la expansión urbana y el secuestro del agua de sus manantiales para abastecer a la Ciudad de México. Por esa razón el ajolote, *axolote* o *Ambystoma mexicanum* se encuentra amenazado, mientras que especies han desaparecido como la *Evarra tlahuacensis* o carpa de Tláhuac.

Palabras clave: Nahuas, lacustre, chinampas, ictiofauna, Anatidae.

ABSTRACT

This article compiles information regarding the rich biological diversity of the Xochimilco-Chalco lake basin gathered from ethnohis-

torical and ethnographical sources, as well as information on Nahua culinary habits gleaned from the record of *chinampera* harvests, in the hope that such information can support preservation efforts. This basin is experiencing an accelerated process of environmental destruction owing to urban sprawl and the extraction of its spring waters to supplement Mexico City's water needs, practices that are threatening the survival of native species such as the axolotl, or have already led to their extinction such as the *Evarra tlahuacensis*.

Key words: Nahuas, lacustrine, *chinampas*, Ichthyofauna, Anatidae.

INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México sufre frecuentes inundaciones a pesar de contar con el desagüe del drenaje profundo, porque no está edificada en un valle sino sobre una cuenca, cuyo piso estaba en el fondo del mar (aunque el suelo donde actualmente nos asentamos corresponde a la era



Cenozoica). Como la Cuenca de México descansa sobre el *Cinturón Volcánico Transmexicano*, ésta ha sufrido diversas erupciones durante siete periodos de actividad geológica. En estas tierras los volcanes descansan sobre otros volcanes, pues casi todos los cerros, montes y colinas que circundan la Cuenca son volcanes apagados. Al emerger la sierra del *Chichinautzin* las aguas quedaron represadas, formando un sistema lacustre de entre ochocientos y mil kilómetros cuadrados de superficie, de poca profundidad (Espinoza 1996: 31-33) pero muy abundante en vida vegetal y animal.

Antes de la conquista española en la Cuenca de México, el riego dependía de las monumentales obras hidráulicas realizadas por los naturales al separar los lagos dulces de los salados (Palerm y Wolf 1972: 9), lo que protegía a un peculiar y productivo sistema de cultivo hidropónico conocido como chinampas. Aunque en la cuenca existía un sólo sistema lacustre, podían distinguirse varios lagos: el de *Xochimilco*, el de *Tezcoco*, el de *Chalco*, el de *Xaltocan* y el de *Zumpango*. Son de nuestro interés los lagos de *Chalco* y *Xochimilco*, porque en la orilla norte de lago de *Xochimilco* se ubicaba *Tzapotitlan*, pueblo de origen nahua —hoy urbanizado— donde realicé la investigación de campo de mi tesis doctoral en antropología social (Ortega 2006). A estos dos lagos los dividía un dique-calzada que unía a la isla de

Cuitláhuac con la sierra de Santa Catarina por un lado, y con el cerro *Teutli* por el otro. En el lago de Chalco, desde la fase arqueológica *Ayotla* ya se cultivaban franjas lacustres en sus aguas poco profundas, como lo muestran las hortalizas fósiles de chinampas encontradas por Tolstoy en *Terremote-Tlaltenco* (Niederberger 1987: 672). A lo largo del texto se muestra la exuberante riqueza biológica de esta cuenca, hoy patrimonio de la humanidad, pero que está sufriendo un ecocidio por la expansión de la megalópolis mexicana.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para redactar este artículo nos apoyamos en la técnica de investigación bibliográfica de fuentes etnohistóricas, donde consultamos a autores que conocieron *Xochimilco* tras la conquista. Así como en detalladas etnografías elaboradas por antropólogos contemporáneos. Además se realizó investigación de campo en el pueblo de Santiago *Tzapotitlan*, donde tuve la fortuna de poder recopilar historias en voz de los *huehuetzin* o venerables ancianitos sobre la vida lacustre, quienes cultivaron maíz en las chinampas antes de quedarse sin agua. Algunas bisabuelas me dijeron que no hablaban náhuatl, porque ya no podían salir de su casa para ir a platicar. Doña Tecla Ríos fue en *Tzapotitlan* una de las últimas hablantes del náhuatl o mexicano como le llamaban (Ortega 2004).



RESULTADOS

Las fuentes etnohistóricas y etnográficas describen una riqueza en vegetales, peces y aves en la Cuenca de Xochimilco, que de no tener el ecocidio urbano quedarán solo como datos registrados.

Civilización y cultivo en chinampas de la Cuenca de México

Todas las civilizaciones originarias han contado con sistemas de riego, como en los valles de los ríos Nilo, Tigris y Éufrates, del Indo y del Amarillo, lo mismo ocurrió en la Cuenca de México gracias a las magnas obras hidráulicas que separaban el agua dulce de la salada (Palerm y Wolf 1972: 9). *Tenochtitlan* en 1521 era el corazón del imperio *mexica*, se situaba sobre una isla en medio del sistema de lagos de la cuenca, con una superficie de entre ochocientos y mil kilómetros cuadrados, a una altura de 2,240 metros sobre el nivel del mar (Rojas 1998: 16). Aunque en la cuenca había un sólo sistema lacustre, se distinguían los lagos de *Xochimilco*, *Tezcoco*, *Chalco*, *Xaltocan* y *Zumpango*. El lago de nuestro interés se dividía en dos cuerpos, el de *Xochimilco* y el de *Chalco*. Separados por un dique-calzada que unía a la isla de *Cuitláhuac* con la sierra de Santa Catarina y con el cerro *Teutli* en sus dos extremos. Ambos eran de agua dulce, el lago de *Xochimilco* se nutría de numerosos manan-

tiales y el de *Chalco* recibía un caudal regular y permanente del deshielo de la Sierra Nevada (Palerm y Wolf 1972: 85). El lago de *Chalco* vertía sus aguas sobre el de *Xochimilco*, por ubicarse un poco más alto (Palerm 1973: 23). A su vez el lago de *Xochimilco* sobresalía tres metros por encima del lago salado de *Tezcoco*, obviamente vertía sus dulces aguas en él (Rojas 1998: 18). En época de lluvias, las aguas salitrosas de *Tezcoco* contaminaban a las de *Xochimilco* y *Chalco*, devastando la flora y la fauna lacustre (Espinoza 1996: 28). Por la importancia que tenía el lago para los chinamperos, *Chalchiuhtlicue* era venerada como la patrona del agua dulce al sur de la cuenca y *Huixtocihuatl* correspondía al lago salado. El agua salitrosa al secarse formaba costras de sal cristalina que combinadas con arcillas producían el *tequesquite*, un carbonato de sodio empleado para *nixtamalizar* la masa de maíz con la que se preparan las tortillas. Las grandes obras hidráulicas para controlar las aguas saladas en la Cuenca de México fueron un mérito de los tenochcas, pero la técnica ya había sido desarrollada por pueblos chinamperos de *Chalco* y *Xochimilco* (Palerm y Wolf 1972: 86). En el momento del violento contacto con los españoles, ya se ganaba terreno a los lagos. Se amontonaban céspedes con tierra y lodo sobre la laguna, para formar camellones con un ancho de tres o cuatro *varas* que sobresa-



lían del agua, mismos que se conocen como *chinampas*. Entre *chinampa* y *chinampa* se dejaba un *acalote*, acequia o camino de agua navegable con canoa (Palerm y Wolf 1972: 94). En su rico terreno orgánico crecían los almá-cigos del maíz y de ahí se trasplantaban para su crecimiento (Espinoza 1996: 331). La masa vegetal de las chinampas se fijaba al suelo del lago, gracias a las raíces del árbol *ahuejote*, como su follaje crece hacia arriba de mane-ra vertical, permite el paso de la luz solar (Espinoza 1996: 332). Los chinamperos vi-vían sobre las chinampas, para no perder tiempo desplazándose al lugar de sus labores (Espinoza 1996: 335-336). Teresa Rojas infor-ma que en las chinampas se cultivaba: maíz, jitomate, tomate verde, chile, calabaza, frijol, ejote, chíá, amaranto o *uauhtli*, chayote, chi-lacayote, flores de ornato, hierbas de olor y *quelites* (Rojas 1983: 183-185). Con los pro-ductos que se tributaban a la gran *Tenochtitlan*, se mantenía la vida urbana.

Tras la conquista española se incorporaron las siguientes hortalizas: pepino, coliflor, col, col de brucas, alcachofa, ajo, cebolla, espi-naca, acelga, cilantro, perejil, betabel, apio, nabo, rábano, poro, brócoli, zanahoria, salsifi, colinabo y otras. En cuanto a cereales pode-mos mencionar el trigo, la cebada y de las le-guminosas al chícharo o arvejón. En los cerros donde se cultivaban magueyes y nopales se in-

trodujo: haba, papa, lechuga, lenteja, garban-zo y cebada. En materia de flores se cultivaba: amapola, nube, chícharo, espuela de caballero, *cempasúchil*, alhelí, pincel, imperial, aretillo, nardo, pensamiento, alcatraz, dalia, violeta, crisantemo. Además de hierbas como la ruda, la hierbabuena, el romero, la albahaca, la man-zanilla y la hierbabuena. Armillas calcula que la productiva zona *chinampera* de los lagos de *Xochimilco* y *Chalco*, podía alimentar a cien mil personas (Armillas 1983: 175).

La cosecha acuática

Los lagos nutrían la vida en la cuenca de *Chalco* y *Xochimilco*, tal como lo explica Rojas:

La pesca, la caza de aves, la extracción de sal, la captura de tortugas, ranas, ajolotes, pequeños crustáceos, moluscos e insectos diversos y sus larvas, así como de algas y otras plantas acuáticas, contribuyeron al enriquecimiento de la dieta y de la subsistencia de los habitantes de la región desde tiempos muy remotos y hasta que los lagos y pantanos se fueron desecando y toda la región sufrió el grave deterioro ecológico que hoy experimenta (Rojas 1998: 15).

En los lagos abundaban tulares que alcan-zaba hasta cuatro metros de altura, especial-mente el *Typha latifolia* (Espinoza 1996: 99).



Gracias a Orozco y Berra se sabe que los lagos de *Xochimilco* y *Chalco* estaban cubiertos por vegetación flotante, que reducía las pérdidas por evaporación (Orozco y Berra 1864: 161 y 166). Según Niederberger la masa vegetal de plantas hidrófitas sumergidas y flotantes en los 117 kilómetros cuadrados de estos dos lagos, era al menos de 68 millones de metros cúbicos (Niederberger, 1987: 110). En los lagos crecían plantas flotantes, algunas enraizadas al fondo por algo así como un cordón umbilical. Entre ellas destacan las meniantáceas como *Nymphoides fallax* y las del género *Potamogeton* como alimento de los patos migratorios. De los vegetales que flotan libres, podemos hablar de briofitas, pteridofitas y diminutas fanerógamas como las lentejas de agua del género *Wolffia*. Según Espinoza la vegetación del lago era como una enorme *pastura*, lista para ser devorada por aves o animales pequeños como el *Axaxayacatl* (una mosca lacustre pequeña de cara blanca), cuya hueva es conocida como *Ahuahutli* (Espinoza 1996: 105). Francisco Hernández describe dicho alimento en el tomo III de su *Historia Natural de la Nueva España*:

Se saca del lago mexicano en gran cantidad cierta sustancia con sabor de pescado, llamada Ahuauhtli, parecida a la semilla de adormidera, y que son los huevos de Axayácatl,

del que ya hablamos antes. Se recoge echando en el lago, donde las aguas están más agitadas, cables del grueso del brazo o del muslo pero flojamente torcidos, y a los cuales, alborotado y removida se adhiere; lo arrancan de allí los pescadores y lo guardan en grandes vasijas. Hacen de él tortillas muy parecidas a las del maíz, o las bolas que llaman tamales en la lengua nacional, o dividido en porciones lo guardan envuelto en hojas de mazorca de maíz, para después, en su oportunidad, preparar con él alimentos cociéndolo o tostándolo. Tiene sabor de pescado o como a huevos de los peces mismos (Hernández 1959: 392).

Ictiofauna de los lagos

En las aguas de *Xochimilco* y *Chalco* antes del violento contacto con los españoles, se pescaba con fisga, red manual, caña de pesca y átlatl. La fisga o *minacachalli* era una lanza terminada en tres puntas y el átlatl se componía de un arpón y un lanzadardos. Los pescadores consumían el *Iztemichin* o pescado *Jordani jordani* y *Xohullin* o *jules* de la familia *Cyprinidae*. Gibson reporta que en *Cuicláhuac* durante el dominio español, había indígenas en la región, que se ocupaban exclusivamente a la pesca (Gibson 1967: 348). El pez *michpictli* se comía tostado y envuelto en hojas de mazorca; también el

michtlapictli o *metlapique* (*Girardinichtys innominatus*); el *michtlacetli* se tostaba en el comal. El *Michimolli* se preparaba con *charales*, *acociles* o camarones de chinampa, además de *pescaditas*, con chile *huajillo*, *epazote* y nopales (Rojas 1998: 108). Los *atepocates* o renacuajos, eran comidos por la gente común o *macehuales*, a diferencia del *axolotl* o *ajolote* considerado alimento de los grandes señores. Los españoles introdujeron las carpas, la mojarrita, la depredadora lobina negra y las truchas (Espinoza 1996: 115-116). Para preparar los *tlapiques* de carpa, esta última se envolvía en la hoja externa de la mazorca o *totomoxtli* con *huajillo*, tomate, cebolla, venas de chile, todo bien picado y con mucha sal, para asarla (Rojas 1998: 107). Todavía en 1953, en la laguna que ahora se llama Tláhuac, capturaban para su venta en la Ciudad de México a los siguientes peces: *Chirostoma humboldtianum* y unos pocos ejemplares de *Chirostoma regani* y *Chirostoma jordani*; además *Girardinichthys viviparus*. Así como la *Evarra tlahuacensis*, que como su nombre lo indica, era una especie de pez propio de la zona lacustre tlahuaca, que desapareció tras la desecación del lago. Espinoza descubre una interesante correlación fotoquímica entre el ciclo de fases de la Luna y el movimiento del *plancton* de los lagos hacia la superficie (Espinoza 1996: 115).

Lo que explicaría la importancia de la Luna entre las deidades mexicas vinculadas al agua y que es congruente con la correlación entre el calendario ritual, los ciclos lacustres y la llegada de las aves a la Cuenca durante el mes de *Teotleco*. El mismo mes en que se celebraba el rito propiciatorio del maíz.

No solamente el exacto fluir de los astros; no solamente el ciclo vital de los cultígenos más difundidos; no sólo la división del año por las lluvias y su ausencia [...] las criaturas del agua, en su devenir, también estructuraron el tiempo, el orden del universo, las relaciones entre el hombre y el resto del cosmos (Espinoza 1996: 343).

Ánades en los lagos

Los lagos eran muy ricos en diversidad biológica, tan sólo de aves acuáticas se han listado cien especies en la Cuenca. Todavía en 1955 acudían a nuestros lagos, por lo menos un cuarto de millón aves (Espinoza 1996: 245). Los patos procedentes de las provincias canadienses de Alberta, Saskatchewan, Manitoba y de las zonas colindantes de los Estados Unidos, emigraban durante el invierno por la llamada ruta central hacia la Cuenca de México. También arribaban cisnes y gansos de Alaska.

Los patos, gallaretas, cercetas, chichicuilotos (aves playeras de pico afilado y piernas largas), agachonas y otras aves sirvieron desde tiempos muy antiguos de alimento a los habitantes de la Cuenca [...] La caza de grandes cantidades de patos se llevaba a cabo en todos los lagos, de agua dulce y salada, y las aguas y pantanos donde se posaban eran, como las de la pesca, parte del patrimonio y jurisdicción de los pueblos indios (Rojas 1998: 49).

Hasta el siglo XIX esos ánades se incluían en la dieta de los chinamperos, para cazarlos se usaban largas redes montadas sobre palos enterrados en el fondo del lago. En 1999, pude ver en *Tzapotitlan*, estas redes pero ya dentro de un terreno rodeado por una barda. Orozco y Berra describió la caza de aves con la *armada*, es decir una serie de escopetas viejas o de simples cañones amarrados sobre vigas que apuntaban en dos direcciones, unas a poca altura y otras a flor de agua; la matanza de los patos era cuantiosa (Orozco y Berra 1864: 149). Ha sido de tanta importancia la fauna acuática en la alimentación de los chinampanecas, que todavía en 1912, Henning pudo recopilar los siguientes nombres de patos y especies acuáticas en náhuatl:

Cuachilli: pato de cabeza colorada.

Coucanauhtli: pato que nunca falta, o que siempre está escondido en el agua.

Tezoloctli: pato color gris.

Zoquiázolli: pato del tamaño de un tordo, color de agua con lodo.

Atepan: pato zambullidor.

Atapalcatl: pato más pequeño que los otros; tiene el pico color de ocote.

Tolcomoc: pato grande que no vuela de día sino de noche, y que parece repite esta palabra retumbante.

Tzoyacqui: pato que tiene olor desagradable, como lodo corrompido.

Cuacoztli: pato de color amarillo.

Tzizicuilotl: animalito que anda brincando en el agua.

Acozilli: pez (sic) de manera de chapulin.

Axolotli: pez (sic) que se arrastra sobre el lodo, y que su alimento es el agua.

Xohuilli: pez sardina que se rueda para huir.

Xahuichi: pez que vive en la orilla del agua y come lodo.

(Henning et al., 1912).

La alimentación humana en la chinampería también incluía dos animales domésticos: el guajolote o pavo y un perro comestible. En la región existieron venados, ahora sólo se han encontrado tejones, murciélagos y el



cacomixtle, un marsupial. Consideremos ahora algunos platillos, que las abuelitas cocinaban con la cosecha chinampera.

Gastronomía chinampera en Tzapotitlan.

Las mujeres de *Tzapotitlan* cumplían la pesada tarea de preparar el nixtamal, moler el maíz y hacer las tortillas. Una anciana recuerda que antes de la urbanización:

Tenía una que echar tortillas para almorzar; luego hacer el quehacer de las casitas, el patio; luego ya tanteaba la hora de hacer la comida, salsa, algún guisado y frijoles, para que vinieran a comer tortillas calientes. Y a las cinco y media otra vuelta a echar tortillas para cenar y a dormirse.

En la actualidad en la tortillería automática ubicada en la plaza Juárez del pueblo, pueden conseguirse tortillas calientes hasta las cinco de la tarde, lo cual no es común en la Ciudad de México. Las abuelitas recuerdan que desde muy pequeñas las niñas se preparaban para cocinar, como se puede apreciar en este relato:

Cuando era niña con mis amiguitas jugábamos a la comidita, pero de verdad. Hacíamos tamalitos chiquitos, una sacaba la manteca, el tomate, la sal y hacíamos los tamales, pero de verdolagas con chile, en cazuelitas.

Algunas abuelas atesoran todavía los utensilios empleados en sus cocinas de humo como: el comal, el metate, el *metlapil* o brazo del metate, el *molcajete* o mortero de tres patas, con su *tejolote* para triturar; el aventador de *petate* para soplar la lumbre; el *nixcomitl* u olla para preparar el nixtamal; las ollas, las cazuelas, los platos y jarros de barro; el *chiquihuite* o cesto para las tortillas y el machete. Usaban cucharas grandes de madera al cocinar; para comer se improvisaba una cuchara, doblando un trozo triangular de tortilla, con ella se sopeaba hasta el caldo de los frijoles. Por eso, la gente de otros países dice que los mexicanos acostumbramos comernos las cucharas.

Antes de que *Tzapotitlan* se fuera urbanizando, las tortillas o *tlaxcales* se cocían en la cocina de humo, que otorga a la comida un sabor muy especial. El comal descansaba sobre tres piedras de apoyo que formaban un *tlecuil*. Como combustible se usaban cañuelitas o matas de maíz y *olotes*. En la parte de atrás del comal se preparaban el nixtamal y los frijoles. También se usaban braseros de carbón, luego fueron desplazados por las estufas de petróleo y de gas. Hoy en día es común que las nueras utilicen horno de microondas. En las cocinas de humo cuentan con grandes parrillas de gas para preparar los platillos ceremoniales en grandes cantidades. Cuando un hombre acepta ser mayordomo para las fiestas patronales del



Señor Santiago y de la Señora Santa Ana, las mujeres de su familia nuclear y extensa saben que tendrán que laborar de sobra para preparar las comidas de las bandas musicales y los castilleros. Por ello a las mujeres les disgusta que durante el agradecimiento en el ritual del cambio de mayordomías o Chavarrío, sólo los hombres suban al altar. De ahí el reclamo para que la esposa acompañe a su marido, tanto al recibir como al entregar la mayordomía. Los frijoles se cocían en una olla de barro con *tequesquite*. Para preparar los frijol quebrados o *cuatatapas*, estos se medio tostaban en el comal, después se enjuagaban para enfriarlos y se quebraban con el *meclapil* (o brazo) en el metate. Doña Tecla Ríos recomendó: *lavarlos, ponerles su rama de epazote, su xoconoxtle y echarlos a la lumbre*. El *tequesquite* también se utilizaba para lavar la ropa, pero ha sido desplazado por el cloro.

Apolonia Crescencia Peña Cruz de 77 años, recuerda que cuando eran pobres:

Comíamos nopalitos, frijolitos lentejitas, habitas, nopalitos tostados en el comal, mi mamá nos daba cuatro tortillas para cuatro niños. La comida típica eran quelites, verdolagas, pepitas tostadas, calabacitas, flor de calabaza, alverjón, lentejitas. Si teníamos dinero un guisadito, tortas de huevo con chi-

le verde, chilito con chicharrón. Cada medio año teníamos que hacer tamalitos de frijol, luego para el domingo el arroz y el mole molido en metate.

La receta del mole con guajolote de *Tzapotitlan* incluye según las abuelitas entrevistadas:

Almendra, pasas, ciruela pasa, ajonjolí, pepita de calabaza, pepita de chile, chocolate. Para cuarenta kilos, le echamos diez kilos de almendra, diez kilos de ajonjolí, doce kilos de pasa, cinco cuartillos de pepita de calabaza y cinco cuartillos de pepita de chile mulato, cuarenta panes, cuarenta tortillas. Condimentado con clavo, anís, comino, ajo y cebolla.

Guadalupe Chavarría Miramar a sus 76 años nos ofreció la receta para preparar *tlapiques*:

Para los tlapiques de piqui o tripas de pollo, íbamos a la pollería a que nos regalaran las tripas. Con un cuchillo las vas cortando, se exprimen para sacarles todo, las vas lavando con sal, como si fuera ropa. Las pones en una cazuela y les vas cambiando el agua como cinco veces. Cortas epazote, nopalitos y venas de chile guajillo o pasilla. Todo bien lavado y picado. Se remojan hojas de maíz y les echas las tripas con los ingredientes y se ponen en el comal cuatro o cinco porciones.

Cuando las hojas se queman de un lado, las volteas. Tardan en cocerse como una hora, se pueden acompañar por una sopa. Los de pescado los hacemos con xoconoxtle, con epazote y cebolla. Preparar las ranas sí era trabajoso. Con la ceniza de las tortillas limpiábamos la piel de la rana para quitarle todo el pellejo. La abríamos de la panza, les sacaban las tripas y se tenían que lavar bien. Se hacían tamales, pero lo más común era hacerlas en chile verde.

Los platillos tradicionales de *Tzapotitlan* son el *ahuautli*, o hueva de mosco; el *mixmole* o salsa de pescado; los tamales de pescado o pato; los *metlapiques* de ranas, pescado, tripas de pollo o de *ajolotes*; *acociles* y el *chileatole*. Para los banquetes ceremoniales, en las fiestas patronales, bodas, quince años o bautizos, se prepara mole con guajolote o pollo, acompañado de arroz. En cuanto a salsas sólo hay de dos: o verde o roja. Además se ofrecen frijoles, tortillas, tamales de frijol y tamalates preparados sólo con sal y manteca. En Semana Santa se acostumbra el revoltijo o romeritos con tortas de camarón, tamales de judas con alverjón y tequesquite, pescado, chiles rellenos en guisado de jitomate con arroz rojo. Para la ofrenda a los muertos en Todos los Santos y Fieles Difuntos, se le prepara al difunto su platillo favorito, como: mole con pollo, arroz, tortillas, tamales,

dulce de tejocote, calabaza en tacha, *necuatole*, arroz con leche, chocolate y pan de muertos preparado en los hornos caseros del pueblo, con ingredientes escogidos por la propia ama de casa. En la cena de la Navidad también se ofrece el revoltijo, ensalada de betabel con jícama, naranja, cacahuete y plátano. También el pollo enchilado. Con motivo del fin de año se consume guajolote o pollo al horno.

Entre los platillos que se consumían cotidianamente en *Tzapotitlan*, y que aún saben preparar las mujeres maduras del pueblo se encuentran: los ayocotes en adobo; los alverjones con nopales; el *ahuautli* con nopales; charales con nopalitos en salsa verde; quesadillas de flor de calabaza, quesadillas de *huitlacoche*; chileatole de chile ancho o verde con elote; tamales de frijol, tamales de chile con carne de res o de pollo; atole de masa; atole de chocolate con leche. También atole de frijol quebrado; atole blanco con sal; *tlatloyos* de frijol con *tequesquite*; tostadas de “piedra de hormiguero” al comal; tortillas tostadas con chile ancho, para darle color; frijoles cocidos con sal; tortillas salidas del comal; burritos de *xoconoxtle* picado con cebolla, cilantro, venas de chile y sal; elotes hervidos; menudo; habas con calabacitas; frijoles quebrados con cilantro, cebolla y chile; pepitas de chile ancho con ajo y cebolla; quesadillas de cáscara de papa; papas con rajás;



tortas de garbanzo; pato en mole de olla con lengua de vaca y *xoconoxtle*; pato asado o en tamales; conejo al mojo de ajo, en mole verde o en guajillo; y “gorditas” con crema.

El desecamiento de los lagos.

La Cuenca de México aún antes de constituirse en una entidad política fue una unidad económica. Cuando llegó Cortés la mayoría del comercio se hacía en embarcaciones. Gómara en su primer tomo, estima que en la Cuenca había doscientas mil barquillas, tan sólo en México se contaban cincuenta mil (Gómara 1870: 385). Eric Wolf describe al detalle el funcionamiento productivo de la Cuenca de México apoyándose en la metáfora de un sistema planetario:

En el valle (sic) de México, por ejemplo, las orillas del lago producen maíz; en el somontano crecen frutos y flores; las tierras altas producen pulque de maguey y carbón de madera [...] Cada valle forma una especie de sistema planetario en el que varios pueblos situados a alturas diferentes, y capitalizando las variaciones del medio ambiente, se mueven como lunas alrededor de un planeta, en el campo de atracción de una ciudad situada al fondo del valle (Wolf 1973: 25).

Después de las inundaciones que sufrió la capital de la Nueva España en 1604, el virrey Martín Enríquez propuso desecar los lagos de la cuenca, a la que los españoles confundieron con un valle. Se contrataron los servicios del ingeniero Enrico Martínez para diagnosticar el problema, quien recomendó desecar primero las aguas del lago de *Tezcoco*, porque eran las que se vaciaban directamente en la Ciudad de México. El lago de Chalco se vertía directamente al de *Tezcoco* cruzando las tierras bajas entre la Caldera y el cerro del Pino. En 1607 se inició el proyecto que pretendía abrir un desagüe por el tajo de *Nochistongo*. En 1608 ya se había desecado parte de la cuenca por un canal que iba al norte hasta la fuente del río Tula, tributario del Pánuco. En 1774 reapareció la idea de construir un gran canal desde el lago de *Chalco* hasta el norte de la cuenca, atravesando *Xochimilco*. Si lo lograban ya no tendrían que preocuparse por el lago de *Tezcoco*, pues ya no se verterían aguas en él. En 1763 se construyó la calzada de *Mexicaltzingo*, esperando retener la inundación de Chalco, pero las inundaciones se repitieron. Desde 1768 había funcionado una comisión del proyecto para drenar la cuenca. Dicha comisión solicitó a Ignacio de Costera en 1802 una solución a las inundaciones. Después de estudiar el problema, Ignacio volvió a recomendar el desagüe de la cuenca. El ingeniero



M. C. Smith y su equipo propusieron en 1847 excavar un canal desde el lago de Chalco al río Tula. De Garay en 1856, volvió a sugerir la construcción de un gran canal al gobierno. En ese mismo año, la Secretaría de Fomento concedió a una compañía el transporte en lanchas de vapor desde la Ciudad de México y a través del lago de *Chalco*, pero la empresa rompió los diques de Tláhuac al ensanchar el canal y volvió a ocurrir otra inundación. El gran canal que caería por la fuerza de la gravedad al túnel de *Tequixquiac* comenzó a edificarse en 1890 y se terminó en 1900. Como urgía desecar el lago de *Chalco*, en 1895 abrieron otro canal desde ahí hasta el lago de *Tezcoco*, cerca del pueblo de Los Reyes. El lago de *Texcoco* por su altura desaguó al de *Chalco* y prácticamente lo secó. La compañía de Xico aceleró la desecación de la *Cuenca*. Al retirarse las aguas, dejaron disponibles para la agricultura sus ricos suelos pantanosos.

De la península de Iztalapa a la sierra de Santa Catarina.

Lo que en tiempos Aztecas se llamó la Cuitlahuaca era una isla entre el lago de Chalco y el de Xochimilco, que en la actualidad corresponde aproximadamente la Delegación Tláhuac. Dicha delegación representa el 6.7 por ciento de la superficie de lo que fue el Distrito Federal. Colinda al norte con la de-

legación *Iztapalapa* y el Estado de México, al este con el Estado de México, al sur con el Estado de México y con la delegación Milpa Alta, y al oeste con las delegaciones *Xochimilco* e *Iztapalapa* (INEGI 2000: 3). Esta demarcación se ubica al sur-oriental de la capital mexicana ocupando una superficie de 8 mil 534 hectáreas. La precipitación pluvial media es de 533.8 milímetros, durante los meses de junio a agosto se presentan las lluvias. El territorio de la demarcación va desde los 2 mil 220 metros sobre el nivel del mar, donde se ubica San Andrés *Mixquic* hasta la cumbre del volcán de Guadalupe a 2 mil 700 metros, pasando por los 2 mil 240 metros de San Pedro Tláhuac (INEGI 2000: 9). Le corresponde el 6.7 por ciento de la superficie de lo que fue el Distrito Federal (INEGI 2000: 3). Sus coordenadas geográficas extremas se ubican al norte 19 grados 20 minutos; al sur 19 grados once minutos de latitud norte. Al este 98 grados 56 minutos; y al oeste 99 grados 4 minutos de longitud oeste (INEGI 2000: 3).

Durante la época colonial, sobre la albarrada que partía a los lagos de *Chalco* y *Xochimilco* corría una calzada, que medía en 1,763,106 cordeles, aproximadamente 4 mil 409 metros, uniendo a San Francisco *Tlaltenco*, San Pedro Tláhuac y *Tulyehualco*. Todavía hoy se mantiene en pie el tramo *Tlaltenco*-Tláhuac (Rojas, Strauss y Lameiras 1974: 57).



Calzadas como esta, se construían de manera parecida a las chinampas pero cuajándolas con piedras. En materia hidráulica, los *Anales de Cuauhtitlan* relatan la inundación de Tláhuac por el mal funcionamiento del acueducto que ordenó construir *Ahuízotl* (Primo 1975: 58). En 1763 tras una temporada de fuertes lluvias que provocó inundaciones en *Chalco* y otros puntos de la Cuenca, el juez superintendente don Domingo de Trespalacios y Escandón, instruyó al arquitecto Ydelfonso Yniesta Vejaran, maestro mayor de la ciudad y de la obra del Real Desagüe, para que reconstruyera la calzada de Tláhuac. Los trabajos se iniciaron previa aprobación del virrey en enero de 1764. Como la calzada tuvo que volver a repararse en 1776 y 1777, se nombró un guarda volante encargado de vigilarla, para evitar los frecuentes gastos provocados por su deterioro (Rojas, Strauss y Lameiras 1974: 56-63).

La delegación Tláhuac se encuentra en la sub-provincia Lagos y Volcanes de *Anáhuac* del eje neo-volcánico. El 28 % de la delegación lo constituye la sierra volcánica con estratos volcanes, el 47 % llanura lacustre, el 12 % llanura lacustre salina y el 18 % llanura aluvial (INEGI 2000: 4). Su área geológica pertenece al periodo *Cuaternario* de la era *Cenozoica*, de sus suelos el aluvial ocupa el 14.45% y el lacustre un 56.64 % de la superficie total. Sus rocas son ígneas extrusivas, la brecha volcáni-

ca básica ocupa el 18.51, la de basalto con brecha volcánica básica el 2.89 y la de andesita el 7.51% de dicha superficie (INEGI 2000: 5). La desecación artificial de los lagos de *Xochimilco* y *Chalco* originó la superficie de suelo lacustre. En ella distinguimos tres zonas: una plana, una de transición y otra de lomas. En la plana predominan depósitos de *tobas*, limos, arcilla y arenas finas; en la segunda existen pequeños estratos de arcillas, arenas y gravas; y en las lomas hay grava, arenas, bloques, coladas de basalto, lavas y *piroclastos*. La sierra de Santa Catarina alcanza una altura máxima de dos mil ochocientos metros sobre el nivel del mar, es un cinturón volcánico en etapa de elevación reciente, cuya estructura geológica proporciona una alta permeabilidad, por lo que tiene una importancia estratégica para la recarga del acuífero metropolitano (Distrito Federal 1997: 9).

Santiago *Tzapotitlan* se localizaba en el momento de la conquista española en la orilla sur de la Península de *Iztapalapa*, pues la cadena montañosa de lo que ahora es el Cerro de la Estrella y la Sierra de Catarina estaba rodeada de agua por tres costados, el norte, sur y el oeste. En 1969, Richard Blanton de la *University of Michigan* fue comisionado por Eric Wolf para realizar un recorrido por la superficie de lo que fue dicha península dentro del proyecto *Coordinated Anthropological Research in the Valley of Mexico*. Martz subrayó el papel estra-



tégico del *Huizachtepetl* o Cerro de la Estrella por la panorámica que ofrece de toda la Cuenca de México (Martz 2002). En donde ahora se localiza el pueblo de *Tzapotitlan*, Blanton no encontró ningún asentamiento antes del periodo *Azteca*. Pero sí halló un pequeño centro local, en donde ahora está el vecino pueblo de *Tlaltenco*, que se expandió en casi un 300 por ciento durante el ciclo *Formativo Tardío* y *Terminal* en la Cuenca de México (Blanton 1972: 184). El borde sur de la península de *Iztapalapa*, el lugar donde actualmente se ubica *Tzapotitlan*, prácticamente estaba deshabitado, a excepción de tres pequeños núcleos, Blanton lo atribuye a su cercanía con la isla-estado de *Cuitláhuac* (Blanton 1972: 170). El autor considera probable que los cuitlahuacas emplearan esa parte de la península con fines agrícolas, pero vivieran en la isla o en la extensa área de chinampas que la rodeaba. Los asentamientos se habrían nucleado en *Cuitláhuac* por razones defensivas, pues la pequeña ciudad-estado combatía contra Tepanecas, Mexicas, Xochimilcas y los Acolhuaque. Además preferían la zona chinampera por su productividad agrícola, por la riqueza en productos lacustres y por el fácil acceso en canoas al sistema de mercados de la Cuenca de México. Esa zona sur de la península controlada por *Cuitláhuac*, sólo se usaba para el cultivo de maguey y nopal, la caza y la recolección de pro-

ductos forestales. A partir de evidencias arqueológicas se estimó un incremento exponencial de la población en la península de *Iztapalapa*, durante el tiempo que transcurrió del periodo *Tolteca tardío* al *Azteca* (Blanton 1972: 23).

La Sierra de Santa Catarina (antigua península de *Iztapalapa*) se ubica en la zona meridional de la Cuenca de México, es un conjunto de elevaciones del *Pleoceno* superior, con una extensión de cinco mil quinientos metros. Como es una sierra de formación reciente, sus conos volcánicos eran casi perfectos y formaban una línea dirigida del sudeste al noroeste, pero la explotación minera ha hecho estragos. Ya solo un 0.62 por ciento de la superficie de la demarcación corresponde a bosque, antes abundaban eucaliptos, encinos, *ahuejotes* y sauces llorones (INEGI 2000: 6). El Cerro de la Estrella se formó por gases subterráneos que no tuvieron la fuerza suficiente para producir una erupción, dando lugar a una serie de cavernas (Montero 2002: 3).

Las *andesitas* de *hiperstena* vertidas en corrientes por los flancos del volcán de Santa Catarina, se formaron de rocas compactas cubiertas en distintos puntos con lava basáltica o *andéstica* muy porosa, conocida como *tezontle*, escorias, arena volcánica negra y rojiza. El San Nicolás y el *Xaltepec*, sus dos primeros conos, los constituyen brechas volcánicas, *lapillis* y cenizas. Elementos de trituración



que los vientos han transportado más allá de su base, en especial las cenizas se amontonan en pequeños montículos a manera de médanos. En ciertos puntos cercanos a la base de dichos conos aparecen *andesitas* de *hipertaena* compactas. El *Xaltepec* toma de su nombre de la gran cantidad de arena volcánica, *xalli* arena y *tepetl* colina. En la Sierra de Santa Catarina encontramos basalto de *olivino*, basalto de *piroxena* y *andesita* de *hornbenda*, lavas expulsadas por focos volcánicos tales como conos *escoriaceos*, conos *cineríticos*, escudovolcánicos y domos. La grava predomina en las cercanías de las minas de arena del *Xaltepec*, disminuye un poco en el perímetro de la ex hacienda de San Nicolás Tolentino y aún más en el terraplén del antiguo ferrocarril a *Xico*. El contenido de arena es inferior entre *Tzapotitlan* y *Tlaltenco* y en la colonia Nopalera. Pero superior en donde se encuentran las minas de arena, en la hacienda de San Nicolás, al sur del cerro de Santa Catarina, por el terraplén del ferrocarril a Acapulco y en la parte media del cerro de Santa Catarina (Puente 1965: 72-73).

En Santa Catarina a pesar de estar ubicada en una zona de reserva ecológica protegida por el decreto de expropiación de 1994, existen seis grandes minas de grava, arena y *tezontle*. El cerro de *Yehualite* ya casi desapareció, la parte superior del volcán de Guadalupe está desgajada por los costados y han sido mu-

tilados el *Xaltepec* y el *Tecuatzin*. La mina del volcán *Xaltepec* permaneció clausurada desde enero de 1976 a octubre de 1992, cuando el Departamento del Distrito Federal autorizó su reapertura mediante un convenio (Baltazar 1999). De acuerdo con el registro de Baltazar, salieron de la mina de Las Mesas durante 1999, treinta camiones de volteo con capacidad de 21 metros cúbicos cada uno en una sola hora (Baltazar 1999). Si cada metro cúbico de grava, arena o tezontle se cotizaba entre 25 y 35 pesos, representaba una ganancia de 15 mil pesos por hora aproximadamente. Apolinar Barrera explotaba la mina El Poli gracias a un amparo; lo mismo hacía Teófilo Aguilar Rioja en la de *Yegualigque*, José Valdés García en las minas Esperanza I y II; y José Enríquez Hernández en Las Mesas (Baltazar 1999). La mina Arenas y Gravas *Xaltepec* ofertaba materiales en sus patios, a los siguientes precios del 16 de diciembre de 1999: Arena con medida desde 14" hasta 0.1" a un precio de \$25.00. Sello 3-A desde 3/8" hasta 1/8" a un precio de \$65.00. Sello 3-E desde 3/8" hasta 1/8" a un precio de \$65.00. Grava delgada desde 3/4" hasta 3/8" a un precio de \$43.00, Grava desde 3/4" hasta 0" a un precio de \$53.00 y Greña a \$25.00. Los materiales de diferente granulometría a \$5,00 por metro (Aguilar 1990).

En la sierra analizada se distinguen tres tipos de suelos minerales: la serie *Tzapotitlan*,



la Santa Catarina y la *Tlaltenco*. La serie *Tzapotitlan* abarca una superficie de unas 350 hectáreas, dentro de la zona es la única libre de álcali; se encuentra ubicada en las faldas de los cerros que rodean la cuenca, pero debido a su topografía deben ejecutarse obras de conservación de suelos para su aprovechamiento agrícola. Sus suelos orgánicos aunque en proceso de mineralización, tienen su origen en las especies vegetales de la zona lacustre y pantanosa. Contienen una mayor proporción del nitrógeno y el fósforo necesario para la agricultura. La serie **Santa Catarina** se localiza en sus faldas al noroeste, en la parte superior de los suelos fósiles se encuentra *calcisaxeum* o caliche y *tepetate* que presenta huellas de raíces. El caliche se originó en un periodo de sequía que produjo capilaridad y con ella el ascenso y depósito de sales de calcio. En estos suelos ha desaparecido la materia orgánica, el nitrógeno y el fósforo. La serie *Tlaltenco*, del tipo *cheronzen* o *chesnut*, es una capa de hasta 60 centímetros de suelo mineral aluvial reciente, franco o de migajón arcilloso, de estructura granular, contiene raíces delgadas en abundancia por tratarse de tierra arable. Se localiza al norte de la zona lacustre de *Xochimilco*, son suelos jóvenes de origen lacustre formados por las fluctuaciones del lago. Tiene el mismo origen de las chinampas, pero difieren en cuanto a humedad. Como en los suelos de

la serie *Tlaltenco* el agua se retiró por la desecación del lago, sufre una contaminación por salitre progresiva, lo que se manifiesta en costuras superficiales de *tequesquite*. Su característica esencial es la presencia de un horizonte de ceniza volcánica entre el suelo mineral y el orgánico. El nivel *freático* se encuentra a unos dos metros de profundidad, excepto en los canales cuyas aguas corren a un nivel superior al del suelo, provocando filtraciones y elevación del nivel *freático*, los campesinos controlan las inundaciones por bombeo. En las faldas de los cerros se cultivaba maíz, frijol y cebada, porque los cultivos en la cuenca del antiguo lago, conocida como *ciénega* son más sensibles a la sequía. La capa freática elevada obliga a las plantas a formar un sistema radicular superficial, por lo que durante el estiaje cuando la capa baja, las raíces están muy lejos de la zona húmeda como para aprovechar la humedad del suelo (Puente 1965: 94). En el cerro de Santa Catarina se puede encontrar la Hierba de gato o *V. ceratophylla* y la vistosa *E. millefors*. Alrededor del cráter de Santa Catarina crece una palmita, la *N. recurvata*, usada con fines ceremoniales en *Tzapotitlan* en la fiesta del Señor Santiago.



Invasión del área de conservación.

Tláhuac pertenece a la sub-cuenca *Tezcoco-Zumpango* (INEGI 2000: 5), todavía en el año dos mil fluían ahí cuatro canales: el de *Chalco* y el Guadalupeño que nutrían a la zona chinampera, junto con el *Atecuycuac* y el *Amecameca*; la zona de riego se complementaba con otros canales más pequeños. En colindancia con el Estado de México se encuentra una zona de inundación permanente conocida como la *Ciénega* de Tláhuac. Años atrás, en 1806 las trajineras no podían pasar por la Acequia Real rumbo a la ciudad de México porque sus pastos se habían unido e impedían el paso, y las verduras se echaban a perder en Tláhuac. (Palerm y Wolf 1972: 94). Actualmente, predomina una vegetación de pradera, aunque existen algunas zonas boscosas de estrato arbóreo. Al sur y al este, Tláhuac cuenta con extensas zonas de cultivo cíclicas tanto de maíz como de espinaca, *romeritos* y acelga, también se cultivan de forma perenne la alfalfa, el peral, el higo y el nogal. Persiste una importante vegetación acuática donde sobresalen: el lirio, el *chichicastle* y la ninfa. En la zona predomina un clima templado sub-húmedo con una temperatura media anual de 16 grados, una mínima de 8.3 y una máxima de 22.8. Todavía a inicios del segundo milenio se dedicaba al cultivo del maíz (*Zea mays*), alfalfa (*Medicago sativa*), frijol

(*Phaseolus vulgaris*), peral (*Pyrus communis*) y romerito (*Suaeda difusa*), el 55.68% del territorio delegacional a pesar de la acelerada urbanización. En otro 4.55% del territorio crecía forraje como el zacate (*Festuca spp.*), el zacatón (*Muthlenbergia spp.*) y la enchilada (*Castilleja sp.*). Sólo el 0.62% de la región era bosque con eucaliptos (*Eucalyptus spp.*), encinos (*Quercus spp.*), ahuejotes (*Salix bonplandiana*) y sauce llorón (*Salix babilonica*) (INEGI 2000: 6). El 55.56% de la tierra tenía un uso potencial agrícola y el 4.55% era de pastizales. Además se cuenta con zonas sujetas a conservación ecológica como el *Parque Ecológico de la Ciudad de México* creado en 1969, la sierra de Santa Catarina declarada reserva en 1994 y el bosque de Tláhuac protegido por el decreto de 1991 (INEGI 2000: 7). Como los antiguos campesinos han ido abandonado el cultivo de las tierras agrícolas ante el desecamiento de las lagunas y los bajos precios del maíz, es común la venta ilegal de tierras de la reserva y su fraccionamiento clandestino, aprovechando la demanda de vivienda entre familias de escasos recursos, quienes inmigran de diversas entidades de la república o de las delegaciones centrales de la Ciudad de México, como los que llegaron después de los sismos de 1985. También las familias de los ejidatarios originarios requieren suelo para construir sus viviendas. La delegación



Tláhuac experimenta un acelerado tránsito de lo rural a lo urbano. Hasta el año de 1996 había sesenta y seis asentamientos irregulares en la delegación, con tres mil 637 viviendas sobre una superficie de 447.9 hectáreas (Delegación Tláhuac 2001: 5). En la región Tláhuac-*Tzapotitlan* se encuentran las viviendas irregulares de mayor tamaño de la zona.

Los asentamientos irregulares en el suelo de conservación ecológica de la delegación Tláhuac presentaban esta situación hasta 2001. En Santa Catarina *Yecahuizotl* habían 6 asentamientos en suelo de conservación donde residían 126 familias, con viviendas de 39.68 metros cuadrados en promedio, ocupando 5 hectáreas. En San Francisco *Tlaltenco* eran 15 asentamientos en suelo de conservación cuyas 215 familias residían en viviendas de 113.95 metros cuadrados, ocupando 24.5 hectáreas. En el caso de *Mixquic-Tetelco* se contaban 11 asentamientos en suelo de conservación donde residían 427 familias con viviendas de 139.34 metros cuadrados, ocupando 59.5 hectáreas. En Tláhuac-*Tzapotitlan* existían 12 asentamientos donde residían 1,136 familias cuyas viviendas eran de 182.65 metros cuadrados, ocupando 1,136 hectáreas. Por último en San Juan *Ixtayopan* existían 22 asentamientos en suelo de conservación, con 1,713 familias cuyas viviendas eran 87.36 metros cuadrados en promedio, invadiendo 151.4 hectáreas

(Delegación Tláhuac 2001: 4). La irregularidad en la propiedad de los suelos de Tláhuac generalmente se debía a que los padres heredaban verbalmente la tierra a sus hijos; a contratos privados de compraventa; o a cesiones de derechos y donaciones que no cumplen las exigencias de ley. También a la carencia de planos autorizados y antecedentes registrales. Muchos inmigrantes se asentaron al nor-poniente en las colonias La Nopalera, Los Olivos, y Las Arboledas colindantes con *Iztapalapa*. Pero la reciente construcción de conjuntos habitacionales en condominio ha agregado más de 6 mil 500 viviendas. Tan sólo en el norte del barrio de Santiago en *Tzapotitlan*, para 1995 la densidad llegaba a 233 habitantes por hectárea, muy por encima del promedio de densidad del Distrito Federal que era de 128 habitantes por hectárea. Existen al menos otros treinta asentamientos irregulares en la periferia de la Sierra de Santa Catarina y en los alrededores de la colonia La Conchita y de San Juan *Ixtayopan*. El suelo de conservación ecológica de Tláhuac es codiciado por las empresas inmobiliarias y las organizaciones de los solicitantes de vivienda sobre todo después de la construcción de la línea 12 del tren metropolitano o Metro de la Ciudad de México que la atraviesa.



CONCLUSIÓN

La riqueza biológica de la cuenca de Xochimilco y la cosecha de las productivas chinampas hidropónicas ha abastecido de alimentos a la Ciudad de México desde la época de *Tenochtitlan*. La destrucción del medio ambiente y el secuestro del agua de sus manantiales por la voraz expansión de la mancha urbana, ponen en riesgo la sustentabilidad de la megalópolis.

AGRADECIMIENTOS

A Tecla Ríos, Benjamín Ríos Librado, Melitón Barrientos, Ángel Espinosa González, Rosalío Morales Ríos, Filiberto Campos, José Granados Torres, Filiberto Valdés y a toda la comunidad de Santiago Zapotitlán. Al Sistema Nacional de Investigadores y a la UAM Xochimilco, mi casa abierta al tiempo.

BIBLIOGRAFÍA:

- Aguilar T. 1990. Lista de precios. Arenas y Gravas Xaltepec. México.
- Armillas P. 1983. Jardines en los pantanos. p.179-201. En Rojas T (comp.). La agricultura chinampera. Compilación histórica. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Baltazar E. 1999. Operan ilegalmente seis minas en la sierra de Santa Catarina. La Jornada. 4 de agosto.
- Blanton, RE. 1972. Prehispanic Settlement Patterns of the Ixtapalapa Peninsula Region, Mexico. Occasional Paper in Anthropology 6. The Pennsylvania State University. University Park.
- Distrito Federal. 1997. Gaceta Oficial. Octava época, 10 de abril, 24, Tomo VI.
- Delegación Tláhuac. 2001. Asentamientos irregulares en suelo de conservación. Asentamientos irregulares en suelo de conservación. Gobierno del Distrito Federal. Dirección de Regularización Territorial. México.
- Espinosa G. 1996. El embrujo del lago. El sistema lacustre de la cuenca de México en la cosmovisión mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas, Instituto de Investigaciones Antropológicas. México.
- Gibson C. 1967. Los aztecas bajo el dominio español (1519-1810). Siglo XXI Editores. México.
- González S. 1988. Tláhuac prehispánico. Editorial Miguel Ángel Porrúa. México.
- Henning P. et al., 1912. Tamoanchan. Estudio arqueológico e histórico. Anales del Museo Nacional de México. Tomo IV. Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología. México.
- Hernández F. 1959. Historia natural de la Nueva España. Universidad Nacional Autónoma de México. México.



- Hernández ML, ZJ Molina, A Ramírez, ML Torres. 2001. Asentamientos irregulares en la delegación Tláhuac. Trabajo modular. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México.
- INEGI 2000. Tláhuac, Distrito Federal. Cuaderno estadístico delegacional. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes.
- Martz H. 2002. Dos explicaciones de la descripción de un fragmento arqueológico del Cerro de la Estrella. p. 49-84. En Montero IA. 2002. Huizachtepetl, geografía sagrada de Iztapalapa. Gobierno Distrito Federal, Delegación Iztapalapa. México.
- Montero IA. 2002. Huizachtepetl, geografía sagrada de Iztapalapa. Gobierno Distrito Federal, Delegación Iztapalapa. México.
- Orozco y Berra M. 1864. Memoria para la carta hidrográfica del Valle de México. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México.
- Ortega M. 2004. La atención del parto, la alimentación y el náhuatl en Santiago Tzapotitlan, Tláhuac. p. 369-432. En Yanes P, V Molina y O González (coords.). Ciudad, pueblos indígenas y etnicidad. Universidad de la Ciudad de México – Dirección General de Equidad y Desarrollo Social. México.
- Ortega M. 2006. Cultura y productividad: *Aztecas* en Tlaxcala. Escuela Nacional de Antropología e Historia. México. Tesis del Doctorado en Antropología.
- Palerm Á. 1973. Obras hidráulicas prehispánicas en el sistema lacustre del valle de México. Secretaría de Educación Pública e Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
- Palerm Á. y E Wolf. 1972. Agricultura y civilización en Mesoamérica. Sep-Setentas. Secretaría de Educación Pública. México.
- Primo F. 1975. Códice Chimalpopoca. Anales de Cuauhtitlan. Instituto de Investigaciones Históricas-Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Puente MSC. 1965. Estudio geográfico de la delegación Tláhuac. Tesis de la maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Rojas T. 1983. La agricultura chinampera. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Rojas T. 1998. La cosecha del agua en la Cuenca de México. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México.
- Rojas T, R Strauss, J. Lameiras. 1974. Nuevas noticias sobre las obras hidráulicas prehispánicas y coloniales en el Valle de México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
- Wolf E. 1973. Las luchas campesinas del siglo XX, Siglo XXI Editores. México.

CONTRIBUCIÓN DE LAS BACTERIAS HETERÓTROFAS AL ENRIQUECIMIENTO CON CARBONO ORGÁNICO DEL AGUA Y LOS SEDIMENTOS DE LA ZONA CHINAMPERA DEL LAGO DE XOCHIMILCO.

Reyes-Arroyo NE, Ángeles-Vázquez JR, Figueroa-Torres MG,
Alcántara-Azuara AK, Vargas-Solís RC y Ferrara-Guerrero, MJ.

Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Calzada del Hueso 1100,
Colonia Villa Quietud, CP. 04960, CDMX. Departamento el Hombre y su Ambiente.

Tel. 5255-5483 7000 Ext. 3114. Email: fgmd6735@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

La biomasa bacteriana es un componente funcional de la microbiota de la columna de agua y de los sedimentos y es una excelente fuente de nutrientes (proteínas, lípidos, vitaminas y minerales). Se estudió la contribución de las bacterias al enriquecimiento con carbono orgánico de la columna de agua y los sedimentos y la influencia de las variables físicas y químicas sobre la producción de biomasa bacteriana en la zona chinampera del lago de Xochimilco. La abundancia de bacterias se calculó con el método de conteo directo por epifluorescencia utilizando 4', 6-Diamidino-2-fenilindol diclorhidrato como fluorocromo. La biomasa bacteriana fue calculada utilizando la relación biovolumen: carbono. El valor de la biomasa fue 3.5 veces mayor en los sedimentos ($7477.6 \pm 1719.4 \mu\text{g} \cdot \text{C}/\text{m}^2$) que en el agua superficial ($2157.5 \pm 917.81 \mu\text{g} \cdot \text{C}/\text{L}$) y

cuatro veces mayor que en el agua de fondo ($1837 \pm 648.3 \mu\text{gC}/\text{L}$). Los parámetros físicos y químicos que condicionaron la producción de la biomasa fueron el pH ($r = -0.79$), la salinidad ($r = 0.78$); el carbono orgánico total ($r = 0.95$), la transparencia ($r = 0.88$), la temperatura del agua ($r = 0.78$) y el fósforo total ($r = 0.89$). Las zonas conurbadas y de vertimiento de aguas negras y grises presentaron una mayor concentración de carbono orgánico y de producción de biomasa bacteriana en los sedimentos. El volumen celular puede ser un buen indicador de la transferencia de carbono a través del asa microbiana ya que un aumento de éste como una forma de resistencia a la alta presión de pastoreo por parte del nano- y microzooplancton, puede causar una reducción en la eficiencia de la transferencia de carbono y energía a los niveles tróficos más altos.

Palabras clave: Bacterioplancton, bacteriobentos, biomasa, estado trófico.



ABSTRACT

Bacterial biomass is a functional component of the microbiota in the water column and sediments, and is an excellent source of nutrients (proteins, lipids, vitamins and minerals). We have studied the contribution of the bacteria to the organic carbon enrichment of the water column and the sediments, and the influence of physical and chemical variables on the production of bacterial biomass in the “chinampas” zone of Xochimilco lake. To calculate the abundance of bacteria the direct counting by epifluorescence method and the 4', 6-Diamidino-2-phenylindole dihydrochloride as fluorochrome was used. Bacterial biomass was calculated using the biovolume: carbon ratio. The biomass value was 3.5 times higher in sediments ($7477.6 \pm 1719.4 \mu\text{g}\cdot\text{C}/\text{m}^2$) than in the surface water ($2157.5 \pm 917.81 \mu\text{g}\cdot\text{C}/\text{L}$), and four times higher than in the bottom water ($1837 \pm 648.3 \mu\text{g}\cdot\text{C}/\text{L}$). It was observed that the environmental parameters that influenced or conditioned the production of biomass were pH ($r = -0.79$), salinity ($r = 0.78$); total organic carbon ($r = 0.95$), transparency ($r = 0.88$), water temperature ($r = 0.78$) and total phosphorus ($r = 0.89$). Conurbations and wastewater inlet areas showed a higher concentration of organic carbon and production of bacterial biomass in the sediments. The cell volume could be a good indicator of the carbon transfer through

the microbial loop, since an increase of this as a form of resistance to the high pressure of grazing by the nano- and micro-zooplankton may cause reduction in energy efficiency and carbon transfer to the highest trophic levels.

Keywords: Bacterioplankton, bacteriobenthos, biomass, trophic state.

INTRODUCCIÓN

La cuenca de Xochimilco (CDMX) se encuentra en la categoría de área natural protegida (ANP) debido a su importancia biológica y ecológica, sin embargo esta zona se encuentra muy deteriorada por la deforestación y la erosión del suelo así como por la contaminación del agua y su extracción desmedida (Figuroa-Torres et al., 2014). Estas actividades pueden inducir a una modificación importante de la cantidad de carbono total almacenado en los sedimentos. De este total, el carbono asociado a la biomasa microbiana ha sido considerado como el principal indicador de la tasa de recambio de carbono en el suelo (Cuevas y Medina, 1998) por su papel como fuente y reservorio de nutrientes (Leita et al., 1999), así como un indicador ecológico (Alef y Nannipieri, 1995) por su capacidad de responder a corto plazo a los cambios en la calidad del suelo (Jenkinson y Ladd, 1991).

La cuantificación de la biomasa bacteriana es importante ya que estos microorganismos



juegan un papel importante en el reciclamiento de nutrientes y en el secuestro del carbono dentro de su biomasa. Las bacterias, almacenan menos carbono que el que metabolizan (Adu y Oades 1978), entonces es de esperar, que el carbono secuestrado en la biomasa microbiana sea más lábil cuando está mediado por la biomasa bacteriana (Bayley et al., 2002).

Las tasas de reciclaje de nutrientes (C, N, P) son controladas a una escala global de todo el ecosistema por los microorganismos, ya sea de forma directa mediante degradación hidrolítica de compuestos orgánicos, o indirecta modificando la retención o movimiento de los nutrientes (por ejemplo, mediante modificaciones en el potencial redox) (Álvarez 2005). El cierre completo de estos ciclos biogeoquímicos depende en gran medida de los microorganismos, que son responsables de una parte importante del metabolismo aerobio y de todo el metabolismo anaerobio.

La biomasa bacteriana es definida como la masa bacteriana viva disponible en un hábitat para los diferentes niveles tróficos (Bratbak 1993). Una gran cantidad de la producción primaria no es consumida directamente por herbívoros, sino que es aprovechada por organismos heterótrofos convirtiéndose en biomasa microbiana (Lowell y Konopka 1985). La producción de biomasa bacteriana es una transformación solamente dentro de la reserva

de carbono, de manera sencilla se puede decir que es la conversión de carbono orgánico disuelto a carbono orgánico bacteriano (Jahnke y Craven 1995).

Debido a la gran complejidad de los ecosistemas acuáticos, el monitoreo de algunos microorganismos puede proporcionar información sobre los cambios físicos y químicos del agua, ya que éstos a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición y distribución de la comunidad microbiana y por lo tanto, pueden ser importantes indicadores de contaminación en el ambiente acuático (Laws 1981, Lester y Birkett 1999). En los canales de Xochimilco, las variaciones espacio-temporales de biomasa bacteriana son un reflejo de lo que ocurre en las zonas de vertimiento de aguas semitratadas del Cerro de la Estrella y de las actividades de las zonas conurbadas y agropecuarias contiguas al lago, que vierten sus aguas en los canales. Es evidente la relevancia biológica, económica y cultural de este ecosistema por lo que es necesario generar información científica que permita conocer mejor su funcionamiento desde una perspectiva integral y con ello apoyar la toma de decisiones para el manejo sostenible de sus recursos.

Xochimilco ha sido señalado como un sistema hipereutrófico, sin embargo, se desconoce cómo este estado, aunado a los cambios ambientales, puede condicionar la producción de

HACIA LA TRANSDISCIPLINA Y LA SUSTENTABILIDAD EN LA SUBCUENCA DE XOCHIMILCO Y SUS AFLUENTES
NÚMERO ESPECIAL No. 5. AÑO 7. No. 14. JUNIO A DICIEMBRE DE 2017.

Tabla 1. Coordenadas y parámetros físicos y químicos en las estaciones de muestreo (19 al 21 de octubre 2015).

Parámetros ambientales								
Estación	Coordenadas	Profundidad (cm)	Transparencia (cm)	Temp ambiente (°C)	Temp Superficie (°C)	Temp Fondo (°C)		
Cerro de la Estrella	19°16'652" N 99°05'904" O	200	62.5	23	19	19		
Embarcadero	19°17'067" N 99° 05'641" O	46	28	27	19	18		
Tlilac	19°17'067" N 99°05'642" O	40	28.5	19.5	17.5	16.5		
La Virgen	19°16'655" N 99°05'889" O	86	21	24	18	17		
CIBAC	19°16'859" N 99°05'151" O	90	34	23	18.5	17.5		
La Marina	19°17'173" N 99°05'112" O	53	26.5	17	17.5	16.5		

Parámetros químicos								
Estación	OD Sup (mg/L)	OD Fon (mg/L)	MES Sup (mg/L)	MES fond (mg/L)	pH Sup	pH Fon	Sal sup (ppm)	Sal fond (ppm)
Cerro de la Estrella	5.8	5.6	15.6	9.3	8.3	8.5	3	2
Embarcadero	7.7	7.5	53.2	573.6	6.6	6.4	0	0
Tlilac	11.9	10.8	37.8	67.2	7.1	6.7	0	0
La Virgen	7.5	4.9	33.3	40.3	8.2	8.3	2	2
CIBAC	11.7	8	26.6	705.4	8.1	8.1	1	1
La Marina	8.5	8.8	518.2	162.9	8.2	8.2	2	2

OD= oxígeno disuelto; MES= materiales suspendidos; Sal=salinidad, sup=superficie; sond=fondo; Temp=temperatura



Parámetros Físicos y Químicos

Durante los muestreos se midieron los siguientes parámetros físicos y químicos *in situ*: profundidad y transparencia de la columna de agua con un disco de Secchi de 20cm de diámetro; temperatura ambiental del agua de superficie y fondo con un termómetro de cubeta; el pH con un potenciómetro marca Conductronic modelo pH10; la salinidad con un refractómetro Atago ATC-S/Mill-E. Las muestras de agua para los análisis químicos y bacteriológicos fueron tomadas con una botella van Dorn horizontal de un litro de capacidad. El oxígeno disuelto fue calculado por el método de Winkler (1888) modificado con azida de sodio que resulta satisfactoria para las aguas estancadas con altas concentraciones de nitritos como es el caso del Lago de Xochimilco.

La determinación de amonio ($N-NH_4^+$) se hizo en muestras de agua de superficie y fondo prefiltradas con un tamiz de $60\mu m$ de diámetro de malla; 100mL de la muestra de agua fueron después filtrados con membranas Whatman GF/F de 45mm de diámetro previamente precalcinadas a $500^\circ C$. Las muestras de agua filtradas se almacenaron en frascos de vidrio ámbar de 125mL a $-20^\circ C$ para la determinación de $N-NH_4^+$. Las membranas precalcinadas que sirvieron para filtrar el agua se ocuparon para la determinación de sólidos suspendidos (MES). Para el análisis de fósforo total (Pt) y

carbono orgánico total (COT) 200mL de agua de superficie y fondo sin prefiltrar fueron almacenadas a $-20^\circ C$ hasta su procesamiento.

Las muestras de sedimento superficial (1cm de profundidad) fueron obtenidas con una draga. Para la extracción de agua intersticial 300gr de sedimento fueron almacenados por duplicado en frascos estériles oscuros y congelados a $-18^\circ C$ hasta su procesamiento en laboratorio. Para determinar el porcentaje de materia orgánica (MO) una submuestra de sedimento se almacenó en bolsas de plástico pequeñas a temperatura ambiente y para la textura de los sedimentos otra submuestra se almacenó en bolsas de plástico grandes y se conservó también a temperatura ambiente.

El material suspendido (MES) se determinó por el método recomendado por American Public Health Association et al. (1989).

La textura de los sedimentos se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (1962) y el porcentaje de materia orgánica se calculó con el método de titulación de Walkley y Black (1934).

La extracción de agua intersticial de los sedimentos para la determinación de nutrientes se llevó a cabo por medio de centrifugación a 3000rpm durante 10min. El agua extraída se filtró con una jeringa y un Swinnex conteniendo una membrana GF/G de 22mm de diámetro y se almacenó a $-20^\circ C$ en frascos estériles ga-

sificados con N_2 para impedir la oxidación de los iones reducidos de nitrógeno.

Para la determinación de nutrientes de las muestras de agua del lago de Xochimilco se utilizaron kits específicos para HACH® de acuerdo a los métodos espectrofotométricos recomendados para aguas epicontinentales:

El Pt del agua de superficie y fondo se evaluó por el método del molibdo vanadato con digestión de ácido persulfuro 10127 HR (1.0 a 100.0 $mgPO_4^{3-}/L$).

El carbono orgánico total en el agua de superficie y de fondo por el método directo 10129 LR (0.3 a 20.0 $mg \cdot C/L$). El carbono orgánico total contenido en el agua intersticial por el método directo 10128 HR (100 a 700 $mg \cdot C/L$).

El $N-NH_4^+$ en el agua de superficie, fondo e intersticial de determinó por el método espectrofotométrico del indofenol (Scheiner 1976).

Parámetros Biológicos

Para el cálculo de la abundancia y de la biomasa bacteriana se tomaron muestras de 18mL de agua de superficie y fondo con una jeringa estéril de 10mL preservándolas en frascos ámbar con 2mL de formaldehído al 20% saturado con borato. En el caso del sedimento, se tomaron 2 cm^3 de sedimento superficial con una jeringa estéril de 5mL sin punta y se preservaron en frascos ámbar con 18mL de formaldehído al 2% saturado con borato. Tanto las muestras de

agua como las de sedimentos se almacenaron a 4°C en oscuridad hasta su procesamiento.

El cálculo del número bacterias totales se efectuó por conteo directo utilizando un microscopio de epifluorescencia Olympus BX-60 de acuerdo a Herbert (1990) y Aparicio-Osorio et al. (2010), y el fluorocromo 4'-6-diamino-2-fenilindol (DAPI). El cálculo de la biomasa bacteriana heterótrofa se llevó a cabo utilizando la relación biovolumen: carbono propuesto por Lee y Fuhrman (1987); el biovolumen se calculó de acuerdo a Torreton (1991).

Análisis estadísticos

Para observar la agrupación de las diferentes estaciones de muestreo en función a la producción de biomasa bacteriana heterótrofa, se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el programa MVSP (Multi-Variate Statistical Package) 3.22®, así como el Loge para la estandarización de los datos, usando la opción de datos centrados y la regla de Kaiser para la extracción de los componentes principales (Kovach 1999).

Para determinar la influencia de las variables físicas y químicas sobre la producción de biomasa bacteriana heterótrofa en el agua de superficie, fondo y sedimentos superficiales se llevó a cabo un Análisis Multivariado de Correspondencia Canónica (ACC) considerando 18 variables físicas y químicas, utilizando el



programa MVSP 3.22®, así como el Loge para la estandarización de los datos y usando la opción de datos centrados y la regla de Kaiser para la extracción de los ejes (Kovach 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y química de la columna de agua y los sedimentos superficiales.

La temperatura ambiente en esta época osciló entre 17 y 27°C en las estaciones ubicadas frente a las instalaciones de la Marina y el Embarcadero respectivamente; la profundidad media fue de 85.8±59.7 cm presentándose la menor en la estación ubicada en la laguna de Tlilac (40cm) y la mayor en el vertedero del Cerro de la Estrella (200cm). Lo anterior difiere con el estudio realizado por Benítez-Díaz-Mirón et al. (2014) quienes reportaron una profundidad media de 56.7±7.6 cm, esta diferencia puede deberse a que el programa de desazolve y recolección mecánica de lirio fue más intensa en esta época (Ferrara-Guerrero et al., 2014).

La transparencia en la columna de agua fue en general baja, la menor transparencia se presentó en La Virgen (21cm) y la mayor en Tlilac (28.5cm) lo cual podría estar asociado a una resuspensión de sedimentos provocada por el tránsito constante de trajineras en los canales, lo que ocasiona poca penetración de luz, baja producción fotosintética y un exceso de carbono y nitrógeno orgánico e inorgánico en la columna de agua (Tabla 1).

La temperatura en el agua superficial varió entre 17.5 y 19°C y en el agua de fondo entre 16.5 y 19°C. La mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua superficial y de fondo se presentó en la estación ubicada en la laguna de Tlilac (11.9 y 10.8mg/L respectivamente) y la menor en el agua de superficie en la estación vertedero de Cerro de la Estrella (5.78mg/L). Las altas concentraciones de oxígeno disuelto en la estación ubicada en la laguna de Tlilac (Tabla 1) se deben a que esta zona de muestreo se encuentra ubicada dentro de un área poco perturbada del polígono de conservación y por lo tanto no hay un aporte excesivo de compuestos orgánicos que permitan una mayor demanda biológica y bioquímica de oxígeno para procesos de oxidación y reducción de la materia orgánica. Lo anterior podría comprobarse con las relativamente bajas concentraciones de material suspendido encontradas en esta estación (37.8mg/L en superficie y 67.2mg/L en fondo). Por otro lado, estas altas concentraciones de oxígeno podrían ser también un efecto del continuo paso de lanchas que remueven la columna de agua permitiendo que la superficie de agua se mezcle con el oxígeno atmosférico.

La menor concentración de oxígeno disuelto en agua de fondo fue de 4.9mg/L en la estación La Virgen, esta baja concentración de oxígeno coincidió con los valores más bajos del número total de bacterias (3.7×10^6 cel/mL),



debido a las altas concentraciones de materia orgánica (3.9%) y de limos (34.4%) acumulados en el sedimento (Tabla 2), la demanda biológica de oxígeno es mayor y esto trae como consecuencia una disminución en la concentración de oxígeno disuelto y en el número total de bacterias aerobias capaces de hidrolizar los compuestos orgánicos que se depositan en el sedimento. El estado subóxico que prevalece en esta estación podría deberse también a la poca penetración de luz hacia el fondo de la columna de agua (21cm de transparencia) y por ende a una disminución en la actividad fotosintética bentónica.

En general, los valores de oxígeno disuelto obtenidos coinciden con el estudio de Benítez-Díaz Mirón et al. (2014) quienes reportaron concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 4mg/L, lo que consideran como condiciones favorables para la presencia del zooplancton y de una gran parte de la microflora heterótrofa.

La concentración de materiales suspendidos en la columna de agua fue elevada (Tabla 1) y muy variable, presentándose la mayor concentración de materiales suspendidos en el agua superficial de la estación localizada frente a las instalaciones de la Marina (518.2mg/L) y la menor en vertedero de Cerro de la Estrella (15.6mg/L). En el agua de fondo también fue muy variable, presentándose la mayor concentración (705.4mg/L)

frente al CIBAC y la menor (9.2mg/L) en vertedero de Cerro de la Estrella. De acuerdo con la clasificación de Prati et al. (1971), las concentraciones mayores a 100mg/L de sólidos suspendidos indican una ligera contaminación y concentraciones de >278mg/L son características de aguas contaminadas como es el caso del agua de fondo del CIBAC (705.4mg/L) y del Embarcadero (573.6mg/L) y del agua de superficie de la estación ubicada frente a las instalaciones de la Marina (518.2mg/L), mientras que concentraciones menores a 100mg/L son indicadoras de contaminación baja o nula: vertedero del Cerro de la Estrella (15.6 y 9.3mg/L en el agua de superficie y fondo respectivamente), laguna de Tlilac (37.8mg/L en el agua superficial y 67.2mg/L en el agua de fondo) y La Virgen (33.3 y 40.3mg/L en superficie y fondo).

Los niveles de fósforo total fueron en general altos (Tabla 2) lo que puede conllevar a la reducción de $P-PO_4^{2-}$. En el estudio de Ferrara-Guerrero et al. (2014) se habla de una relación entre la concentración de materiales suspendidos y la concentración de $P-PO_4^{2-}$ lo que coincide con nuestros resultados ya que en aquellas estaciones donde los valores de fósforo total son más altos también se presentaron los mayores valores de materiales suspendidos (Embarcadero 9mg·P/L y CIBAC 8.2mg·P/L).

Tabla 2. Concentración de nutrientes en la columna de agua y el agua intersticial y textura y contenido de materia orgánica en los sedimentos de las estaciones de muestreo en el Lago de Xochimilco.

Nutrientes (mg/L)								
Estación	COT Superficie	COT Fondo	COT Intersticial	Pt Superficie	Pt Fondo	N-NH ₄ ⁺ Superficie	N-NH ₄ ⁺ Fondo	N-NH ₄ ⁺ Sedimento
Cerro de la Estrella	0.1	0	461.0	4.6	1.9	0.6	1.1	0.7
Embarcadero	17.9	17.6	117.0	9	8.1	2.9	3.7	21.9
Tlilac	19.8	19.6	171.0	7.7	4.7	1.2	0.9	23.6
La Virgen	0	0.1	91.0	4	3.8	2.4	2.7	42
CIBAC	19.4	12.5	58.0	5.5	8.2	1.1	1.9	83
La Marina	19.5	20.1	59.0	5.6	5.7	2.8	3.3	13.4

Textura y materia orgánica (%)				
Estación	Arena	Limo	Arcilla	MO
Cerro de la Estrella	79.6	16.4	4	3.5
Embarcadero	69.6	20.4	10	2.8
Tlilac	56	30	14	1.5
La Virgen	51.6	34.4	14	3.9
CIBAC	47.6	28.4	24	0.4
La Marina	64.4	21.6	14	4

COT = carbono orgánico total; Pt= fósforo total, MO=materia orgánica



La media de pH fue de 7.59 ± 0.89 igual que lo reportado por Ferrara-Guerrero et al. (2014), y se pudo observar que algunas zonas de los canales se están salinizando (vertedero del Cerro de la Estrella, La Virgen y frente a la Marina) ya que se llegaron a detectar valores de salinidad de entre 2 y 3ppm en el agua de superficie y de fondo (Tabla 1).

En la columna de agua, los valores del carbono orgánico total fueron hasta 7 veces menores que en el agua intersticial (Tabla 2) y en los sedimentos de la zona de descarga de las aguas tratadas del Cerro de la Estrella la concentración de carbono orgánico total fue 400 veces mayor en el agua intersticial que en la columna de agua.

En un trabajo experimental llevado a cabo por Strauss y Lamberti (2000) en sedimentos acuáticos, se observó que altas concentraciones de carbono orgánico inhiben la nitrificación, es decir, el proceso microbiano a través del cual se lleva a cabo la conversión de amonio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-). Esto puede explicar los altos valores en las concentraciones de N-NH_4^+ (Tabla 2) que se obtuvieron ya que los altos contenidos de carbono orgánico total en el agua intersticial pueden estar inhibiendo el proceso de nitrificación y por lo tanto del reciclamiento de nutrientes inorgánicos nitrogenados oxidados hacia la columna de agua. La concentración de carbono orgánico total en la columna de agua no es regulada por norma alguna, sin

embargo en la NOM-014-CONAGUA-2003 se considera una concentración de 16mgC/L como límite máximo permisible para sistemas de recarga superficial y subsuperficial; y una concentración de 1mgC/L como el límite máximo permisible en sistemas de recarga directos que alcancen las aguas subterráneas.

La concentración de N-NH_4^+ fue siempre mayor en el agua intersticial, sin embargo frente al CIBAC la concentración registrada (83mg/L) fue dos veces mayor que en La Virgen (42mg/L) y hasta cuatro veces mayor que en el resto de las estaciones (Tabla 3). De acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994 podemos clasificar al agua de los canales de Xochimilco como un ambiente hipereutrófico, ya que concentraciones mayores a $0.5\text{mgN-NH}_4^+/\text{L}$ son indicadores de este tipo de ambientes. Esta clasificación se confirma con los valores de fósforo total obtenidos (4 a 9mg P/L en el agua superficial y de 1.9 a 8.2mg P/L en el agua de fondo) que de acuerdo con la OCDE (1982) son valores característicos de ecosistemas hipertróficos.

En general, los sedimentos del Lago de Xochimilco fueron de tipo limo-arcilloso (Tabla 2). Los valores de materia orgánica en los sedimentos de las diferentes estaciones de muestreo presentaron una gran variación ($2.7 \pm 1.5\%$) por lo que éstos pueden ser clasificados desde muy pobres (0.4% en frente al CIBAC) hasta muy ricos (4% en La Virgen y en frente a las insta-

Tabla 3. Número total de bacterias heterótrofas (NTBH), biomasa bacteriana heterótrofa (BBH) y volumen celular (VolC) en la columna de agua y sedimentos superficiales de los canales de la zona chinampera del Lago de Xochimilco.

Estación	NTBH	NTBH	NTBH	BBH	BBH	BBH	VolC	VolC	VolC
	As (Cél/mL)	Af (Cél/mL)	S Cél/cm ³	As (mgC/L)	Af (mgC/L)	S (mgC/m ²)	As (µm ³)	Af (µm ³)	S (µm ³)
Cerro de la Estrella	9X10 ⁶	5.2x10 ⁶	2.1x10 ⁷	3.92	1.68	9.07	1.1	0.9	1.2
Embarcadero	5.4x10 ⁶	11x10 ⁶	9x10 ⁶	2.26	2.94	4.66	1.1	0.7	1.5
Tlilac	6.5x10 ⁶	4.7x10 ⁶	1.2x10 ⁷	1.94	1.97	7.10	0.8	1.1	1.7
La Virgen	3.7x10 ⁶	3.7x10 ⁶	2x10 ⁷	1.38	0.94	9.24	1	0.7	1.3
CIBAC	6.1x10 ⁶	4.7x10 ⁶	1.5x10 ⁷	1.56	1.85	6.67	0.7	1	1.1
La Marina	7.2x10 ⁶	6.2x10 ⁶	1.3x10 ⁷	1.89	1.65	8.13	0.7	0.7	1.9

Agua de superficie (As); agua de fondo (Af) ; sedimentos superficiales (S)

laciones de la Marina) (Tabla 2), y de acuerdo con la media obtenida en general, los sedimentos de la zona estudiada del lago de Xochimilco se clasifican como ricos en materia orgánica.

Biomasa bacteriana

El promedio de número total de bacterias en el agua de superficie fue de $6.3 \times 10^6 \pm 1.8 \times 10^6$ células/mL; en el caso del agua de fondo de $5.9 \times 10^6 \pm 2.6 \times 10^6$ células/mL y en los sedimentos de $1.5 \times 10^7 \pm 4.7 \times 10^6$ células/cm³ (Tabla 3). En el agua de superficie de la estación vertedero del Cerro de la Estrella se presentó el mayor

número total de bacterias (9×10^6 células/mL) y el menor en La Virgen (3.7×10^6 células/mL), en el agua de fondo de la estación Embarcadero se presentó el mayor número total de bacterias (11.0×10^6 células/mL) y el menor se presentó en la estación La Virgen (3.7×10^6 células/mL). En los sedimentos fue en la estación vertedero del Cerro de la Estrella la que presentó el mayor número total de bacterias (2.1×10^7 células/cm³) y en el Embarcadero fue un factor de diez veces menor (9×10^6 células/cm³) (Tabla 3). Las altas concentraciones de bacterias en el agua y los sedimentos del vertedero del Cerro

de la Estrella se debe al vertimiento de aguas tratadas con altos contenidos de partículas orgánicas e inorgánicas, que ocasionan que haya una alta actividad mineralizadora por las bacterias heterótrofas aerobias estrictas (De la Lanza y Rodríguez 1990), esto coincide con los valores menores de oxígeno encontrados en esta estación (5.8 y 5.6mg/L en el agua de superficie y de fondo respectivamente) debido a la alta demanda biológica de oxígeno de los microorganismos heterótrofos. Además de las partículas orgánicas provenientes de las aguas tratadas de la planta del Cerro de la Estrella, se presenta un elevado aporte de compuestos orgánicos de origen doméstico y agrario debido a las zonas habitacionales y agropecuarias contiguas a los canales.

La abundancia de bacterias heterótrofas encontradas en esta época del año está por encima de lo detectado por Biddanda et al. (2001), que reportan densidades de 10^4 a 10^5 cél/mL a lo largo de un gradiente trófico en varios lagos pequeños de Minnesota. En general, nuestros resultados coinciden con lo reportado por Hakspiel-Segura et al. (2015) en reservorios de alta montaña en Colombia, ya que los mayores conteos de bacterioplancton coincidieron ocasionalmente con niveles altos de carbono y el contenido de carbono orgánico total en el agua intersticial, lo que significa que las poblaciones bacterianas heterótrofas presentes

en este ecosistema cuentan con una gran disponibilidad de nutrientes para su desarrollo.

En cuanto a los volúmenes celulares promedio, se observó que no hubo diferencias significativas entre el agua de superficie y de fondo ($0.9 \pm 0.2 \mu\text{m}^3$ y $0.8 \pm 0.2 \mu\text{m}^3$ respectivamente). El mayor volumen celular en el agua de superficie fue de $1.1 \mu\text{m}^3$ (vertedero del Cerro de la Estrella y Embarcadero) y el menor fue de $0.7 \mu\text{m}^3$ (Frente al CIBAC y La Marina). En el agua de fondo, el mayor volumen celular se encontró en la laguna de Tlilac y el menor en el Embarcadero, La Virgen y frente a las instalaciones de la Marina. En el sedimento los volúmenes celulares fueron mayores ($1.9 \mu\text{m}^3$ frente a las instalaciones de la Marina y $1.1 \mu\text{m}^3$ frente al CIBAC) (Tabla 3).

De acuerdo con Young (2007) el tamaño celular puede ser el resultado de varias fuerzas selectivas tales como la dispersión, la motilidad, la disponibilidad de nutrientes, la remoción por pastoreo y la evasión a la depredación. A menudo la incidencia de células de mayor tamaño se asocia a poblaciones metabólicamente activas, al aumento de biomasa y/o al proceso de división celular cuando no hay limitación por nutrientes (Koton-Czarnecka y Chróst 2002). Por otra parte, el dominio de una estructura de tallas dominada por células pequeñas ($<0.18 \mu\text{m}^3$) sugiere la existencia de un reservorio de carbono importante que apa-



rentemente es menos vulnerable a la remoción por depredación en comparación con tamaños mayores (Hakspiel-Segura et al., 2015). Los volúmenes celulares en el lago de Xochimilco no corresponden a las tallas menores antes mencionadas, pues en todos los estratos los volúmenes celulares superan los $0.18\mu\text{m}^3$, por lo que se puede inferir que existe una transferencia eficiente de carbono a través del asa microbiana a niveles tróficos superiores. Esto también fue señalado por González et al. (1990), quienes también observaron en aguas estuarinas, tasas de remoción por pastoreo dos a cuatro veces mayores sobre bacterias con volúmenes cercanos a $0.66\text{-}0.68\mu\text{m}^3$ en comparación con tratamientos basados en tamaños de presas menores ($\sim 0.08\mu\text{m}^3$)

De manera general, la biomasa bacteriana heterótrofa fue mayor en los sedimentos ($7.48\pm 1.8\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2$), seguida por el agua de superficie ($2.16\pm 0.92\text{mg}\cdot\text{C}/\text{L}$) y finalmente el agua de fondo ($1.84\pm 0.65\text{mg}\cdot\text{C}/\text{L}$). En el sedimento, donde se encontró la mayor biomasa fue en La Virgen ($9.24\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2$) y la menor en Embarcadero ($4.66\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2$). En el agua superficial la mayor biomasa bacteriana heterótrofa fue de $3.92\text{mg}\cdot\text{C}/\text{L}$ en la estación vertedero del Cerro de la Estrella y la menor se presentó en La Virgen ($1.38\text{mg}\cdot\text{C}/\text{L}$). En el agua de fondo la mayor biomasa bacteriana heterótrofa se presentó en el Embarcadero ($2.94\text{mg}\cdot\text{C}/\text{L}$) y la menor en La Virgen ($0.94\text{mg}\cdot\text{C}/\text{L}$) (Tabla 3).

De acuerdo con Gasol et al. (1997) los ecosistemas eutróficos tienden a ser autótrofos, mientras que de acuerdo con Biddanda y Benner (1997), los ecosistemas oligotróficos tienden a ser heterótrofos. Por otra parte, Sanders et al. (1992) sugieren que en sistemas mesoeutróficos altos en clorofila, es probable que los bacterívoros sean capaces de ejercer un control mayor sobre la abundancia (por ende la biomasa) bacteriana. Biddanda et al. (2001) mencionan que se espera que la biomasa relativa así como la magnitud del flujo de carbono a través de las bacterias sea mayor en aguas oligotróficas que en eutróficas, probablemente por alguna de estas explicaciones: 1) las bacterias son menos abundantes en el final del gradiente eutrófico porque son selectivamente depredadas por bacterívoros (Fuhrman y Noble 1995) o 2) la biomasa bacteriana es relativamente más abundante en sistemas oligotróficos debido a su habilidad para adquirir nutrientes en concentraciones ambientales bajas.

Para conocer las estaciones que presentaron similitud con respecto a los valores de biomasa bacteriana heterótrofa (en agua de superficie, fondo y sedimento) se realizó un análisis de Componentes Principales (Fig. 2) el cual arrojó la formación de dos componentes, el componente 1 presentó una correlación factorial alta (0.7) con la biomasa bacteriana heterótrofa en el agua de fondo y una correlación fac-



HACIA LA TRANSDISCIPLINA Y LA SUSTENTABILIDAD EN LA SUBCUENCA DE XOCHIMILCO Y SUS AFLUENTES
NÚMERO ESPECIAL No. 5. AÑO 7. No. 14. JUNIO A DICIEMBRE DE 2017.

torial negativa (-0.7) con la biomasa bacteriana heterótrofa de los sedimentos superficiales formándose así dos grupos de estaciones: el primero formado por las estaciones Embarcadero, Tlilac y CIBAC que se caracterizan por presentar las mayores concentraciones de biomasa bacteriana heterótrofa en el agua de fondo y en el caso de la estación Embarcadero se registró la menor biomasa bacteriana heterótrofa en el sedimento agrupándose hacia el extremo derecho del eje horizontal. El segundo grupo está formado por las estaciones La Virgen y la Marina caracterizadas por presen-

tar los mayores valores de biomasa bacteriana heterótrofa en los sedimentos y sin embargo en la estación La Virgen la biomasa bacteriana heterótrofa en el agua de fondo fue de las menores (Fig. 2). El componente 2 mostró una correlación factorial negativa (-0.9) con la biomasa bacteriana heterótrofa del agua superficial y en él se agrupó únicamente la estación del vertedero del Cerro de la Estrella, siendo la que presentó mayor concentración de biomasa bacteriana heterótrofa en agua superficial de dos a tres veces mayor que en las demás.

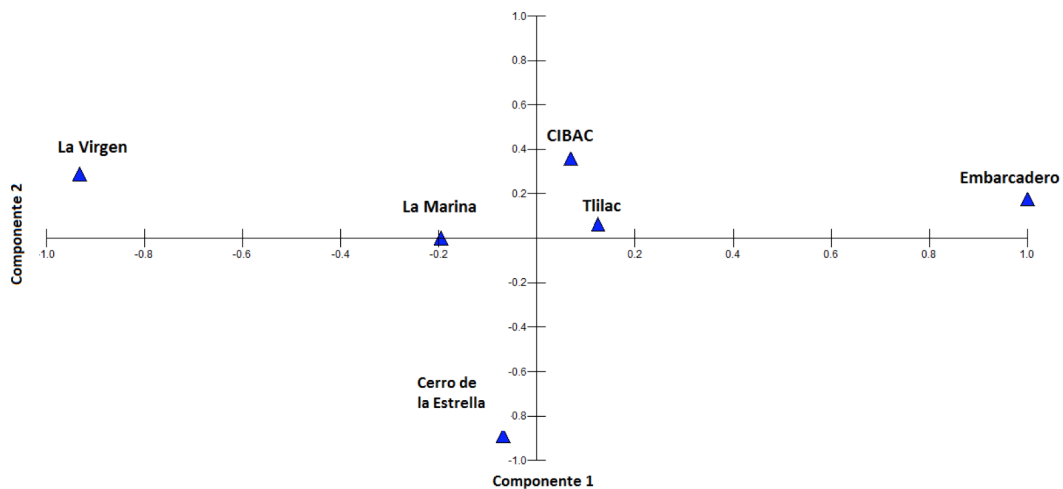


Figura 2. Análisis de Componentes Principales de las estaciones de muestreo en el Lago de Xochimilco en función de la biomasa bacteriana heterótrofa del agua de superficie, de fondo y los sedimentos superficiales

En el análisis de Correspondencia Canónica (ACC) considerando 18 variables físico-químicas (profundidad, transparencia, O_2 , temperatura, pH, salinidad, $N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, nitrógeno total, fósforo total, ortofosfatos, carbono orgánico total, materia orgánica, materiales suspendidos, limo, arena, arcillas), 10 mostraron una relación con la biomasa bacteriana heterótrofa que juntas explican el 100% de la varianza total (pH del agua superficial (pHS); salinidad del agua de fondo (%oF); COT del agua intersticial (COTSE); transparencia de la columna de agua (TR);

temperatura del agua de fondo (TF); fósforo total del agua superficial (PtS); MES del agua de fondo (MF); COT del agua de fondo; oxígeno disuelto del agua de fondo (OF) y amonio del agua de fondo (NH4F) (Fig. 3).

Se observó la formación de tres grupos que asocian correlaciones de las variables con la producción de biomasa bacteriana heterótrofa en los tres niveles, en el primer grupo se muestra que la biomasa bacteriana del sedimento se asocia de manera negativa con el pH del agua superficial (-0.79) y la salinidad del agua de fondo (-0.78) (Fig. 3), esto probablemente

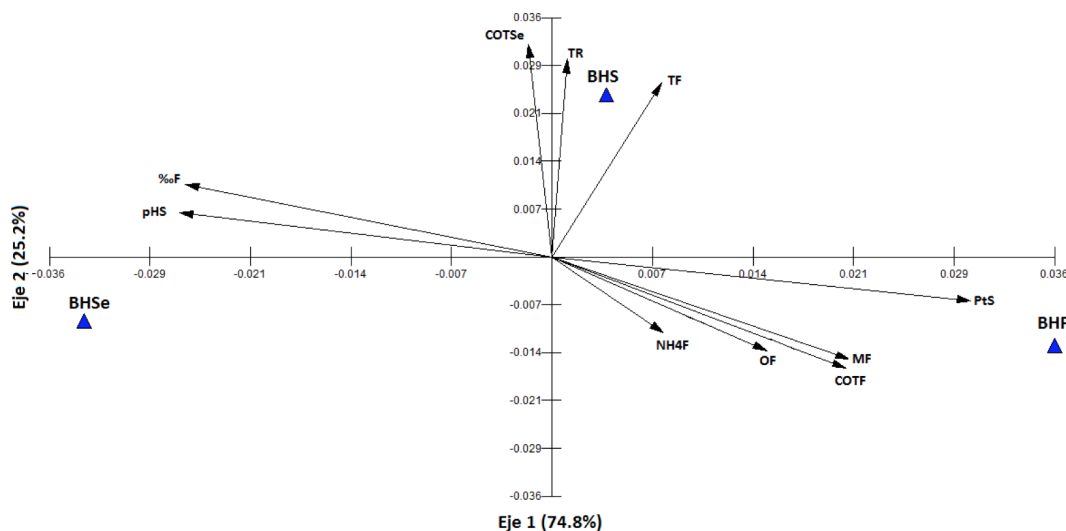


Figura 3. Análisis de Correspondencia Canónica de la Biomasa bacteriana heterótrofa y las variables físicas y químicas en la columna de agua (superficie y fondo) y los sedimentos superficiales del Lago de Xochimilco.



debido a que las variaciones en el pH tienden a tener efectos de toxicidad de algunos compuestos como el amoníaco, el ácido cianhídrico, el ácido sulfhídrico y algunos metales que se solubilizan afectando directamente la distribución, diversidad y naturaleza de los procesos llevados a cabo por los microorganismos (Stringer 1972), por otra parte, en cuanto a la salinidad, Blundell y Wild (1969) mostraron que en cultivos experimentales existe una respuesta inhibitoria en la síntesis de RNA así como de proteínas debido a la presencia de algunos iones metálicos y por ende una inhibición del crecimiento bacteriano.

En el segundo grupo, la producción de biomasa en el agua superficial se ve influenciada por el carbono orgánico total del agua intersticial (0.95), la transparencia (0.88) y la temperatura en el agua de fondo (0.78); mientras que en el tercer grupo, la producción de biomasa en el agua de fondo está correlacionada fuertemente con el fósforo total del agua superficial (0.89).

CONCLUSIÓN

Todas las estaciones se encontraron en estado hipereutrófico durante la época de muestreo y se observó que estas condiciones dan lugar a una alta producción de biomasa bacteriana heterótrofa, que en comparación con otros ecosistemas semejantes es alta, lo cual

está relacionado con el volumen medio de las células que también fue mayor. El hecho de que en este ecosistema se hayan encontrado células bacterianas de gran tamaño nos permite inferir que la transferencia de carbono dentro de la red trófica detritívora es eficiente, ya que tamaños celulares mayores a $0.18\mu\text{m}^3$ hacen a las bacterias más susceptibles a la depredación. Además, las formas disueltas del carbono orgánico total y del fósforo total procedentes de vertimientos de aguas residuales que provienen de los asentamientos humanos periféricos están siendo bien asimilados por estos microorganismos heterótrofos y esto se ve reflejado en los altos valores de la biomasa bacteriana heterótrofa obtenidos tanto en la columna de agua como en los sedimentos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Biólogo Carlos Rodrigo Paredes Ocaranza por su apoyo en la realización de los análisis estadísticos multivariados.

BIBLIOGRAFÍA

- Adu AK. y JM Oades. 1978. Utilization of organic materials in soil aggregates by bacteria and fungi. *Soil and Biological Biochemistry* 10: 117-122.
- Alef K y P Nannipieri. 1995. *Method in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Nueva York, USA.



- Álvarez S. 2005. La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. *Ecosistemas* 14 (2):17-29.
- American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17° Ed. APHA. Washington DC. 1469 p.
- Aparicio-Osorio O, MJ Ferrara-Guerrero, J Aldeco, MG Figueroa-Torres. 2010. Producción del carbono del bacteriobentos fotótrofo en las biopelículas sedimentarias de una laguna costera del sur del Golfo de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 10 (20): 103-119.
- Bailey VL, JL Smith y H Bolton Jr. 2002. Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestrations. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 997-1007.
- Benítez-Díaz Mirón MI, M Zamora-García, ME Castellanos-Páez, G Garza-Mouriño, R Contreras-Tapia y J Flores-López Tello. 2014. Determinación de la biomasa de una comunidad zooplanctónica en el Canal Nacional de Cuernavaca, Xochimilco. p. 73-80. En Figueroa-Torres MG, F Linares-Jauregui, MJ Ferrara-Guerrero y J Castro-Mejía (eds.). *Manejo Integral de la Cuenca de Xochimilco y sus Afluentes*. Revista Digital E-Bios.
- Biddanda BA y R Benner. 1997. Major contribution from mesopelagic plankton to heterotrophic metabolism in the upper ocean. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 44: 2069-2085.
- Biddanda B, M Ogdahl, J Cotner. 2001. Dominance of bacterial metabolism in oligotrophic relative to eutrophic waters. *Limnology and Oceanography* 46 (3): 730-739.
- Blundell MR y DG Wild. 1969. Inhibition of bacterial growth by metal salts. *Biochemical Journal* 115: 207-212.
- Bouyoucos GJ. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54 (5): 464-465.
- Bratbak G. 1993. Microscope methods for measuring bacterial biovolume: epifluorescence microscopy, scanning electron microscopy, and transmission electron microscopy. p.753
- En Kemp PP, BF Sherr, EB Sherr y JJ Cole (eds.). *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*. Lewis Publishers. USA.
- Cuevas E y E Medina. 1998. The role of nutrient cycling in the conservation of soil fertility in tropical forested ecosystems. p. 263-278. En Gopal B, PS Patahak y Sax-



- eana KG (eds.). An anthology of contemporary ecological research. Ecology Today, International Scientific Publications. New Delhi, India.
- De la Lanza G y MM Rodríguez. 1990. Caracterización regional de la laguna de Caimanero, Sinaloa, México, a través de algunas variables geoquímicas. *Ciencias Marinas* 16 (3): 27-44.
- Ferrara-Guerrero MJ, M Hernández-Hernández, JR Ángeles-Vázquez, A Ponce-Mendoza, MG Figueroa y C Vargas-Solis. 2014. La nitrificación microbiana como indicadora de la calidad del agua en los canales de la zona chinampera de Xochimilco (México) p. 35-44. En Figueroa-Torres MG, F Linares-Jauregui, MJ Ferrara-Guerrero y J Castro-Mejía (eds.). *Manejo Integral de la Cuenca de Xochimilco y Sus Afluentes*. Revista Digital E-Bios.
- Figueroa-Torres MG, F Linares-Jauregui., MJ Ferrara-Guerrero y J Castro-Mejía (eds.). 2014. *Manejo Integral de la Cuenca de Xochimilco y sus afluentes*. Revista Digital E-Bios. 118 p.
- Fuhrman JA y RT Noble. 1995. Viruses and protists cause similar bacterial mortality in coastal sea water. *Limnology and Oceanography* 40: 1236-1242.
- Gasol JM, PA del Giorgio y CM Duarte. 1997. Biomass distribution in marine planktonic communities. *Limnology and Oceanography* 42: 1353-1363.
- González JM, EB Sherr y BF Sherr. 1990. Size-selective grazing on bacteria by natural assemblages of estuarine flagellates and ciliates. *Applied and Environmental Microbiology* 56 (3): 583-589.
- Hakspiel-Segura C, A Canosa-Torrado y JP Niño-García. 2015. Variación espacial del bacterioplancton en un reservorio de alta montaña en los Andes colombianos. *Hidrobiológica*. 25 (1): 62-73.
- Herbert RA. 1990. Methods for enumerating microorganisms and determining biomass in natural environments. p. 628. En Grigorova R y JR Norris (Eds). *Methods in Microbiology* Vol. 22. Academic Press. USA.
- Jahnke RA y DB Craven. 1995. Quantifying the role of heterotrophic bacteria in the carbon cycle: A need for respiration rate measurements. *Limnology and Oceanography* 40 (2): 436-441.
- Jenkinson DS y JN Ladd. 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. p. 415-471. En Paul EA, y JN Ladd (eds.). *Soil Biochemistry*. Vol 5. Marcel Dekker. Nueva York, USA.

- Kovach WL. 1999. MVSP -A Multivariate Statistical Package for Windows, ver. 3.1. Kovach Computing Services. Pentraeth, Wales, UK. 133p.
- Koton-Czarnecka M y RJ Chróst. 2002. Measurements of protozoan grazing on bacteria by means of [³H-thymidine]-labeled natural assemblages of lake bacteria. *Polish Journal of Environmental Studies* 11 (4): 385-393.
- Laws AE. 1981. *Aquatic Pollution*. Wiley Interscience Publication. USA. 482 p.
- Lee S y JA Fuhrman. 1987. Relationship between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. *Applied and Environmental Microbiology* 53 (6): 1298-1303.
- Laita L, M De Nobile, C Mondini, G Muhlbachora, L Marchiol, G Bragato y M Contin. 1999. Influence of inorganic fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. *Biology and Fertilization of Soils* 28/ 371 - 376.
- Lester JN y JW Birkett. 1999. *Microbiology and chemistry for environmental scientists and engineers*. 2° Ed. E and F.N. London. 312 p.
- Lowell CR y A Konopka. 1985. Primary and bacterial production in two dimictic Indiana Lakes. *Applied and Environmental Microbiology* 49 (3): 485-492.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003. Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
- OCDE. 1982. *Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte*. Paris. 164 p.
- Prati L, R Pavanello y F Pesarin. 1971. Assessment of surface water quality by a single index of pollution. *Water Research* 5: 741-751.
- Sanders RW, DA Caron y U-G Berninger. 1992. Relationships between bacteria and heterotrophic nanoplankton in marine and freshwaters: An inter-ecosystem comparison. *Marine Ecology Progress Series* 86: 1-14.
- Scheiner D. 1976. Determination of amonia and Kjeldahl nitrogen by indophenol method. *Water Research* 10: 31-36.
- Strauss EA y GA Lamberti. 2000. Regulation of nitrification in aquatic sediments by organic carbon. *American Society of Limnology and Oceanography* 45 (8): 1854-1859.
- Stringer ET. 1972. *Foundations of Climatology: An Introduction to Physical, Dynamic, Synoptic, and Geographical Climatology*. W.H. Freeman and Company. San Francisco. 566 p.
-



Torretón JP. 1991. Importance des bactéries hétérotrophes aérobies dans une lagune eutrophiée tropicale. (Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). Biomasse, production, exportations. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias de Luminy. Universidad de Aix-Marsella. 246 p.

Walkley A y IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37 (1): 29-38.

Winkler L. 1888. Die bestimmung des in Wasser Gelösten Sauerstoffes. *berichte der deutschen chemischen gesellschaft* 21 (2): 2843-2855.

Young KD. 2007. Bacterial morphology: Why have different shapes? *Current Opinion in Microbiology* 10 (6): 596-600.

CRECIMIENTO POBLACIONAL Y TASA DE INGESTIÓN Y FILTRACIÓN DE *DAPHNIA PULEX* (MÜLLER, 1785), MEDIANTE EL SUMINISTRO DE UNA DIETA MIXTA DE *SCENEDESMUS SP* Y *CHLORELLA SP*

González-Rentería M, Bustamante-González JD,
Albarrán-Hernández MP y González-Velasco J.

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Calzada del Hueso No.1100. Col. Villa Quietud.
México. CP.04960. CDMX. Delegación Coyoacán.

Email: biomarielagonzalez@gmail.com

RESUMEN

Los organismos del género *Daphnia* al igual que otros miembros del zooplancton desempeñan un papel importante en los ecosistemas acuáticos ya que representan un buen modelo biológico para estudios del estado trófico, ya que al ser organismos filtradores experimentan cambios en el tiempo y en el espacio, en lapsos de tiempo relativamente cortos en función de la disponibilidad y calidad de los alimentos. En este estudio se determinó el crecimiento poblacional, la tasa de ingestión y filtración de *Daphnia pulex* mediante el suministro de una dieta mixta de *Scenedesmus* sp. y *Chlorella* sp. La tasa de crecimiento poblacional por día (r) fue de 0.06-0.120d⁻¹, la tasa de ingestión presentó un pico máximo 250.781cél·org·día⁻¹ que coincide con el máximo de crecimiento poblacional 0.11org·mL⁻¹ y la mayor tasa de

filtración fue de 5.38org·día⁻¹ en organismos de laboratorio al utilizar una concentración de alimento de 4x10⁴cél·mL⁻¹ en contraste con los organismos silvestres.

Palabras clave: Crecimiento poblacional, Tasa filtración, Tasa ingestión, *Daphnia*, *Scenedesmus* sp., *Chlorella* sp.

ABSTRACT

Daphnia organisms, like other zooplankton members, play an important role in aquatic ecosystems as they represent a good biological model for studies of the trophic state, since they are subject to temporal and spatial variation in relatively short periods of time. In this study the population growth, ingestion rate and filtration of *Daphnia pulex* were determined by supplying a mixed diet of *Scenedesmus* sp and *Chlorella* sp. The population growth rate per day (r) was 0.06-0.120 d⁻¹,

the ingestion rate had a maximum peak 250,781 cells per day, which coincides with the maximum population growth $0.11 \text{ org} \cdot \text{mL}^{-1}$ and the highest filtration rate was $5.38 \text{ org} \cdot \text{day}^{-1}$ in laboratory organisms when using a feed concentration of $4 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ in contrast to wild organisms.

Key words: Population growth, Filtration rate, Ingestion rate, *Daphnia*, *Scenedesmus* sp., *Chlorella* sp.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades planctónicas de los sistemas acuáticos están constituidas por organismos con periodos de vida cortos y muchos de ellos son fácilmente manipulables. Lo anterior ha permitido la formulación de modelos sobre la estructura y funcionamiento de éstos a partir de hipótesis experimentales basadas en interacciones biológicas y físicas (Conde et al., 2004; Villalobos y González 2006).

Adicionalmente, es bien sabido que el zooplancton de agua dulce está compuesto por animales con altas tasas de crecimiento, un rasgo que les permite responder rápidamente a los cambios ambientales y cuya abundancia específica ha constituido un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos y para deducir la estructura de las comunidades acuáticas dadas las relaciones zooplancton-fitoplancton (Conde et al., 2004).

El género *Daphnia*, es de los más representativos dentro del grupo de los cladóceros y en la actualidad desempeñan un papel clave en los cuerpos de agua, ya que al ser filtradores suelen experimentar variaciones temporales y espaciales rápidas asociadas a la calidad de los alimentos (el tamaño, la toxicidad, los ácidos grasos esenciales y el contenido de fósforo), por lo cual este género ha sido considerado un modelo biológico para el estudio del estado trófico en cuerpos de agua, así como para la biorremediación de los mismos (Villalobos y González 2006; Dodson et al., 2010), ya que estos organismos llevan a cabo procesos del reciclado, mineralización y digestibilidad de materia orgánica, sin olvidar la capacidad de clarificación o limpieza del agua donde se presentan (Brito et al., 2006; Lampert y Sommer 2007).

Por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar el crecimiento poblacional y la tasa de ingestión y de filtración de *Daphnia pulex* mediante el seguimiento generacional a partir de una dieta mixta de *Scenedesmus* sp y *Chlorella* sp.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ejemplares iniciales de *D. pulex*, fueron colectados en un cuerpo de agua aledaño a la zona lacustre de Xochimilco debido a su disponibilidad y aclimatados bajo condiciones de

laboratorio durante un periodo de cinco días, una vez finalizado, se eligieron de la muestra inicial organismos de la misma talla y con ausencia de huevos.

Con la finalidad de obtener organismos clonales para el inicio del experimento. Se establecieron originalmente cinco lotes a partir de un solo organismo partenogenético en recipientes con 50mL de agua reconstituida 2.4g de $MgSO_4$, 3.84g de $NaHCO_3$ y 0.16g de KCl como medio de cultivo (APHA 1998).

El cultivo de microalgas se llevó a cabo en contenedores transparentes de 2L, usando fertilizante Peters 20:20:20 bajo aireación continua e iluminación fluorescente (2000lux de 70W). La densidad de microalgas se determinó bajo microscopio óptico (Olympus, Serie CX2) y Cámara de Neubauer. Una vez ajustada la concentración las microalgas se mantuvieron en refrigeración y obscuridad constante 24hrs para disminuir su metabolismo y mantener la densidad constante.

Los experimentos de crecimiento poblacional se llevaron a cabo durante 14 días. Se acondicionaron ocho contenedores transparentes con 50mL de medio APHA (1998) con cinco hembras partenogenéticas de *D. pulex* cada uno, pertenecientes a la tercera generación, siendo un total de 40 hembras, dando seguimiento a los neonatos.

Para el mantenimiento y análisis del crecimiento poblacional de *D. pulex* se adicionó una dieta mixta de *Scenedesmus* sp. al 90% y *Chlorella* sp. al 10%, a una concentración de 1×10^4 células $\cdot mL^{-1}$ y por organismo. Cabe mencionar que diariamente fue cuantificada la densidad de microalgas para determinar la tasa de alimentación así como los organismos de *D. pulex* presentes en cada una de las unidades experimentales incluyendo nacimientos y muertes.

La cantidad de organismos por unidad experimental se mantuvo siempre constante (cinco organismos) donde los muertos fueron retirados y los cladóceros restantes transferidos a un nuevo contenedor con medio de cultivo fresco, con la misma concentración de alimento y mismo número de organismos.

Los datos obtenidos de los ocho contenedores base durante los 14 días del experimento, permitieron calcular la tasa de crecimiento poblacional (r), mediante la ecuación propuesta por Krebs (1985).

$$r = \ln N_t - \ln N_0 / t$$

N_0 = densidad de la población inicial,

N_t = densidad después del tiempo t (día) y

t = tiempo que duro el experimento.

La tasa de ingestión (g) definida como el número de células consumidas por un organismo en un tiempo específico ($\text{cél} \cdot \text{org} \cdot \text{día}^{-1}$) se calculó con la siguiente fórmula (Brito et al., 2006; Martínez 1999).

$$g = (\ln C_0 - \ln C_t) (t^{-1})$$

C_0 = Concentración inicial de las microalgas,
 C_t = Concentración final de microalgas ($\text{cél} \cdot \text{mL}^{-1}$),
 t = intervalo entre C_0 y C_t (h).

Por otra parte, la tasa de filtración (F) definida como el volumen del agua (mL) que es separado de las partículas en suspensión por el aparato filtrante de los organismos por unidad de tiempo ($\text{org} \cdot \text{día}^{-1}$) (Brito et al., 2006), se calculó se con la ecuación propuesta por Martínez (1999).

$$g = (\ln C_0 - \ln C_t) (t^{-1})$$

V = Volumen (mL), g = tasa de alimentación,
 N = Número de organismos en cada tubo.

Cabe mencionar que en esta prueba se mantuvo a los organismos en estado de inanición por 30 minutos con el fin de vaciar su tracto digestivo (Alva et al., 2007), posteriormente se evaluó la filtración por organismo a tres tiempos 10, 20 y 30 minutos y a tres concen-

traciones diferentes de alimento ($1, 2$ y 4×10^4) con tres replicas cada uno, haciendo la comparación entre organismos obtenidos en laboratorio y organismos silvestres. Transcurrido el tiempo se extrajeron los organismos y se cuantificaron las densidades de microalgas restantes de la dieta (*Scenedesmus* sp. 90%, *Chlorella* sp. 10%) en los tubos de prueba (Peters 1984), utilizando un microscopio óptico (Olympus, Serie CX2) y Cámara de Neubauer.

El volumen final utilizado para el experimento fue de 15mL para cada tubo; para calcular la proporción en mL entre el medio de cultivo y el alimento se utilizó la fórmula:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_2 = C_2 \left(\frac{V_1}{C_1} \right)$$

C_1 = Concentración inicial de microalgas en cél mL^{-1} ,
 V_1 = Volumen utilizado por cada tubo de prueba (mL),
 C_2 = Concentraciones experimentales en cél mL^{-1} ,
 V_2 = Volumen de alimento en mL por cada tubo de prueba y concentración experimental.

Los resultados fueron procesados mediante análisis descriptivos como media \pm desviación estándar por medio del paquete estadístico Sigma Plot 11.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento poblacional

Los resultados correspondientes al crecimiento poblacional de *D. pulex* alimentada con una dieta mixta de *Scenedesmus* sp. 90% y *Chlorella* sp. 10% se muestran en la Figura 1, siendo los días 5, 9, 12 y 13 donde se detectaron los mayores crecimientos poblacionales (0.03, 0.05, 0.09 y 0.11 · org · mL⁻¹ respectivamente), con una tasa de crecimiento poblacional por día (r) de 0.06-0.120d⁻¹.

El comportamiento del crecimiento poblacional entre contenedores fue homogéneo si se considera que el análisis de resultados se realizó a partir de diferentes periodos mediante un seguimiento poblacional.

Es bien sabido que el crecimiento de los cladóceros está relacionado con la cantidad y calidad de los alimentos disponibles y se ve reflejado directamente sobre el crecimiento poblacional, independientemente de otras variables como la calidad del agua, tempera-

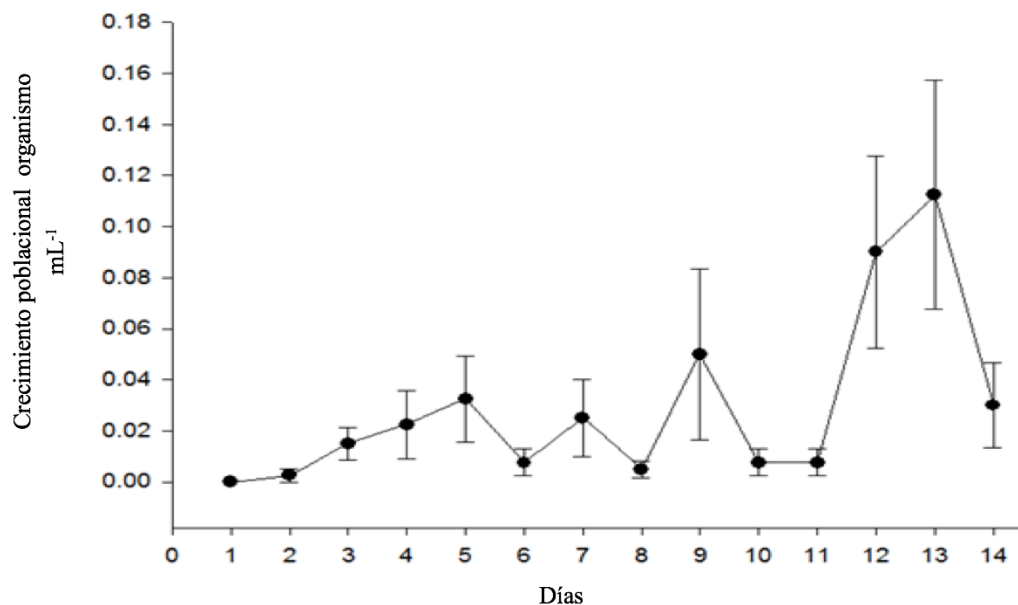


Figura 1. Curvas de crecimiento poblacional de *D. pulex*, con una dieta de *Scenedesmus* sp. 90% y *Chlorella* sp. 10%, a una concentración de 1x10⁴cél · mL⁻¹.



tura o fotoperiodo. En la presente investigación el comportamiento de la curva de crecimiento de *D. pulex* sugiere que el tamaño de *Scenedesmus* sp. y *Chlorella* sp. (<50µm) en su dieta es adecuado ya que no representó una barrera mecánica para su ingestión. En este sentido se puede decir que el género *Daphnia* no es un organismo selectivo con respecto a su alimentación y puede acceder a los recursos energéticos suficientes para desarrollar sus actividades metabólicas y generar descendencia (Alva et al., 2007).

Con respecto a la dieta experimental, las proporciones de microalgas fueron las adecuadas para el mantenimiento de la población, pero no para conseguir una elevada tasa de crecimiento poblacional en comparación con los resultados de otros autores, los cuales indican que a mayor concentración de alimento mayor crecimiento poblacional (Alva et al., 2007). Sin embargo, Otero et al. (2013) mencionan que la temperatura y la calidad del agua también influyen en el crecimiento poblacional, variables que no fueron consideradas en la presente investigación.

Por otro lado, Ebert (2005) indica que los organismos del género *Daphnia* a partir de su expulsión tardan de 5-10 días a 20 °C para comenzar a producir huevos y de ahí son capaces de tener crías cada 3-4 días hasta su muerte, valores similares a los reportados en la presente

investigación donde el número de neonatos diarios por hembra reportados osciló entre 6 y 24.

Sin embargo, el crecimiento poblacional puede verse afectado por la concentración de alimento, Alva et al. (2007) reportan una densidad poblacional 15.45 veces mayor a la obtenida en este estudio al suministrar una dieta de 100% *Scenedesmus* sp. a una concentración de 1×10^6 .

No obstante, Ortega y Reyes (1998) indican un incremento 16.81 veces mayor a la obtenida en este estudio y a la reportada por Alva et al. (2007) al suministrar una dieta de *Kirchneriella obesa* en *Daphnia magna* a una concentración 1×10^6 lo cual indica que una concentración alta de alimento influye en el crecimiento poblacional.

Tasa de ingestión

La tasa de ingestión fluctuó durante el experimento, el mayor consumo fue en los días 3, 9 y 13 (133.854; 112.760 y 250.781 cél·org·día⁻¹ respectivamente) (Fig. 2), días que concuerdan con el mayor crecimiento poblacional obtenido en el día 9 y 13 (0.05 y 0.11 org·mL⁻¹ respectivamente) (Fig. 2).

Se ha sugerido que la eficiencia del consumo está relacionada con la edad y el tamaño de los organismos. Se ha informado que los cladóceros que tienen alrededor de cuatro días de nacidos pueden consumir el equivalente del doble de lo que consumen los neonatos de

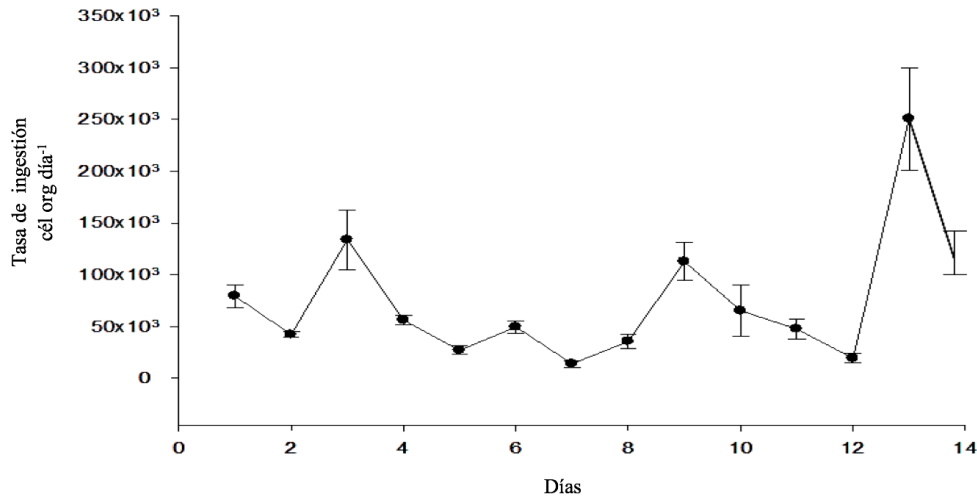


Figura 2. Tasa de ingestión de *D. pulex*, con una dieta de *Scenedesmus* sp. 90% y *Chlorella* sp. 10% a una concentración de 1×10^4 cél·mL⁻¹.

un día de nacidos, lo que podría explicar los tres máximos que se observan en la Figura 1, considerando que en el diseño de los bioensayos las poblaciones de los lotes son heterogéneas con respecto a la edad.

Desde el punto de vista funcional el crecimiento poblacional es directamente proporcional a la concentración de alimento, hasta un punto a partir de la cual la tasa de ingestión se hace independiente de la concentración de alimento. Sin embargo, un aspecto a considerar en el proceso de ingesta, es la restricción física sobre el tamaño y forma de las partículas lo cual está relacionado con el tamaño del consumidor (Martínez 1999), en este sentido, se puede de-

cir que el tamaño y forma de *Scenedesmus* sp. y *Chlorella* sp. empleado como dieta en la presente investigación fue apropiado para *D. pulex*.

Tasa de filtración

Los organismos del laboratorio mostraron mayor eficiencia en la tasa de filtración $5.38 \text{ mL} \cdot \text{org} \cdot \text{día}^{-1}$, al emplear una concentración de 4×10^4 cél·mL⁻¹ (Fig. 4, S, L).

Los resultados de los organismos del laboratorio (Fig. 3, L) no concuerdan con lo que informa Ramos (1995), quien menciona que la tasa de filtración tiende a disminuir cuando se tiene una mayor concentración de alimento, comportamiento que solo se observó en los organismos silvestres (Fig. 3, S).

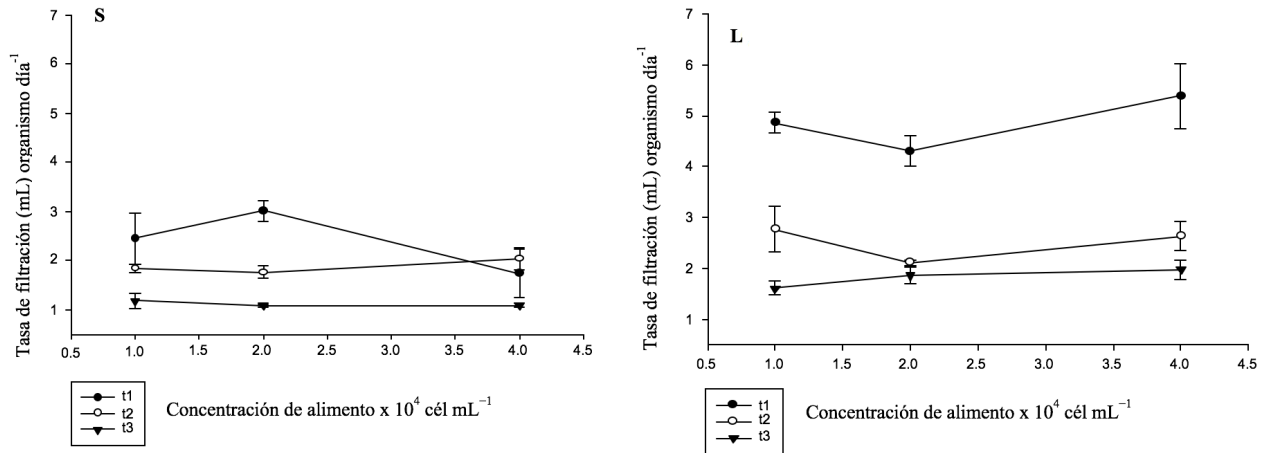


Fig. 3. Tasa de filtración de *D. pulex*, a diferentes tiempos (t_1 , t_2 y t_3), y diferentes concentraciones 1×10^4 , 2×10^4 y 4×10^4 cél mL⁻¹ con una dieta de *Scenedesmus* sp. 90% y *Chlorella* sp. 10%. (s) organismos silvestres, (L) organismos del laboratorio.

Aunado a esto Kilham et al. (1997) reportan que el incremento en la concentración de microalgas no garantiza el incremento en las poblaciones de cladóceros, debido a que puede provocar pérdida en la capacidad de fecundidad de las hembras.

En esta investigación se observó que los cladóceros cultivados en laboratorio procedentes de organismos silvestres pueden adaptarse fácilmente e incrementar sus tasas de filtración incluso a concentraciones elevadas de alimento, en contraste con los silvestres quienes mostraron poca eficiencia en la filtración. Meerhoff y Mazzeo (2004) indican que esto puede atribuirse a que en su medio natural es-

tán limitados por el alimento, debido a la presencia de plantas acuáticas flotantes las cuales tienen efectos inhibitorios sobre el desarrollo del fitoplancton, ya que propician la reducción de luz y nutrientes.

Dicha observación es sustentada por Martínez (2000) quien menciona que las poblaciones del grupo Cladocera se encuentran usualmente limitadas por alimento y la respuesta de los organismos frente a un gradiente de concentración de recursos tendría implicaciones sobre los patrones poblacionales y comunitarios.

Aunado a lo anterior, Espinosa et al. (1992) y Martínez (2000) mencionan que los límites fisiológicos y mecánicos en el proceso de fil-



tración se ajustan a medida que se incrementa el contenido de alimento, hasta un nivel máximo (Imax) en donde disminuye la actividad de filtración, tendencia similar a la obtenida en la presente investigación en los diferentes tiempos de observación.

CONCLUSIONES

Los organismos silvestres tuvieron una tendencia a filtrar y a alimentarse menos a concentraciones altas de alimento versus los organismos de laboratorio los cuales presentaron una tasa de alimentación y filtración superior.

D. pulex puede ser un organismo modelo para detectar rápidamente cambios en el ambiente cuya abundancia constituye un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos dada su capacidad filtrante y de alimentación.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Federico Alejandro Alva Martínez por el apoyo y asesoramiento para la realización de la presente investigación, a los revisores anónimos y a la Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco.

BIBLIOGRAFÍA

Alva MAF, Sarma SSS, Nandini S. (2007). Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus havanaensis* (Rotifera)

on mixed diets with *Microcystis aeruginosa* and Green algae. *Hidrobiológica*. 17: 59-67.

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

Brito D, Milani N, Pereira G. (2006). Tasa de filtración e ingestión de *Simocephalus vetulus* (Müller, 1776) (Crustacea: Cladóceras) alimentado con *Selenastrum capricornutum* printz, 1914 y *Chorella vulgaris* Beigerinck, 1890. *Interciencia*. 31: 753-757.

Conde PJM, Ramos RE, Morales RB. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lenticos. *Ecosistemas*. 13 (2): 23-29.

Ebert D. (2005). Ecology, Epidemiology, and Evolution of Parasitism in *Daphnia* [Internet]. Bethesda (MD): National Center for Biotechnology Information (US). Chapter 2, Introduction to *Daphnia* Biology. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2042/>

Espinosa CF, Martínez FJ, Ramírez GR. (1992). Tasa de filtración y cultivo de *Moina macrocopa* (Crustacea: Cladóceras) alimentada con *Scenedesmus incrassatulus* (Chlorophyceae) y estiércol vacuno digerido. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. <http://biblioweb.dgsc.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/19922/articulo410.html> [Consulta en línea 23 de Agosto de 2016].



- Dodson LS, Cáceres CE, Rogers CD. (2010). Cladocera and other brachiopoda. En: James HT, Covich A. 2010. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Third Edition. Elsevier Inc. p.773-827.
- Kilham SS, Kreeger PA, Goulden CE, Lynn S. (1997). Effects of algal food quality on fecundity and population growth rates of *Daphnia*. *Freshwater Biology*. 38: 639-647.
- Krebs CJ. (1985). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Third Edition. Harper and Row, New York. 800 p.
- Lampert W, Sommer U. (2007). *Limnoecology*. Second Edition. New York: Oxford University Press. p.162-180.
- Martínez G. (2000). Conducta alimentaria de *Daphnia ambigua* Scourfield 1947, *Moina micrura* Kurz 1874 y *Ceriodaphnia dubia* Richard 1895 (Cladocera) frente a un gradiente de concentración de alimento. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73(1): 47-54.
- Martínez G. (1999). Estrategias de alimentación de tres especies del zooplancton límnicco (Cladorera). *Revista Chilena de Historia Natural*. 72: 671-676.
- Meerhoff M, Mazzeo N. (2004). Importancia de las plantas flotantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de Sudamérica. *Ecosistemas*. 13(2): 13-22.
- Ortega SAA, Reyes BH. (1998). Crecimiento de *Daphnia magna* Strauss alimentada con *Kirchneriella obesa* (W. West) W. West y G.S. West, y con levadura de pan. *Ciencia y Mar*. 6: 3-6.
- Otero PA, Muñoz MP, RV Medina, Cruz CP. (2013). Efecto del alimento sobre variables productivas de dos especies de Cladóceros bajo condiciones de laboratorio. *Revista. MVZ Córdoba* 18: 3642-3647.
- Peters RH. (1984). Methods for the study of feeding, grazing and assimilation by zooplankton. En: Downing JA, Rigler FH. (Eds.). *A manual of methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters*. IBP Handbook 17, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Ramos JR. (1995). Agometría y Producción de Zooplanctones Herbívoros. *Revista Chilena de Historia Natural*. 68: 477-488.
- Villalobos JM, González EJ. (2006). Estudios sobre la Biología y Ecología de *Ceriodaphnia cornuta* SARS: Una revisión. *Interciencia*. 31(5): 351-357.



EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL AGUA TRATADA QUE ABASTECE LOS CANALES DE XOCHIMILCO Y DE LA FUNCIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL, ASOCIADOS AL DESARROLLO DEL ALGA *SELENASTRUM CAPRICORNUTUM* PRINTZ

¹Ramos-Espinosa MG, ²López-Hernández M,
¹Reboul-Salze F y ³Figueroa-Torres MG.

¹Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Departamento de Producción Agrícola y Animal. Calzada del Hueso1100, Villa Quietud. México, 04960, CDMX. Del. Coyoacán. Tel: 54837000 Ext. 3081;

²Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica: Ecología y Biodiversidad Acuática. Ciudad Universitaria s/n. Del. Coyoacán, 04510

México, CDMX.; ³Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Departamento El Hombre y su Ambiente. Calzada del Hueso1100, Villa Quietud, CDMX. Email: mgramos@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

El agua de la red de canales de Xochimilco en la Ciudad de México, es utilizada por los pobladores para actividades agrícolas, ganaderas, pesqueras y de turismo. El nivel del agua es mantenido mediante el abastecimiento de agua tratada proveniente de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella (PTCE) (95%) y por la Planta de Tratamiento de San Luis Tlaxialtemalco (PTSLT) (5%). En este estudio se analizó la calidad del agua obtenida directamente del afluyente de ambas plantas tratadoras a lo largo de seis muestreos realizados cada tres semanas (de febrero a mayo de 2008) y se comparó con la de un canal secundario de Xochimilco, para evaluar su función como humedal, considerando su en-

trada (EH) y su salida (SH). Se usaron como indicadores parámetros químicos: nutrientes (N-NO₂, N-NO₃, NT, P-PO₄ y PT) y metales pesados (Co, Cu, Ni y Mn) y el crecimiento poblacional algal de *Selenastrum capricornutum* Printz. El análisis de los resultados estadísticos mostró que en tres de los cuatro sitios, el N-NH₃ y los N-NO₂ registraron <1mg·L⁻¹; en tanto que los N-NO₃ y el NT fueron >5.4 y <7.4mg·L⁻¹ en los afluentes de ambas plantas de tratamiento y >1.2 y <2.9mg·L⁻¹ en la EH y SH respectivamente. Los valores más altos de P se registraron en PTSLT (16 a 20.9mg·L⁻¹). Se detectó Cu y Mn en los seis muestreos y en los cuatro sitios. El agua de la PTCE fue la que más inhibió el crecimiento del alga; en el agua de la SH se registró una estimulación >200%.

El agua de todos los sitios diluida al 50%, propició la estimulación del crecimiento poblacional del alga. La condición de eutrófico-hipereutrófico, la concentración de metales pesados y el bioensayo indican que la calidad del agua debe ser mejorada.

Palabras clave: Nutrientes, metales pesados, crecimiento poblacional algal, *Selenastrum capricornutum*.

ABSTRACT

Water from the network of Canals of Xochimilco in Mexico City, is used by villagers for agriculture, livestock, fishing activities and tourism. Water level is maintained through the supply of treated water from the Treatment Plant Cerro de la Estrella (PTCE) (95%) and by the Treatment Plant San Luis Tlaxialtamalco (PTS LT) (5%). This study analyzed water quality obtained directly from the tributary of both treatment plants, over six samplings carried out every three weeks (February to May 2008) and compared to a secondary channel to evaluate its function as a wetland, whereas its entry (EH) and the output (SH). We used chemical parameters as indicators: nutrients ($N-NO_2$, $N-NO_3$, NT, $P-PO_4$ y PT), and heavy metals: (Co, Cu, Ni y Mn); and algal population growth of *Selenastrum capricornutum* algae. The statistical overview points out that in three of the four sites, NH_3-N and $N-NO_2$

recorded $<1mg \cdot L^{-1}$; $N-NO_3$ and NT were >5.4 and $<7.4mg \cdot L^{-1}$ in the tributaries of both treatment plants and >1.2 and $<2.9mg \cdot L^{-1}$ in EH and SH respectively. Higher values of P is recorded in PTS LT (16 to $20.9 mg L^{-1}$). Cu and Mn was detected in six surveys in four studied sites. PTCE water caused the highest inhibition on growth of algae; in the water of the SH recorded a stimulation $>200\%$; when anywhere water is diluted to 50%, registering stimulation algal. The eutrophic-hipereutrófico condition, heavy metals and the algal bioassay indicated that the water quality should be improved.

Keywords: Nutrients, heavy metals, algal population growth, *Selenastrum capricornutum*.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano constante en la Ciudad de México siempre ha demandado agua para satisfacer diferentes actividades productivas y para el consumo humano; de acuerdo a la Encuesta Intercensal (INEGI, 2015), la ciudad de México contó para ese año con 8,918,653 habitantes, siendo la Delegación Iztapalapa (hacia el Este de la Ciudad) la de mayor número de habitantes con 1,827,858 en contraste con la Delegación Xochimilco (ubicada al Sur) con 415,933.

El crecimiento urbano de la Ciudad de México se ha extendido y ha llegado a las zonas rurales del sur, donde sus habitantes dependen mayormente de la agricultura como su prin-



principal fuente de ingresos; esta urbanización de las zonas rurales, no sólo está afectando los servicios ecosistémicos, como el suministro de agua o la modificación del microclima local, sino también su patrimonio cultural (Swinton et al., 2007; Wigle 2010). Si bien la urbanización de Xochimilco comenzó a finales de 1950, el proceso se aceleró durante la década de 1960, ya que en la zona chinampera se suscitó una desecación generalizada causada por la sobreexplotación de los acuíferos (Aréchiga, 2004). Los asentamientos irregulares, implicaron entradas adicionales de aguas residuales domésticas y de drenajes sin tratar, directamente a los canales.

La conservación de esta zona es vital por la infiltración de agua de lluvia necesaria para la recarga del acuífero que suministra el 57% del agua potable para la ciudad (SEMARNAT, 2011). La zona baja se caracteriza por su producción agrícola tradicional desarrollada en las chinampas, de esos sistemas se obtienen diversos productos de manera constante con varias cosechas al año (UNESCO, 2006; González-Pozo, 2010 en Merlín-Urbe et al., 2013).

A partir de la década de 1950, el agua de los manantiales que mantenía el nivel de los canales y lagos de la zona de chinampas, fue entubada y redirigida para el consumo de los habitantes de la Ciudad de México. En 1958 se construyó la primera etapa de la Planta de

Tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella (PTCE) con una capacidad de 400L/s y se puso en operación en 1959; para reemplazar el agua de los manantiales, esas aguas tratadas se comenzaron a enviar a la red de canales y en 1967 se amplió su capacidad para tratar hasta 1250L/s (Baez y Belmont, 1972). Desde 1994 cuenta con capacidad para 4000L/s de agua a nivel terciario y desde esa fecha comienza la recarga artificial del acuífero con 1000L/s a través de lagunas de infiltración en las estribaciones de la sierra de Santa Catarina. El agua tratada se emplea en orden decreciente para llenado de canales y lagos, riego agrícola en la zona chinampera de Mixquic, Tláhuac y Xochimilco, recarga del acuífero, riego de áreas verdes en Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco y en los sectores industrial y comercial (Departamento del Distrito Federal s/f). La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Tlaxialtemalco, (PTSLT), tiene una capacidad de 150L/s y un caudal tratado de 65L/s, el agua es destinada para el riego de áreas verdes y agrícolas (SEMARNAT, 2011).

A partir de que el agua tratada comenzó a abastecer los canales, unos de los primeros efectos reportados fueron: principios de salinización de los suelos en las zonas de riego de San Luis Tlaxialtemalco y disminución en la productividad y calidad de los cultivos (Baez y Belmont, 1972) así como una reducción de



la agricultura tradicional basada en cultivos de hortalizas. El sedimento del fondo de los canales se ha caracterizado por ser rico en materia orgánica; sin embargo, en el agua los niveles de salinidad y sodicidad se han incrementado; también se ha reportado la presencia de detergentes, metales pesados, grasas, aceites y contaminantes biológicos de origen fecal (Mazari-Hiriart et al., 2008; Nandini et al., 2016), además de agroquímicos, porque aunque estos últimos se han utilizado solo en algunos invernaderos y chinampas, son lixiviados directamente a los canales, lo que reduce aún más la calidad del agua (Torres-Lima y Burns, 2002; Alcántara-Concepción et al., 2013); a este respecto, se infiere que los mismos canales del sistema funcionan como humedales artificiales porque en ellos se desarrollan macrofitas acuáticas y microalgas, mismas que tienen una elevada capacidad de adaptación, proliferación y absorción de nutrientes y metales pesados (Paris et al., 2005; Ramos-Espinosa et al., 2007).

Por lo tanto y considerando la importancia de ambas plantas (PTCE y PTSLT) respecto a los aportes de agua tratada a la zona de humedal de Xochimilco, así como el papel como depurador que pudieran tener los humedales artificiales, los objetivos de este estudio fueron: conocer la variabilidad de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo, Mn, Co, Ni y Cu en el agua de los afluentes

de ambas plantas de tratamiento, así como en la entrada y salida de un humedal artificial, y el efecto del agua de estos cuatro sitios en el alga *Selenastrum capricornutum* Printz como organismo bioindicador.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La zona rural de Xochimilco está constituida en la parte alta por una franja montañosa y en la parte baja por una red de canales y lagunas someras que conforman un área de humedales que representa un ecosistema estratégico para la conservación de la biodiversidad y el bienestar de la población de la Ciudad de México (RCW, 2008; RAMSAR-CONANP, 2016.) La zona lacustre de Xochimilco está ubicada al sureste de la Ciudad de México a 2240msnm. Entre los 19°17'N y 99°04'O se encuentra el denominado Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, es un área de 2,657ha, registrada por la Organización Ramsar con el sitio 1363 (RCW 2014) y se caracteriza por presentar una temperatura promedio anual de 23 °C.

Se seleccionaron cuatro puntos de muestreo, dos que corresponden a los vertederos de aguas tratadas, el primero de la PTCE ubicado sobre el antiguo Canal de Cuemanco, a la altura de la Primer Privada de Tlalil (19°27'N



y 99°10' O) y el otro de la PTSLT que se encuentra dentro del Centro de Educación Ambiental de San Luis Tlaxialtemalco (19°26' N y 99°02' O). Los otros dos puntos se ubicaron, uno a la entrada y otro a la salida de un canal secundario, que se comunica con el canal principal de Cuemanco, ubicado en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) (19°16'54'' N 99°06'11'' O), mismo que fue construido hace algunos años por la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Se considera a este canal como un humedal artificial.

Se realizaron muestreos cada tres semanas, en los meses de febrero, marzo, abril y mayo de 2008. Para la determinación de parámetros químicos (nitritos, nitratos, amoníaco, nitrógeno total, ortofosfatos y fósforo total) se recolectó 1L de agua en botellas de plástico directamente de los tubos de salida del agua tanto de la PTCE como de la PTSLT así como en la entrada y salida del humedal (EH, SH) a 20cm de profundidad. En los muestreos de abril y mayo se incluyó la recolecta de muestras de agua en frascos de vidrio de 200mL para la determinación de los metales pesados Cobalto, Níquel y Cobre y el metaloide Manganeso. Sólo en el último muestreo de mayo se utilizaron 200mL más para la elaboración de bioensayos.

Análisis de calidad del agua.

500mL de agua se utilizaron para el análisis de la calidad del agua basada en nutrientes: nitritos ($\text{N-NO}_2 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), nitratos ($\text{N-NO}_3 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), amoníaco ($\text{N-NH}_3 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), nitrógeno total ($\text{NTmg} \cdot \text{L}^{-1}$), ortofosfatos ($\text{P-PO}_4 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y fósforo total ($\text{PTmg} \cdot \text{L}^{-1}$). 200mL de agua se utilizaron para medir la concentración de metales pesados ($\text{Co} \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), ($\text{Ni} \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), ($\text{Cu} \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y el metaloide ($\text{Mn} \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Los métodos de preservación y análisis de las muestras de agua para nutrientes y metales pesados, se basaron en las técnicas del espectrofotómetro Hach Odyssey, fundamentadas en las técnicas de APHA (2005).

Bioensayos para evaluar el Crecimiento Poblacional Algal.

La cepa del alga *Selenastrum capricornutum* Printz, se obtuvo del IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). Los cultivos se mantuvieron en crecimiento exponencial mediante resiembras semanales utilizando el medio recomendado por USEPA (2002). Las algas utilizadas para los bioensayos, fueron previamente enjuagadas con NaHCO_3 para remover el medio. El control correspondió al medio de cultivo; se probó el agua de los cuatro sitios estudiados y también se manejaron sus diluciones al 50%; las muestras de agua fueron previamente filtradas a través de una membrana de $0.40 \mu\text{m}$. Las pruebas se iniciaron a partir de un inóculo

con concentración algal de 3 000 células/mL (± 120), manejándose cuatro réplicas ($n=4$).

Para este bioensayo se utilizaron tubos de ensayo (ϕ de 30mm y volumen de 200mL). A cada tubo se le agregaron 29mL de la solución de cada sitio muestreado y 1mL del inóculo, los tubos se colocaron aleatoriamente en una gradilla con inclinación de 15° y se incubaron a $23^\circ\text{C}\pm 1$ durante 96h con luz constante (4,320ft-c), utilizando una incubadora Fisher Scientific Isotherm. Cada 24 horas el contenido de cada tubo se agitó por cinco segundos con un vortex LAB-LINE Modelo 1190 y se evaluó el crecimiento algal mediante absorbancia utilizando un fluorómetro Turner TD 700 a una longitud de onda de 620nm.

Inhibición y estimulación del crecimiento poblacional algal.

La tasa de crecimiento diario ($\mu \cdot \text{día}^{-1}$) se calculó de acuerdo con NAER y EPA (1971) en Abeja-Pineda et al. (2015):

$$\mu = \text{Ln} (F_2/F_1) / t_2 - t_1$$

Donde:

t_1 es el tiempo de inicio y

t_2 es el tiempo al final del bioensayo (72 h) y

F_1 y F_2 es la absorbancia en t_2 -

t_1 respectivamente.

La inhibición o estimulación del potencial del crecimiento algal fue calculada con base en la tasa específica del crecimiento algal (μ) del control y la muestra, siguiendo la ecuación propuesta en ISO 8692 (2004) en Abeja-Pineda et al. (2015):

$$I\mu_i = ((\mu_c - \mu_i) / \mu_c) * 100$$

Donde: $I\mu_i$ es el porcentaje de inhibición para el sitio de estudio i ;

μ_c es la tasa de crecimiento promedio para el control.

Un valor negativo de $I\mu_i$ significa estimulación de crecimiento; un valor positivo significa inhibición del crecimiento.

Se realizó un análisis de varianza ANOVA para cada parámetro, por muestreo, para determinar las diferencias significativas entre los sitios, acorde a los valores de nutrientes; posteriormente se aplicó la prueba confirmatoria de Fisher ($p < 0.05$) para distinguir las diferencias significativas entre los sitios de trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resumen estadístico de los resultados de la evaluación de los nutrientes de nitrógeno y fósforo en los cuatro sitios de trabajo, consideraron los seis muestreos (de abril a mayo de 2008) que corresponden a condiciones de

estiaje, se presentan en la Tabla 1. Los valores de nitrógeno y fósforo muestran de manera general las concentraciones de nutrientes que entran a los canales de Xochimilco a través de los aportes de las plantas de tratamiento, así como el cambio en éstas cuando el agua entra y sale del canal secundario (humedal artificial).

De acuerdo con los valores promedio de Nitrógeno y Fósforo obtenidos en los cuatro sitios muestreados se observó que:

Todas las formas de Nitrógeno registraron una disminución en la salida del humedal (SH) con respecto a la entrada del mismo (EH), excepto la forma de Fósforo P-PO₄ (Tabla 1).

El contenido de N-NH₃ presentó valores más altos en la entrada del humedal (EH) que en el vertedero de agua tratada más cercano

(PTCE) (Tabla 1) y amplió su variación en un muestreo de abril y otro de mayo (Fig. 1A). Considerando que al salir el agua tratada del tubo abastecedor proveniente de PTCE, ésta se desplaza aproximadamente un kilómetro con baja velocidad de corriente en dirección a la entrada del humedal, puede inferirse que conforme se desplaza el agua, hacia éste, recibe aportes de dicho nutriente, sin embargo, también puede apreciarse la función de depuración que desempeña el humedal al evaluar este parámetro en la salida del mismo (SH) (Tabla 1) donde se aprecia un decremento significativo, es decir, se evidencia su funcionalidad. En este parámetro, el agua de las dos plantas de tratamiento presentó valores similares.

Tabla 1. Promedios de los compuestos de nitrógeno y fósforo en los cuatro sitios muestreados.

Sitio	N-NH3	N-NO2	N-NO3	NT	P-PO4	PT
PTCE	0.325±0.18 a	0.338±0.25 a	5.489±4.49 a	6.128±4.68 a	9.977±5.07 a	13.973±6.29 a
PTSLT	0.450±0.31 a	0.072±0.05 b	6.274±5.99 a	7.431±6.09 a	16.095±5.05 b	20.937±3.13 b
EH	1.178±0.45 a	0.283±0.29 b	1.593±1.34 b	2.913±1.61 a	7.678±1.86 c	11.940±2.54 c
SH	0.227±0.15 a	0.070±0.13 c	1.209±1.40 c	1.455±1.46 b	7.938±2.33 c	10.473±1.80 c

Concentraciones de nitrógeno y fósforo en mg·L⁻¹ (promedio±SD, n= 6).a,b ó c= diferencias significativas, Fisher < 0.05; PTCE= Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella; PTSLT= Planta de Tratamiento San Luis Tlaxialtemalco; EH= Entrada Humedal; SH= Salida Humedal.

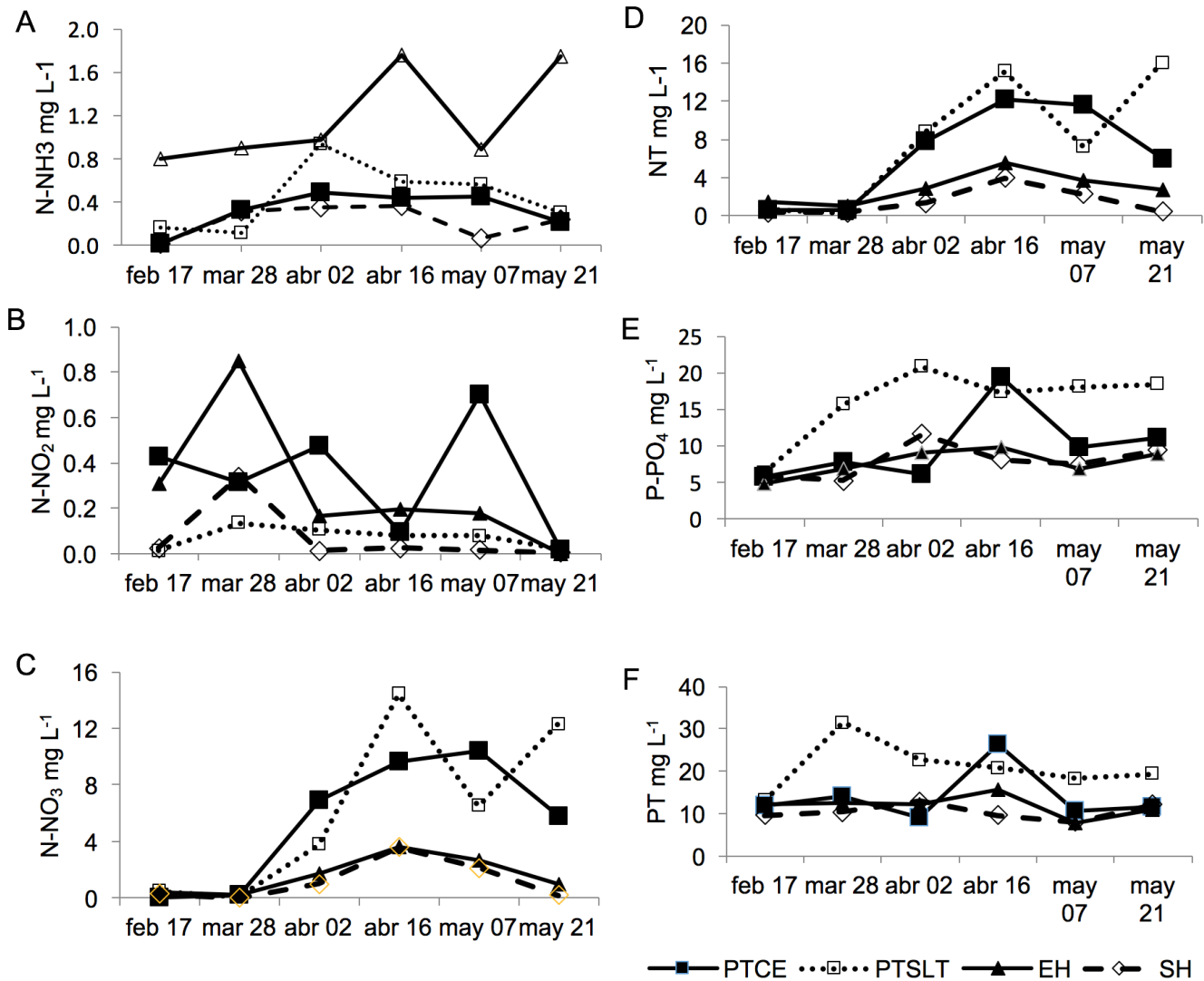


Figura 1. Nutrientes inorgánicos de nitrógeno (A, B, C, D) y fósforo (E, F) en PTCE, PTSLT, EH y SH (abril a mayo de 2008).



Ambas plantas de tratamiento, liberan el agua con diferentes concentraciones de N-NO_2 sólo coinciden en un muestreo de abril con $0.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Fig. 1B), los valores más altos se registraron en el agua liberada por la PTCE; nuevamente puede apreciarse la función de depuración que desempeña el humedal como muestran los valores de este parámetro en la salida del mismo (SH), apreciándose una tendencia general a descender desde un máximo con $0.85\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en la EH a valores inferiores de $0.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en la salida del mismo.

En aguas superficiales con concentraciones de oxígeno adecuadas ($\geq 5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) como es el caso de la zona estudiada, las concentraciones de nitritos no deben estar por arriba de $0.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; dependiendo del pH, cuando los valores están entre 0.1 y $0.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ pueden ocasionar problemas de toxicidad en los peces e indican malas condiciones del sistema acuático. Las altas concentraciones de nitritos pueden ser ocasionadas por aguas residuales domésticas (Prat et al., 1996; Metcalf y Eddy, 1998), pero también por contaminación industrial (Prat et al., 1996).

En general las concentraciones de Nitrógeno en forma de Nitratos y Nitrógeno total, son mayores en ambas plantas de tratamiento respecto a la entrada y salida del humedal (Figs. 1C y 1D). En tanto que las concentraciones de Fosfatos y Fósforo total en general fueron mayores

en la PTSLT (Figs. 1E y 1F). De acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996, las concentraciones de Fósforo total rebasan los límites permisibles (5 a $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) tanto para la protección de la vida acuática como para el uso público, ya que se registraron datos de 10.473 a $32.937\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Considerando un kilómetro de distancia aproximadamente del tubo abastecedor proveniente de la PTCE, a la entrada del canal secundario (humedal) del CIBAC, puede apreciarse la disminución de N-NO_3 y NT en los muestreos de abril y mayo (Fig. 1C y D), en tanto que, en la entrada y en la salida del humedal, se aprecia una disminución de N-NO_3 , NT y PT, aunque no es significativa, pero puede inferirse que la presencia de macrofitas y fitoplancton a lo largo de los 100m que tiene el humedal, juegan un papel importante en la captación de estos nutrientes.

De acuerdo con Camargo y Alonso (2006, 2007) los valores de nitrógeno inorgánico registrados, pueden afectar a la fauna acuática en su crecimiento y reproducción; el N-NH_3 puede llegar a destruir el epitelio branquial en peces, reducir sus niveles de ATP, alterar la actividad osmorreguladora e incluso producir disrupción del sistema inmunológico; los N-NO_2 son considerados los principales responsables de la toxicidad, llegándoles a causar asfixia y en última instancia la muerte; los N-NO_3 pueden también afectar la capacidad

respiratoria pero con menor toxicidad que el nitrito y el amoníaco debido que su absorción a través de las branquias es más limitada.

La USEPA (2002, 2006) en los Estados Unidos considera que NT y PT con valores que sobrepasen $760\mu\text{g}\cdot\text{NT}/\text{L}$ y $40\mu\text{g}\cdot\text{PT}/\text{L}$, respectivamente, pueden resultar en eutrofización de ríos y lagos en muchas ecorregiones del país; los valores encontrados en la zona de estudio rebasan esos límites y por lo tanto, los sitios de estudio presentan condiciones de eutróficos a hipereutróficos, evidenciando que las plantas de tratamiento no son del todo efectivas por los altos valores de nutrientes registrados (García et al., 2009; Nandini et al., 2016).

En cuatro de los seis nutrientes estudiados las variaciones fueron altas (Fig. 2); los que tuvieron menores cambios fueron N-NH_3 y N-NO_2 en los cuatro sitios seleccionados y en los seis muestreos efectuados; de acuerdo a sus desviaciones estándar N-NO_3 , NT, P-PO_4 y PT presentaron los mayores promedios y variaciones, sobre todo en ambas plantas de tratamiento PTCE y PTSLT evidenciando que el agua que llega a los canales tiene altos contenidos de nutrientes, con valores $>5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de N-NO_3 y NT, en tanto que de P-PO_4 y PT, sus valores rebasaron los $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; contribuyendo a que se tengan condiciones de hipereutrofización, los datos registrados coinciden con lo

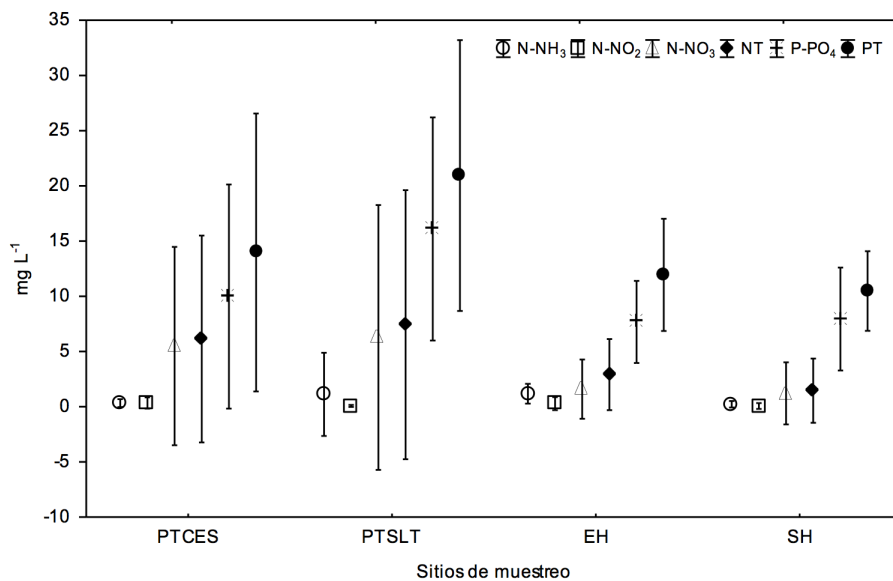


Figura 2. Valores promedio ($n = 6 \pm \text{DS}$) de nutrientes inorgánicos

reportado por Nandini et al. (2016), quienes consideran que los canales y lagunas del sistema estudiado tienen condiciones de eutróficos a altamente eutróficos (hipertróficos).

El humedal artificial por su parte presentó descenso en los valores de SH respecto a EH, mostrando eficiencia en la reducción de nutrientes inorgánicos, aunque sus concentraciones siguen correspondiendo a condiciones de eutrofización ya que salvo N-NH₃ y N-NO₂, los valores de N-NO₃, NT, P-PO₄ y PT, fueron >2mg·L⁻¹.

El Cu y el Mn fueron detectados en todos los sitios y fechas de muestreo (de abril a mayo de 2008). El Ni fue detectado en una de las tres fechas de muestreo, en cada una de las plantas de tratamiento y en dos fechas de muestreo tanto en la entrada como en la salida del humedal. Carrión et al. (2012), señalan que Ni y Cu pueden ser interferidos por los isótopos de ⁵⁰Cl

y ⁵¹Cl, por lo que los resultados podrían ser mayores. El Co sólo se detectó en una fecha, en la salida de la PTCE y en todas las fechas en la EH (Tabla 2).

Entre las PTCE y PTSLT los metales pesados presentaron concentraciones similares; por el contrario, la EH artificial presentó mayores concentraciones y variación de Co (0.1mg·L⁻¹) y Mn (0.05mg·L⁻¹) y su posterior descenso por debajo de 0.02mg·L⁻¹ (Fig. 3).

Los valores promedio de los metales pesados encontrados en este estudio están por arriba del nivel de las concentraciones halladas en otros sitios de la zona chinampera, Mn 0.031 a 0.065mg·L⁻¹, Ni de 0.005 a 0.006mg·L⁻¹, Cu 0.0015 a 0.0048 (Carrión et al., 2012); Las PTCE y PTSLT reflejan sus mayores concentraciones promedio, derivadas quizá, del tratamiento de aguas residuales provenientes de las

Tabla 2. Metales pesados en los cuatro sitios de estudio (abril a mayo de 2008). _ No detectado.

	PTCE			PTSLT			EH			SH		
	02 Abril	16 Abril	20 Mayo	02 Abril	16 Abril	20 Mayo	02 Abril	16 Abril	20 Mayo	02 Abril	16 Abril	20 Mayo
Co (mg L ⁻¹)	—	—	0.003	—	—	—	0.01	0.1	0.01	—	—	—
Ni (mg L ⁻¹)	0.009	—	—	—	—	0.010	0.003	—	0.03	0.008	—	0.01
Cu (mg L ⁻¹)	0.020	0.050	0.010	0.020	0.020	0.010	0.010	0.020	0.010	0.020	0.020	0.040
Mn (mg L ⁻¹)	0.043	0.029	0.036	0.015	0.015	0.044	0.015	0.023	0.05	0.023	0.02	0.026

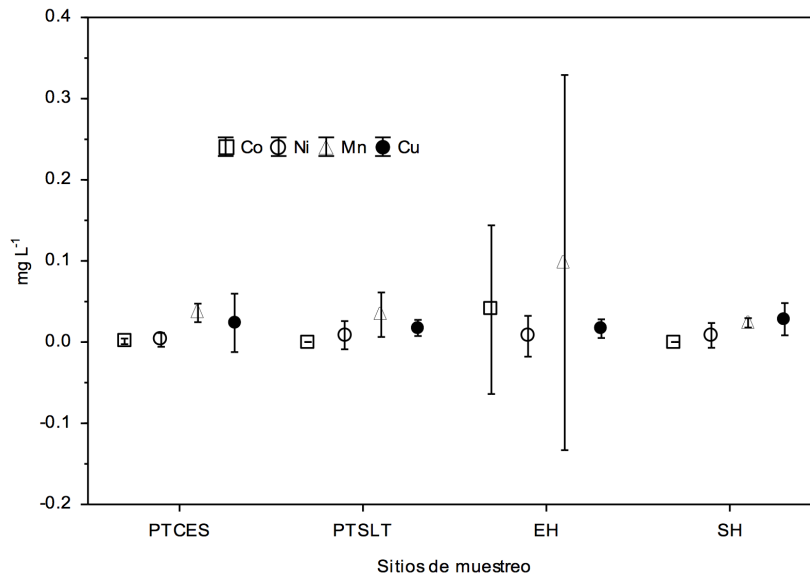


Figura 3. Valores promedio ($n=4 \pm DS$) de metales pesados en los sitios de estudio.

actividades industriales de la zona sur de la Ciudad de México. Estas sustancias al ingresar a los canales de Xochimilco pueden ser sujetas a dilución por el ecosistema acuático. Asimismo, en los sedimentos se encuentran confinadas las mayores concentraciones de los metales pesados por efecto de la sedimentación; también se reporta que en especies vegetales como el lirio acuático, se han encontrado en las estructuras sumergida el doble de As y Cd y hasta cinco veces o más de la concentración de Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V que con respecto a la estructura aérea (Carrión et al., 2012).

El bioensayo muestra que el agua de las plantas de tratamiento inhibe el crecimiento de

S. capricornutum (Fig. 4), sobre todo la de la PTCE, misma que genera un ligero crecimiento algal cuando el agua se diluye al 50%; el mismo comportamiento se aprecia en la PTSLT. El agua de la SH respecto a la entrada del mismo, registra una estimulación en el crecimiento algal poco mayor del 200%. La dilución del agua tanto de la EH como de la SH estimula el crecimiento algal; sin embargo, éste no es tan marcado como en el caso del agua sin diluir. Pereira et al. (2005), reportan que la inhibición del crecimiento de las algas verdes en cuerpos de agua dulce se debe a las altas concentraciones de contaminantes producto de la transformación natural del ambiente y a

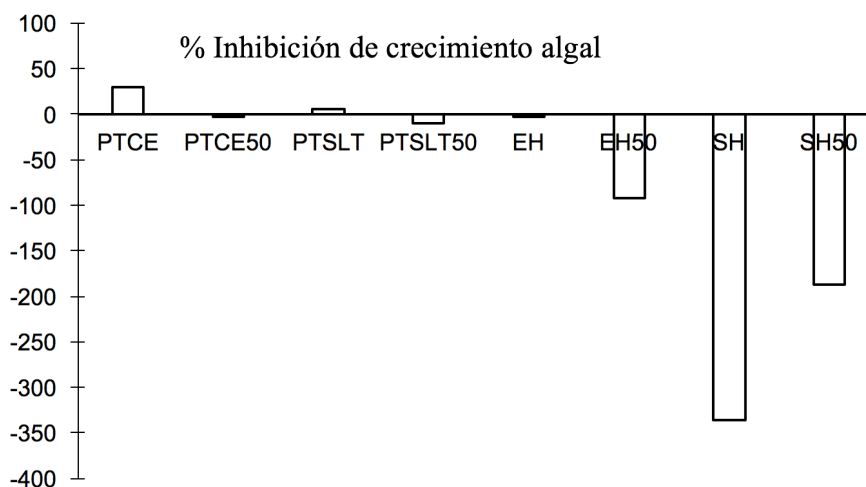


Figura 4. Porcentaje de inhibición del crecimiento algal (*S. capricornutum*) en el agua de los cuatro sitios estudiados y con una dilución al 50% en cada caso. Valor negativo significa estimulación de crecimiento; valor positivo significa inhibición del crecimiento.

la actividad antropogénica. Abeja-Pineda et al. (2015) reportan que el agua de los canales de Xochimilco, causó **toxicidad en la microalga nativa** *Ankistrodesmus falcatus*, ocasionándole peroxidación de lípidos y daño en el sistema enzimático antioxidante.

CONCLUSIONES

El estudio muestra que las plantas de tratamiento tanto de Cerro de la Estrella como de San Luis Tlaxialtemalco, liberan agua a la red de canales de Xochimilco con elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo, lo que refuerza que este sistema vaya de eutrófico a hipereutrófico. Para el período estudiado,

quedó catalogado como eutrófico. También se detectó la presencia de Co, Cu, Ni y Mn como indicadores de contaminación industrial e incluso con concentraciones superiores a las reportadas por otros autores para la zona. La utilización de *S. capricornutum* como bioindicador refleja que algunos de los componentes disueltos en el agua inhiben el crecimiento algal, mismo que se aminora cuando el agua se diluye al 50%. El canal secundario o artificial del CIBAC funciona como un humedal ya que mejora las condiciones de la calidad del agua y repercute en el mejor crecimiento de *S. capricornutum*.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Metropolitana y a la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo para el desarrollo de la investigación. Al Técnico Jorge Esparza Arroyo por su apoyo en el trabajo realizado en el Laboratorio de Fisiología y Tecnología de Cultivos de la UAMX.

BIBLIOGRAFÍA

- Abeja-Pineda O, E López-López, L Favari y JE Sedeño-Díaz. 2015. Algal growth potential and oxidative stress in *Ankistrodesmus falcatus* exposed to waters from Xochimilco Lake system, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health & Management*: 18(2):221-231.
- Alcántara-Concepción V, S Cram, R. Gibson, C Ponce de León y M Mazari-Hiriart. 2013. Method development and validation for the simultaneous determination of organochlorine and organophosphorus pesticides in a complex sediment matrix. *Journal of AOAC International*. Vol. 96, No. 4.
- Aréchiga CE. 2004. De la exuberancia al agotamiento: Xochimilco y el agua, 1882-2004. p. 97-149. En Terrones M (ed.) *A La Orilla del Agua, Política, Urbanización y Medio Ambiente: Historia de Xochimilco en el Siglo XX*. Instituto Mora, Ciudad de México. En: Wigle J. 2010. The “Xochimilco model” for managing irregular settlements in conservation land in Mexico City. *Cities*: 27: 337-347.
- APHA. (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. American waters works Association. Water pollution Control Federation Washington, D.C., USA.
- Báez PA y R Belmont. 1972. Algunos aspectos del deterioro del agua de los canales del Lago de Xochimilco. En: Comité Nacional Mexicano para el decenio hidrológico internacional. *Memorias 1970-1971*. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, México.
- Camargo J A y A Alonso. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International* 32 (2006) 831–849.
- Camargo J A y A Alonso. 2007. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas* 16 (2): 98-110.
- Carrión C, C Ponce-de León, S Cram, I Sommer, M Hernández y C Vanegas. 2012. Aprovechamiento potencial del lirio acuático en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, 609-620.

- Departamento del Distrito Federal. (s/f). Planta de Tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella. Secretaría General de Obras. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Ciudad de México.
- EPA. 2002. <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/nutrient/guidance/index.html>.
- EPA. 2006. National recommended water quality criteria. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- González-Pozo A., 2010. Las Chinampas de Xochimilco al despuntar el siglo XXI: inicio de su catalogación (The Chinampas of Xochimilco at the dawn of the XXI century: the beginning of the catalogin). México DF: Universidad Autónoma Metropolitana.
- INEGI. Encuesta Intercensal 2015. <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/>
- Mazari-Hiriart M, S Ponce-de-León, Y López-Vidal, P Islas-Macías, RI Amieva-Fernández y F Quiñones-Falconi 2008. Microbiological implications of periurban agriculture and water reuse in Mexico City. PLoS ONE 3(5): e2305
- Merlín-Uribe Y, A Contreras-Hernández, M Astier-Calderón, OP Jensend, R Zaragoza y L Zambrano. 2013. Urban expansión into a protected natural area in Mexico City: alternative management scenarios. Journal of environmental planning and management. 398-411.
- Nandini S, P Ramírez-García y SSS Sarma. 2016. Water quality indicators in Lake Xochimilco, Mexico: zooplankton and *Vibrio cholera*. J. Limnol.75(1); 91-100.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996). Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. In: *Diario Oficial de la Federación*, 24 de junio de 1996.
- Paris C, H Hadad, MA Maine y N Suñe. 2005. Eficiencia de dos macrofitas flotantes libres en la absorción de metales pesados. Limnética 24(3-4): 237-244.
- Pereira MJ, P Resende, UM Azeiteiro, J Oliveira y DR Figueiredo. 2005. Differences in the effects of metals on growth of two freshwater green algae (*Pseudokirchneriella subcapitata* (Korshikov) Hindak and *Gonium pectorale* Müller) Bull. Environ. Contam. Toxicol. 75:515-522.
- Ramos-Espinosa MG, LM Rodríguez Sánchez y P Martínez-Cruz. 2007. Uso de macrofitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. Hidrobiológica 17: 7-15.
- RAMSAR-CONANP. 2016. http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Distrito_Federal Consultado 17 de noviembre del 2016.



RCW (Ramsar Convention on Wetlands).
2014. Ramsar Sites Information Service
Consultado 22 de noviembre del 2016.

SEMARNAT. 2011. Inventario nacional de
plantas municipales de potabilización y de
tratamiento de aguas residuales en opera-
ción. Comisión Nacional del Agua. Di-
ciembre de 2011. 397 pp.

[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/
Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-IN-
VENTARIO%202011%20FINAL.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-INVENTARIO%202011%20FINAL.pdf)
Consultado 5 de Septiembre del 2016.

Siemens AH. 2004. Modeling the tropical
wetland landscape and adaptations. Agri-
culture and human values: 21: 243–254.

Swinton, SM, F Lupi, GP Robertson y SK
Hamilton. 2007. Ecosystem services and
agriculture: Cultivating agricultural eco-
systems for diverse benefits. Ecological
economics. 64: 245–252.

Torres-Lima O y AF Burns. 2002. Regional Cul-
ture and Urban Agriculturalists of Mexico
City. Anthropologica 44(2): 247-250.

United Nations Educational, Scientific and
Cultural Organization (UNESCO) (2006).

Xochimilco: Un Proceso de Gestión Participa-
tiva. UNESCO, Mexico City.

United States Environmental Protection Agen-
cy. 2002. Method 1003.0: Green Alga,
Selenastrum capricornutum, Growth Test;

Chronic Toxicity. Excerpt from: Short-term
Methods for Estimating the Chronic Tox-
icity of Effluents and Receiving Waters to
Freshwater Organisms 4th edition. EPA-
821-R-02-013.

Wigle, J. 2010. The Xochimilco model for man-
aging irregular settlements in conservation
land in Mexico City. Cities: 27: 337-347.



ENERGÍA, BIOQUÍMICA Y COMPOSICIÓN ECOLÓGICA DE LA CIANOPROCARIOTA *ANABAENOPSIS ELENKINII* V. V. MILLER EN LA PISTA OLÍMPICA DE REMO Y CANOTAJE “VIRGILIO URIBE”, CUEMANCO, XOCHIMILCO, CDMX

¹Moreno-Ruiz JL, ²Figuroa-Torres MG, ³Licea S, ¹Chávez-García MG,
¹Domínguez-Velázquez ZY, ¹García-Ruiz V, ¹Hernán-
dez Juárez LA y ¹Romero Serralde J.

¹Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Depto. El Hombre y su Ambiente. Laboratorio de Ecología Costera y Pesquerías. Calzada del Hueso No. 1100. Col. Villa Quietud. México, 04960, CDMX Del. Coyoacán. Tel. 5483 2315 Fax. 5483 7469. Email: jlmr08@yahoo.com.mx; ²Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Depto. El Hombre y su Ambiente. Laboratorio de Ficología y Fitofarmacología. Calzada del Hueso No. 1100. Col. Villa Quietud. México, 04960, CDMX, Del. Coyoacán y ³Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, México 04510, CDMX México.

RESUMEN

La cuenca de Xochimilco y sus afluentes es una región de gran importancia económica, en la que se han establecido pueblos, organizaciones civiles e instituciones académicas, entre otros sectores, interesados en la preservación de la naturaleza y su cultura. La cianoprocarriota *Anabaenopsis elenkinii* es un importante productor primario en esta cuenca, por lo que es necesario conocer la cantidad de energía que transfiere en la cadena alimenticia; para este propósito, se recolectaron muestras de agua en cinco sitios, en la pista olímpica de remo y canotaje “Virgilio Uribe” ubicada en Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México, el 27 de enero de 2015. Para conocer la abundancia relativa,

biovolumen, biomasa y calorías de esta especie se utilizaron: el método de Utermöhl, pruebas microbiológicas, bioquímicas, físicas y químicas. Para evaluar su composición ecológica se utilizaron 35 valores indicadores. Los resultados mostraron que la mayor abundancia fue de $7.325 \cdot 10^6$ Cél/L, con un biovolumen de $11.506 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$, la biomasa fue de $874.639 \cdot 10^6 \text{pg} \cdot \text{C}/\text{L}$ y la energía que produce de $9.971 \text{cal}/\text{L}$. Los 35 valores indicadores, permitieron determinar una moderada calidad del agua en la zona estudiada. Se concluye que la presencia de esta especie es importante para el ecosistema por su abundancia y producción de energía, además de que es un buen indicador ecológico. Cabe señalar que esta especie es potencialmente tóxica, por lo tan-



to, es importante investigar quiénes son sus consumidores para evaluar la transferencia de materia y energía y para prevenir daños a la salud.

Palabras clave: Pista Virgilio Uribe, cianoprocariota, composición ecológica, valor indicador, florecimiento algal.

ABSTRACT

Xochimilco basin and its tributaries is a region of great economic importance, in which population, civil organizations, academic institutions and independent citizens interested in preserving the nature and cultures have been established. In this environment *Anabaenopsis elenkinii*, a primary producer Cyanoprokaryota has been recognized as a good energy transfer into the food chain of the Xochimilco channels. For this purpose, water samples were collected in five sites on 27 January 2015 at the Olympic Rowing and canoeing in Xochimilco. The energy production and biochemical composition was made by microbiological, biochemical, physical and chemical tests. Additionally Utermöhl method was useful to know the relative abundance, biomass, biovolume and calories of this species. Results showed that the greater relative abundance was of $7.325 \cdot 10^6$ Cell/L with a biovolume of $11.506 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L}$, $874.639 \cdot 10^6$ pg·C/L and 9.971 cal/L. The ecological composition defined by 35 indicator values allowed the identification

of a moderate water quality in this region. It is concluded that the presence of this species is important for their abundance and potential toxicity therefore, it is important to investigate its consumers, to prevent the sustainable management of the water of this region.

Key words: Virgilio Uribe track, ecological composition, Cyanoprokaryota, indicator values, algal bloom.

INTRODUCCIÓN

La cuenca de Xochimilco y sus afluentes constituye una región de gran importancia ambiental, social y económica, en la que se han asentado pueblos, organizaciones civiles, instituciones académicas y ciudadanos independientes, entre otros sectores, interesados en conservar su naturaleza y su cultura (Figueroa y Salazar 2014). En esta cuenca se desarrolla el alga cianoprocariota *Anabaenopsis elenkinii*, productora primaria que juega un papel muy importante en la transferencia de energía que se incorpora a la cadena alimenticia en los cuerpos de agua dulce. Por lo que el objetivo de esta investigación es determinar la cantidad de energía producida por *Anabaenopsis elenkinii*, así como su composición ecológica en la pista olímpica de remo y canotaje Virgilio Uribe en Cuemanco, Xochimilco, CDMX.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de investigación se encuentra entre los 19°17'31.25" N y 99°06'09.92" O (Fig. 1). El 27 de enero de 2015 se recolectaron en la pista de remo y canotaje Virgilio Uribe cinco muestras a distancias de 25m una de la otra (Fig. 1) utilizando una botella van Dorn de 2L de capacidad. Las muestras se vaciaron en frascos de plástico de 1 000mL y se preservaron con 1mL de cloruro mercúrico (1.354g/L),

para posteriormente analizarse a través de los métodos y técnicas estandarizadas referidas por Moreno-Ruiz et al. (2011, 2012a-b). Para el análisis al microscopio se depositaron 100mL de cada muestra en una cámara Utermöhl y se dejaron sedimentar durante 24h. Los análisis cualitativo y cuantitativo se realizaron con un fotomicroscopio invertido IM407, siguiendo un barrido en transectos diametrales. Para la determinación de este taxón, se consultó la



Figura 1. Área de estudio y puntos de muestreo (E1-E5).



revisión taxonómica de Komárek (2005) y el trabajo reciente de Comas-González y Moreira-González (2016). El biovolumen se obtuvo con base en lo propuesto por Hillebrand et al. (1999), la biomasa se calculó de acuerdo con Cornet-Barthaux et al. (2007), y esta última, se convirtió en calorías asumiendo que un miligramo de carbón fitopláctico equivale a 11.4 calorías (Platt e Irwin 1972, Putland 2000, Leonard y Paerl 2005).

Los datos de la composición ecológica definida por los valores indicadores (Moreno-Ruiz et al., 2008), considerados para esta investigación, consistieron en 35 valores indicadores del taxón (Tabla 1): potencial de hidrógeno (pH), salinidad (S), preferencia térmica (T), conductividad (Con), transparencia (Tra), turbidez (Tur), sólidos disueltos totales (SDT), arcillas (Arc), bicarbonato (HCO_3), calcio (Ca), carbonato de calcio (CaCO_3), cloruros (Cls), hierro (Fe), magnesio (Mg), sodio (Na), sulfatos (Sos), oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química del agua (DQO), dióxido de silicio (SiO_2), amoníaco (NH_3), amonio (NH_4), nitratos (NO_3), nitritos (NO_2), fosfatos (PO_4), relación de nitrógeno total, fósforo total (Nt:Pt), materia orgánica (MO), carbono orgánico total (COT), preferencia trófica (Ptr), forma de vida (Fv), frecuencia o distribución (F), importancia o dominancia (D), florecimien-

tos (Fl), riqueza de especies (R) y diversidad de Shannon y Wiener ($H'n$) se obtuvieron de acuerdo a los planteamientos de Wilhm y Dorris (1968, acrónimo WD, Tabla 1), Caljon (1983, Ca), Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés (1991, BG), Olivas-Silva et al. (1992, OS), Contreras-Espinosa et al. (1994, CE), De la Lanza-Espino (1994, DL), Van Dam et al. (1994, VD), Marshall et al. (1996, M), Barreiro-Güemes (1999, BGs), Abel (2000, Ab), Boyd (2000, B), Moreno (2003, Mo), Moreno-Ruiz (2005, MR), Mejía-Maravilla et al. (2006, MM), Smith (2006, Sm), Amador-Torres y Acevedo (2008, AT), Carbajal-Pérez (2009, C), Figueroa et al. (2009, FR), Castillo-Briseño y López-Gutiérrez (2010, CB), Agraz-Hernández et al. (2011, AH), Moreno-Ruiz et al. (2011, 2012a-b; MRJ), ITTA (2016, ITAA).

De acuerdo con el promedio de los 35 valores de las variables de *A. elenkinii*, se obtuvo el valor indicador ponderado individual (Tabla 2). Mientras que con el promedio del mayor valor que pueden tener las variables utilizadas (Moreno-Ruiz et al. 2011, 2012a-b), se obtuvo el valor indicador de baja calidad del agua (66.9% a 100%), el valor indicador de moderada calidad del agua (33.3% a 66.8%) y el valor indicador de alta calidad del agua ($\leq 33.2\%$). Los intervalos para esta investigación se proporcionan en la Tabla 1.

HACIA LA TRANSDISCIPLINA Y LA SUSTENTABILIDAD EN LA SUBCUENCA DE XOCHIMILCO Y SUS AFLUENTES
NÚMERO ESPECIAL No. 5. AÑO 7. No. 14. JUNIO A DICIEMBRE DE 2017.

Tabla 1. Composición ecológica y escalas de los valores indicadores de *A. elenkinii* (1 al 35) de acuerdo a Abel (2000, **Ab**), Agraz-Hernández et al. (2011, **AH**), Amador-Torres y Acevedo (2008, **AT**), Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés (1991, **BG**), Barreiro-Güemes (1999, **BGs**), Boyd (2000, **B**), Caljon (1983, **Ca**), Carbajal-Pérez (2009, **C**), Castillo-Briseño y López-Gutiérrez (2010, **CB**), Contreras-Espinosa et al. (1994, **CE**), De la Lanza-Espino (1994, **DL**), Este estudio (**EE**), Figueroa et al. (2009, **FR**), Mejía-Maravilla et al. (2006, **MM**), ITTA (2016, **ITAA**), Marshall et al. (1996, **M**), Moreno (2003, **Mo**), Moreno-Ruiz (2005, **MR**), Moreno-Ruiz et al. (2011, 2012a-b; **MRJ**), Olivas-Silva et al. (1992, **OS**), Smith (2006, **Sm**), Van Dam et al. (1994, **VD**), Wilhm y Dorris (1968, **WD**).

Para facilitar la ubicación de las abreviaturas de los autores referidos, las mismas se ordenaron alfabéticamente.

(pH) Potencial hidrogenión (Ca)

- 1 acidobióntico, presencia óptima a pH <5.5
- 2 acidófilo, principalmente a pH <7
- 3 circumneutral, principal a pH alrededor de 7
- 4 alcalífilo, presencia principal a pH >7
- 5 alcalibióntico, presencia exclusiva a pH >7
- 6 indiferente, sin óptimo aparente

(S) Salinidad (Ca, MR.MRJ)

- 1 limnobionte estenohalino <0.5ups
- 2 limnobionte eurihalino 0.5-8ups
- 3 limnobionte debilmente eurihalino 0.5-3ups
- 4 limnobionte eurihalino de segundo grado 3-8ups
- 5 hifalmirobionte, salobre casual mar o agua dulce
- 6 salobre eurihalino 2-20ups
- 7 salobre inferior 2-10ups
- 8 salobre superior 8-20ups
- 9 marino eurihalino, en biotopos marinos
- 10 holeurihalino, agua marina, salobre y agua dulce

(Con) Conductividad (AT.FR.EE)

- 1 alta composición (0.1-23.32mS/cm)
- 2 moderada composición (23.33-46.66m·S/cm)
- 3 baja composición (46.67-70m·S/cm)

(T) Preferencia térmica (Ca, Lu.EE)

- 1 oligotérmica (-3°C)
- 2 oligo-mesotérmica (1 a 5°C)
- 3 meso-oligotérmica (6 a 9°C)
- 4 mesotérmica (10 a 20°C)
- 5 macrotérmica (20 a >27°C)

(Tra) Transparencia (AP.DL.GM.HS.VD.EE)

- 1 baja productividad ($\geq 4m$)
- 2 moderada productividad (2-3.9m)
- 3 alta productividad (0.01-1.9m)

(Tur) Turbidez (ITAA.EE)

- 1 baja contaminación (<2.5NTU)
- 2 moderada contaminación (entre 2.5-4.9NTU)
- 3 alta contaminación (>5NTU)

(SDT) Sólidos disueltos totales (ITAA.EE)

- 1 Baja contaminación (<200mg/L)
- 2 Moderada contaminación (entre 200-499mg/L)
- 3 Alta contaminación (>499mg/L)

(Arc) Arcillas (OS.EE)

- 1 Baja fertilidad (0.1-33.3%)
- 2 Moderada fertilidad (33.4-66.6%)
- 3 Alta fertilidad (66.7-100%)

(HCO₃) Bicarbonato (B.EE)

- 1 Baja neutralidad (0.1-74.9mg/L)
- 2 Moderada neutralidad (75-300mg/L)
- 3 Alta neutralidad (>300mg/L)

(Ca) Calcio (AT.CB.EE)

- 1 Baja neutralidad (0.1-10.0mg/L)
- 2 Moderada neutralidad (10.1-20.00mg/L)
- 3 Alta neutralidad (20.1-30mg/L)

(CaCO₃) Carbonato de calcio (B.EE)

- 1 Baja neutralidad (0.1-19.9mg/L)
- 2 Moderada neutralidad (20.00mg/L)
- 3 Alta neutralidad (>20.0mg/L)

(Cl_s) Cloruros (ITAA. EE)

- 1 Baja contaminación (0.1-125.0mg/L)
- 2 Moderada contaminación (125.1-250.0mg/L)
- 3 Alta contaminación (> 250.0mg/L)

(Fe) Hierro (C.CB.L.P.S.ITAA.EE)

- 1 Baja contaminación (0.1-16.66mg/L)
- 2 Moderada contaminación (16.67-33.33mg/L)
- 3 Alta contaminación (33.34-50.00mg/L)

(Mg) Magnesio (AT.CB.EE)

- 1 Baja fertilidad (0.1-13.33mq/L)
- 2 Moderada fertilidad (13.34-26.66mg/L)
- 3 Alta fertilidad (26.67-40mg/l)

(Na) Sodio (AT.B.M.EE)

- 1 Sin problema de sodicidad (<1 000mg/L)
- 2 Bajo problema de sodicidad (1 000-1 999mg/L)
- 3 Moderado problema de sodicidad (2 000-11 000mg/L)
- 4 Alto problema de sodicidad (>11 000 mg/L)

(S_{os}) Sulfatos (ITAA.EE)

- 1 Baja contaminación (0.1-125.0 mg/L)
- 2 Moderada contaminación (125.1-250.0 mg/L)
- 3 Alta contaminación (> 250.0 mg/L)

(OD) Oxígeno disuelto (B.Co.EE)

- 1 Baja contaminación (>5mg/L)
- 2 Moderada contaminación (3-5mg/L)
- 3 Alta contaminación (2-3mg/L)

(DBO) Demanda bioquímica de oxígeno (B.MM.EE)

- 1 Baja contaminación (<2mg/L)
- 2 Moderada contaminación (2-14mg/L)
- 3 Alta contaminación (>14mg/L)

(DQO) Demanda química de oxígeno (B.MM.EE)

- 1 Baja contaminación (<10mg/L)
- 2 Moderada contaminación (10.1-40mg/L)
- 3 Alta contaminación (>40mg/L)

(SiO₂) Dióxido de silicio (B.EE)

- 1 Baja fertilidad (<2mg/L)
- 2 Moderada fertilidad (2-20mg/L)
- 3 Alta fertilidad (>20mg/L)

(NH₃) Amoniaco (Ab.B.EE)

- 1 Baja contaminación (0.01-0.0199mg/L)
- 2 Moderada contaminación (0.0200-0.10000mg/L)
- 3 Alta contaminación (>0.10000mg/L)

(NH₄) Amonio (Ab.EE)

- 1 Baja contaminación (<0.1mg/L)
- 2 Moderada contaminación (entre 0.11-0.219mg/L)
- 3 Alta contaminación (>0.220mg/L)

(NO₃) Nitratos (Ab.EE)

- 1 Baja contaminación (<16.700mg/L)
- 2 Moderada contaminación (16.700-49.000mg/L)
- 3 Alta contaminación (>49.000mg/L)

(NO₂) Nitritos (EU, Gla.PO.EE)

- 1 Baja contaminación (<0.080 mg/L)
- 2 Moderada contaminación (0.080-0.240 mg/L)
- 3 Alta contaminación (>0.240mg/L)

(PO₄) Fosfatos (Ab,EE)

- 1 Baja contaminación (<0.3mg/L)
- 2 Moderada contaminación (entre 0.3-1.0mg/L)
- 3 Alta contaminación (>1.0mg/L)

***(Nt:Pt) Relación nitrógeno total:
fósforo total (Sm)***

- 1 baja <7 (limitación de nitrógeno)
- 2 moderado, entre 7 y 15
- 3 alto >15 (limitación de fósforo)

(MO) Materia orgánica (B.OS.CB.EE)

- 1 Baja fertilidad (0.1-5%)
- 2 Moderada fertilidad (5.1-10%)
- 3 Alta fertilidad (10.1-15%)

(COT) Carbono orgánico total (B.Cy.Hy.EE)

- 1 Baja fertilidad (<1mg/L)
- 2 Moderada fertilidad (1-10mg/L)
- 3 Alta fertilidad (>10mg/L)

***(Ptr) Preferencia trófica sustituida por el índice
trófico IT, basado en la concentración de clorofi-
la a (CE.MR.MRJ)***

Especies oligotróficas, habitan en biotopos pobres en nutrientes, equivalente a:

- 1 ultra-oligotrófica (0.000-0.122mg/m³) IT=0-9
- 2 α-oligotrófica (0.123-0.340 mg/ m³) IT=10-19
- 3 β-oligotrófica (0.350-0.940 mg/ m³) IT=20-29
- 4 γ-oligotrófica (0.950-2.600 mg/ m³) IT=30-39

Mesotrófica, equivalente a:

Oligomesotrófica, con

5 α -mesotrófica (2.700-7.200mg/ m³) IT=40-49

Mesoeutrófica, con

6 β -mesotrófica (7.300-20.000mg/ m³) IT=50-59

Especies eutróficas, habitan biotopos ricos en nutrientes, equivalente a:

7 α -eutrófica (21.000-55.000mg/ m³) IT=60-69

8 β -eutrófica (56.000-155.000mg/ m³) IT=70-79

9 γ -eutrófica (156.000-425.000mg/m³) IT=80-89

10 hiper-eutrófica (≥ 426.000 mg/ m³) IT ≥ 90

11 euritrófica, sin preferencia por biotopos ricos o pobres en nutrientes

(Fv) Forma de vida (MR.MRJ)

1 béntica

2 perifítica

3 ticoplántica

4 plántica

(F) Frecuencia o distribución (MR.MRJ)

1 muy baja (alrededor del 10%)

2 baja (11-30%)

3 moderada (31-50%)

4 ligeramente alta (51-75%)

5 alta (76-100%)

(D) Importancia o dominancia (Mo.MRJ)

1 no dominante <1

2 dominante ≥ 1

(Fl) Florecimientos (Ca.MR.MRJ)

1 sin florecimiento (1-100Cél/mL)

2 asociado (101-1 000Cél/mL)

3 no masivo ($> 1 000$ Cél/mL)

4 masivo ($> 10,000$ Cél/mL)

5 hipermasivo ($> 50,000$ Cél/mL)

(R) Riqueza de especies (MR.MRJ.EE)

1 alta (promedio 0.66-1.00)

2 moderada (promedio 0.34-0.65)

3 baja (promedio 0.1-0.33)

(H'n) Diversidad de Shannon-Wiener (WD)

1 aguas limpias (>3 bits/ind.)

2 moderada contaminación (1-3bits/ind.)

3 alta contaminación (<1 bits/ind.)

(IVICA) Intervalos del valor indicador de la calidad del agua (MR.EE)

≤ 1.238 alta calidad del agua

1.239-2.475 moderada calidad del agua

≥ 2.476 baja calidad del agua

HACIA LA TRANSDISCIPLINA Y LA SUSTENTABILIDAD EN LA SUBCUENCA DE XOCHIMILCO Y SUS AFLUENTES
 NÚMERO ESPECIAL No. 5. AÑO 7. No. 14. JUNIO A DICIEMBRE DE 2017.

Tabla 2. Composición ecológica de *Anabaenopsis elenkinii* de la pista de remo y canotaje Virgilio Uribe. Valores indicadores (pH, S, T, Con, Tra, Tur, TDS, Arc, HCO₃, Ca, CaCO₃, Cls, Fe, Mg, Na, Sos, OD, DBO, DQO, SiO₂, NH₃, NH₄, NO₃, NO₂, PO₄, Nt:Pt, MO, COT, Ptr, Fv, F, D, Fl, R, H'n) sus significados, escalas numéricas y unidades se anotaron en la Tabla 1. E=estación de muestreo, VICA=valor indicador de la calidad del agua, MVIP=máximo valor indicador ponderado, VIP=valor indicador ponderado, DE=desviación estándar.

Variables	E1	E2	E3	E4	E5	VICA	MVIP
Valores indicadores							
pH	4	4	4	4	4		6
S	1	1	1	1	1		10
T	5	5	5	5	5		5
Con	1	1	1	1	1		3
Tra	3	3	3	3	3		3
Tur	1	1	1	1	2		3
TDS	1	1	1	1	1		3
Arc	3	3	3	3	3		3
HCO ₃	2	2	2	2	2		3
Ca	1	1	1	1	1		3
CaCO ₃	3	3	3	3	3		3
Cls	1	1	1	1	1		3
Fe	1	1	1	1	1		3
Mg	1	1	1	1	1		3
Na	1	1	1	1	1		4
Sos	1	1	1	1	1		3
OD	2	2	2	2	2		3
DBO	2	2	1	1	1		3
DQO	2	2	2	2	2		3
SiO ₂	2	2	2	2	2		3
NH ₃	3	3	3	3	3		3
NH ₄	3	3	3	3	3		3
NO ₃	1	1	1	1	1		3
NO ₂	3	3	3	3	3		3
PO ₄	3	3	2	2	2		3
Nt:Pt	1	1	1	1	1		3
MO	1	1	1	1	1		3
COT	1	1	1	1	1		3
Ptr	5	5	4	4	4		11
Fv	4	4	4	4	4		4
F	5	5	5	5	5		5
D	2	2	2	2	2		2
Fl	2	2	1	1	2		5
R	3	3	3	3	3		3
H'n	3	3	3	3	3		3
VIP	2.229	2.229	2.114	2.114	2.171	2.171	3.714
DE	1.267	1.267	1.237	1.237	1.207		1.845

La presencia de *A. elenkinii* distribuida en la pista de remo y canotaje, se comparó con reportes de diversos estudios realizados en el resto del país entre 1941 y 2015, mismos que fueron resumidos por Moreno-Ruiz (2005), más la adición de los datos de Licona (2003), De la Lanza-Espino y Gómez-Rojas (2005), Osorio-Sánchez y López-Pérez (2005), Vázquez y Blanco-Pérez (2011) y Muciño-Márquez et al. (2015).

Los datos de la presencia de *A. elenkinii* en Sudamérica se obtuvieron de la información referida por Peixoto y Huszar (1983), Ramírez (1994), Carvalho et al. (2008), UNESCO (2009), Santos y Sant'Anna (2010), Malone et al. (2012), De Souza-Santos (2013), Aguilera et al. (2016), Comas-González y Moreira-González (2016).

Para el análisis de las variables de *A. elenkinii* se construyó una matriz con su valor indicador ponderado (Tabla 2), este último se estandarizó según Lepistö y Rosenström (1998). Con estos datos, se clasificaron las estaciones de muestreo, a través del agrupamiento de mínima varianza (método de Ward 1963) con el paquete estadístico "PAST" (Hammer et al., 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la pista de remo y canotaje se reconoció por primera vez a la cianoprocariota *Anabaenopsis elenkinii* (Fig. 2), quien presentó tricomas con 0.5-5 espirales, con 6-34 células en promedio, cilíndricas unidas por sus extremos redondos, contenido celular homogéneo, con aerotopos y heterocistos esféricos terminales. Las células tuvieron longitudes de 4.8 a 8.0 μm , el diámetro fue de 4.5 a 6.2 μm ; los heterocistos de 5.2-6.0 μm , acinetos casi esféricos solitarios con diámetro de 8.2-9.1 μm . La morfología señalada concuerda con la reportada por Komárek (2005) y Comas-González y especialmente en Moreira-González (2016), en que la especie tiene células de (3)4-9(12.9) μm de longitud y (2.8)4-6(8) μm de ancho, heterocistos esféricos a ligeramente alargados (2.8)3-7 μm , y acinetos esféricos a ligeramente alargados.



Figura 2. *Anabaenopsis elenkinii*, 0.5-2 espirales, células constreñidas con aerotopos y un número máximo de ocho células entre los dos heterocistos terminales. Microscopía de luz, las escalas equivalen a 10 μm .

Existen algunos registros de cianoprocariotas de la pista de remo y canotaje (Arzate-Cárdenas 2008 y Pineda-Mendoza 2009), sin embargo, en ninguno se refiere a *A. elenkinii*. Mientras que en áreas aledañas se menciona a la especie *A. circularis* (Figueroa-Torres et al., 2015). Por lo que este primer registro muestra el incremento de la biodiversidad de la zona. Aunque se le ha reconocido en diversas regiones del país (sur, centro y norte de México) por Komárek y Komárková-Legnerová (2002) y Muciño-Márquez et al. (2015), así como en Sudamérica (Peixoto y Huszar, 1983; Ramírez, 1994; Carvalho et al., 2008; UNESCO 2009; Santos y Sant'Anna, 2010; Malone et al., 2012; De Souza-Santos, 2013; Aguilera et al., 2016; y Comas-González y Moreira-González, 2016). Se podría pensar que si gran parte de la flora se ha dispersado de Sudamérica a Norteamérica (Moreno-Ruiz et al., 2012a), esta misma situación puede estar sucediendo con *A. elenkinii*.

A. elenkinii, mostró los valores de menor y mayor abundancia, biovolumen, biomasa y calorías en las estaciones de muestro 4 y 5, respectivamente (0.722 a 7.325 10^6 Cél/L, 1 134.903 a 11 506.656 $10^6 \mu\text{m}^3$ /L, 86.266 a 874.639 10^6 pg C/L, 0.983 a 9.971 cal/L (Fig. 3). El valor calórico registrado es bajo en contraste con el de *Spirulina (Arthrospira) platensis* (46.16 kcal/mL) de acuerdo con Bensehaila et al. (2015), diferencia significa-

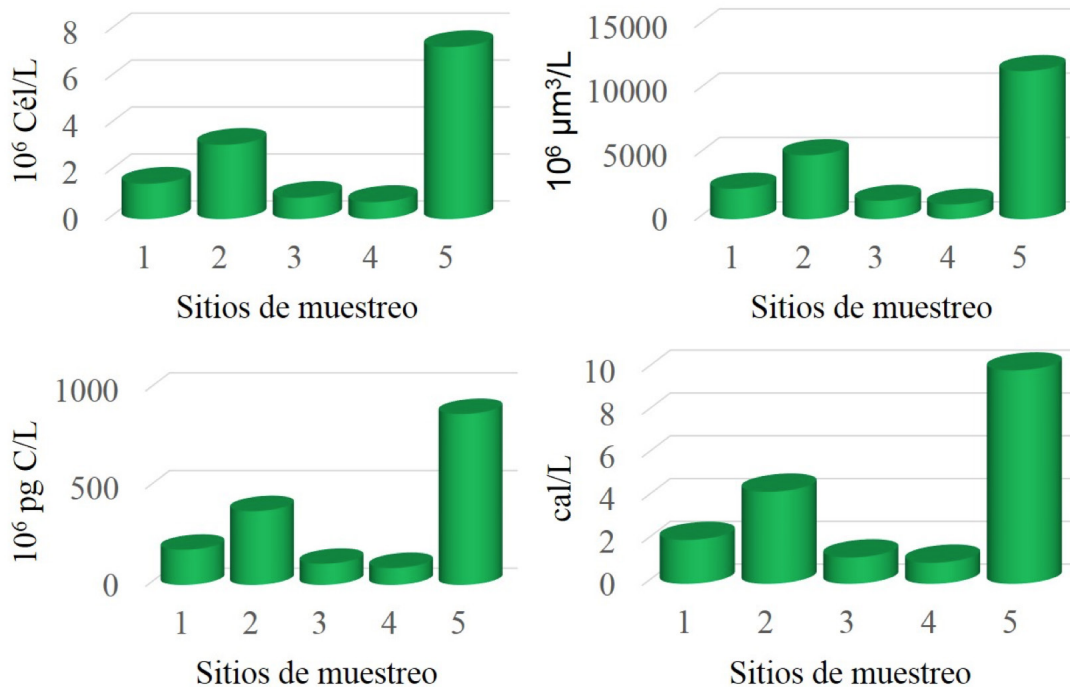


Figura 3. Abundancia (10⁶Cél/L), biovolumen (10⁶μm³/L), biomasa (10⁶pg C/L) y calorías (cal/L) de *A. elenkinii*.

tiva por el gran tamaño de esta última especie que va de 10μm de diámetro promedio a cientos o miles de μm de largo (De Oliveira-Moraes et al., 2013), en contraste con el diámetro de 5.43 a 5.27μm y el largo de 6.5 a 6.3μm de *A. elenkinii* en esta investigación, aun así, el último taxón puede representar una fuente importante de alimento para algunos consumidores acuáticos primarios.

Aunado a las variaciones de la abundancia, se reconoce la formación de dos pequeños florecimientos en las estaciones de muestreo 3 y

4 (904Cél/mL a 723Cél/mL, respectivamente); en contraste con tres florecimientos masivos en las estaciones 1, 2 y 5 (1 506Cél/mL, 3 161Cél/mL y 7 326Cél/mL, respectivamente, Tabla 1), exhibiendo en la última estación de muestreo el florecimiento más abundante de esta cianoprocarionta.

Se han registrado diversos grados de perturbaciones ambientales en áreas aledañas de Xochimilco, de acuerdo con los datos registrados por Zambrano-González et al. (2003, 2014), Martínez-Cruz et al. (2006), Arzate-



Cárdenas (2008), Quiroz-Flores et al. (2008), Xolalpa-Laurel (2009), Castillo-Briseño y López-Gutiérrez (2010), CONACyT-CONAGUA (2012), Benítez-Díaz Mirón et al. (2014), Ferrara-Guerrero et al. (2014), Imaz-Gispert et al. (2015) y Núñez-Jiménez et al. (2015). Por lo que, al utilizar los valores indicadores ponderados en esta investigación, resalta el ambiente acuático de la pista olímpica de remo y canotaje con calidad del agua moderada (Tablas 1-2).

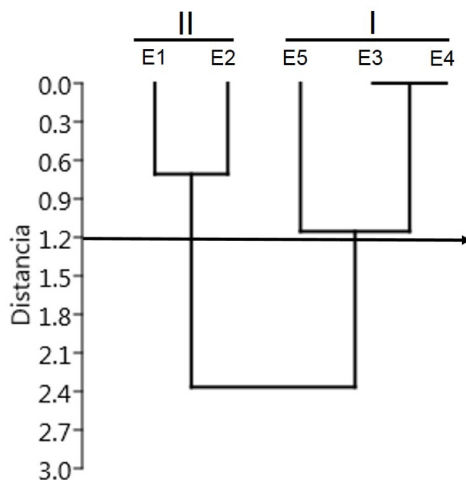


Figura 4. Dendrograma de similaridad de los puntos de muestreo (E1-E5), basado en 35 valores ponderados de la composición ecológica de *A. elenkinii* (pH, S, T, Con, Tra, Tur, TDS, Arc, HCO₃, Ca, CaCO₃, Cls, Fe, Mg, Na, Sos, OD, DBO, DQO, SiO₂, NH₃, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, Nt:Pt, MO, COT, PTR, Fv, F, D, Fl, R, H'n) indicados en la Tabla 2. La flecha muestra la línea de división arbitraria que definió los hábitats determinados (I-II).

En la pista de remo y canotaje, la similitud y clasificación por conglomerados de los 35 valores ponderados definió dos hábitats (Fig. 4), de los cuales, el primero (estaciones 3, 4 y 5), destacó por los valores indicadores ponderados menores (VIP) de la turbidez, encontrándose los más bajos entre las estaciones 3 y 4 (Tabla 2, Fig. 4). Mientras que el hábitat II, se caracterizó por el incremento de la DBO, así como del valor indicador ponderado (VIP) de 2 que resultó por el descenso de la concentración de clorofila *a*, ya que no necesariamente al incrementarse la abundancia de células aumenta la concentración de la clorofila *a* (Chi-Yong et al., 2007) ya que también influye el tamaño de los organismos.

Asimismo, se observó que todos los sitios muestreados contaban con nutrientes apropiados para el buen desarrollo de *A. elenkinii*, con un pH mayor de 6 lo que le favoreció la gran producción de células y calorías las que, a su vez, son aprovechadas por los consumidores (Alva-Martínez 1996 y Benítez-Díaz Mirón et al., 2014).

Por otro lado, la enorme abundancia de *A. elenkinii*. en la pista olímpica de remo y canotaje, representa un riesgo potencial de salud si el agua de dicho lugar se ingiere sin tratar, ya que puede ocasionar enfermedades hepáticas como tumores, hemorragias, y cáncer de hígado (Pizzolon 1996 y Capó 2007).



Sin embargo, de manera similar a otras algas nocivas, esta cianoprocarionta es utilizada como alimento, sin expresar en todos los casos su potencial tóxico, mismo que se puede manifestar si se presentan modificaciones ambientales particulares (Cuéllar-Anjel 2015).

Así, se requiere investigar quién o quiénes son sus consumidores para ubicarla como un componente importante en el manejo sustentable del agua de la región, para el manejo adecuado de la pista de remo y canotaje Virgilio Uribe.

CONCLUSIONES

En esta investigación se registra por primera vez a la cianoprocarionta *Anabaenopsis elenkinii*, en la pista olímpica de remo y canotaje Virgilio Uribe, la cual es una productora primaria y vive en aguas con moderada calidad. Esta especie forma floraciones o desarrollos masivos y suele ser causante de una serie de enfermedades; sin embargo, en la zona de estudio hasta el momento no ha manifestado su potencial tóxico. Esta especie también proporciona energía a las especies acuáticas que la consumen. Es importante investigar quién o quiénes son sus consumidores para situarla como un componente importante en el manejo sustentable del agua de la cuenca.

BIBLIOGRAFÍA

- Abel PD. 2000. Water pollution biology. Taylor & Francis, UK. 286 p.
- Agraz-Hernández CM, C García-Zaragoza, S Iriarte-Vivar, FJ Flores-Verdugo y P Moreno-Casasola. 2011. Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha lagoon in the Atlantic coast of Mexico. *Wetlands Ecology and Management* 19: 273-293.
- Aguilera A, J Komárek y R Echenique. 2016. *Anabaenopsis* morphospecies (Cyanobacteria, Nostocales) from Los Patos shallow lake (Province of Buenos Aires, Argentina). *Phytotaxa* 272(3): 173-183.
- Alva-Martínez FA. (1996). La calidad de agua en la pista de remo y canotaje Virgilio Uribe México D. F. Con base el contenido de nutrientes y factores físicos. Informe de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México: 36 p.
- Amador-Torres H, y HE Acevedo. 2008. El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *IDESIA* 26(3): 31-44.
- Arzate-Cárdenas MA. 2008. Detección de cianobacterias toxigénicas pertenecientes al género *Microcystis* mediante métodos moleculares y ensayos biológicos. Tesis maestría. Instituto Politécnico Nacional, México. 71 p.



- Ballot A, PK Dadheech, S Haande. y L Kriemitz. 2008. Morphological and phylogenetic analysis of *Anabaenopsis abijatae* and *Anabaenopsis elenkinii* (Nostocales, Cyanobacteria) from Tropical Inland Water Bodies. *Microbial Ecology* 55(4): 608-618.
- Barreiro-Güemes, MT. 1999. Mangrove leaf litter input and foliage renovation of an estuarine system in southeast Mexico. *Revista de Biología Tropical* 47(4): 729-737.
- Barreiro-Güemes MT, y J Balderas-Cortés J. 1991. Evaluación de algunas comunidades de productores primarios de la laguna de La Mancha, Veracruz. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 18(2): 229-245.
- Benítez-Díaz Mirón M I, M Zamora-García, ME Castellanos-Páez, G Garza-Mouriño, R Contreras-Tapia y TJ Flores-López. 2014. Determinación de la biomasa de una comunidad zooplanctónica en el Canal Nacional de Cuernavaca, Xochimilco. *Manejo Integral de la Cuenca de Xochimilco y sus Afluentes*. Número especial de la revista E-Bios: 73-80.
- Bensehaila AD, A Doumandji, L Boutekrabet, H Manafikhi, I Peluso, K Bensehaila, A Kouache y A Bensehaila. 2015. The nutritional quality of *Spirulina platensis* of Tamenrasset, Algeria. *African Journal of Biotechnology* 14(19): 1649-1654.
- Boyd CE. 2000. Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón. *Dep. Fish. All. Aquacultures*. Auburn University, Alabama. USA. 1-30. www.cesasin.com.mx/CentroAmerica/1Calidad%20del%20agua.pdf.
- Caljon A. 1983. Brackish-water phytoplankton of the Flemish lowland. *Development in Hydrobiology* 18: 1-272.
- Capó MA. (2007). *Toxicología clínica, alimentaria y ambiental*. España: Complutense. 10 p.
- Carbajal Pérez N. 2009. Hidrodinámica y transporte de contaminantes y sedimentos en el sistema lagunar de Nichupté-Bojórquez, Quintana Roo. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CQ063. México, D.F. 182 p.
- Carvalho LR, F Pipole, VR Werner, HD Laughinghouse, ACM Camargo, M Rangel, K Konno y CL Sant'Anna. 2008. A toxic cyanobacterial bloom in an urban coastal lake, Rio Grande do Sul state, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology* 39: 761-769.
- Castillo-Briseño E, y RC López-Gutiérrez. 2010. Planta de lombricomposteo, beneficio de mejora de suelo en zona de trabajo ejidal. *Revista Estudios Agrarios* 133-161.
- Chi-Yong A, J Seung-Hyun, Y Sook-Kyoung y O Hee-Mock. 2007. Alternative alert sys-

- tem for cyanobacterial Bloom, using phyco- cyanin as a level determinant. The Journal of Microbiology 45(2): 98-104.
- Comas-González AB, y AR Moreira-González. 2016. Novedades para la flora de algas y cianobacterias de Cuba: *Strombomonas borysteniensis* (Roll) Popova (Euglenophyceae), *Anabaenopsis elenkinii* Miller y *Glauco- spira* sp. (Cyanobacteria). Anales de Biología 38: 1-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.38.01>
- CONACyT-CONAGUA. 2012. Segundo informe de validación en campo, zona lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. In: Estudio Interdisciplinario de los Humedales de la República Mexicana: Desarrollo Metodológico para el Inventario Nacional de Humedales y su Validación a Nivel Piloto. Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua. Proyecto 84369. Ciudad Universitaria. 1-29.
- Contreras-Espinosa F, O Castañeda-López y A García-Nagaya. 1994. La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México 21: 55-66.
- Cornet-Barthaux V, L Armand y B Quéguiner. 2007. Biovolume and biomass estimates of key diatoms in the Southern Ocean. Aquatic Microbial Ecology 48: 295-308.
- Cuéllar-Anjel J. 2015. Enfermedades tóxicas y carenciales en camarones marinos. The Center for Food Security & Public Health-Institute for International Cooperation in Animal Biologics. Iowa State University. 11 p.
- De la Lanza-Espino G. 1994. Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano. p. 127-198. En De la Lanza-Espino G, C Cáceres-Martínez (eds.). Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. Ed. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.
- De la Lanza-Espino G, y JC Gómez-Rojas. 2005. Calidad de agua e indicadores fitoplanctónicos en tres ambientes acuáticos costeros al noroeste del Golfo de México. p. 127-198. En Botello AV, J Rendón-von Osten, G Gold-Bouchot, C Agraz-Hernández (eds.). Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias, 2da Ed. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- De Oliveira-Moraes I, R De Oliveira-Moraes Arruda, N Rocha-Maresca, A De Oliveira-Antunes y R De Oliveira-Moraes. 2013. *Spirulina platensis*: process optimization to obtain biomass. Ciência e Tecnologia de Alimentos Campinas 33(Supl. 1): 179-183.
- De Souza-Santos KR. 2013. Estudos de desenvolvimento, moleculares e do potencial biotecnológico em cepas de cianobactérias provenientes de lagoas salinas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil: *Anabaenopsis elenkinii* (Nostocales) e *Arthrospira*

- platensis* (Oscillatoriales). Tese Doutor. Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. 202 p.
- Ferrara-Guerrero MJ, M Hernández-Hernández, JR Angeles-Vázquez, A Ponce-Mendoza, MG Figueroa-Torres y RC Vargas-Solís. 2014. La nitrificación microbiana como indicadora de calidad del agua en los canales de la zona chinampera de Xochimilco (México). Manejo Integral de la Cuenca de Xochimilco y sus Afluentes. Número especial de la revista E-Bios: 35-44.
- Figueroa R, ML Suarez, A Andreu, VH Ruiz y MR Vidal-Abarca. 2009. Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile central. *Gayana* 73(1): 76-94.
- Figueroa MG, y MV Salazar. Introducción. Manejo Integral de la Cuenca de Xochimilco y sus Afluentes. Número especial de la revista E-Bios: 3-4.
- Figueroa-Torres MG, F Arana-Magallón, S Almanza-Encarnación, MG Ramos-Espinosa y MJ Ferrara-Guerrero. 2015. Microalgas del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, México. *CienciaUAT* 9(2): 15-29.
- Hammer Ø, DAT Harper y PD Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaentologia Electronica* 4(1): 1-9. http://palaentologia-electronica.org/2001/past/issue1_01.htm
- Hillebrand H, CD Dürselen, D Kirschtel, U Pollinger y T Zohary. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalge. *J. Phycology* 35: 403-424.
- Imaz-Gispert M, L Zambrano González, JA Cruz Gerón, A Martínez, L Gutiérrez. 2015. Análisis del estado de conservación ecológica del sistema lacustre chinampero de la superficie reconocida por la UNESCO como Sitio Patrimonio de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta. Informe Final. Universidad Nacional Autónoma de México. 97 p.
- ITAA (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas). 2016. Parámetros y características de las aguas naturales. 1-22. www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf.
- Komárek J. (2005). Phenotypic diversity of the heterocytous cyanoprokaryotic genus *Anabaenopsis*. *Czech Phycology* 5: 1-35.
- Komárek J, y J Komárková-Legnerová. 2002. Contribution to the knowledge of planktic cyanoprokaryotes from central Mexico. *Preslia* 74: 207-233.
- Leonard JA, y HW Paerl. 2005. Zooplankton community structure, micro-zooplankton grazing impact, and seston energy content in the St. Johns river system, Florida as influenced by the toxic cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Hidrobiologia*. 537: 89-97.



- Lepistö L, y U Rosenström. 1998. The most typical phytoplankton taxa in four types of boreal lakes. *Hydrobiologia* 369/370: 89-97.
- Licona SM. 2003. Diversidad fitoplanctónica del río Sedeño, tramo Plan Rincón del Sedeño, Col. 6 de enero. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Campus Xalapa, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 87p.
- Malone CFS, KRS Santos y CL Sant'Anna. 2012. Algas e cianobacterias de ambientes extremos do Pantanal brasileiro. *Oecologia Australis* 16(4): 784-794.
- Marshall T, J Holmes y C Rose. 1996. *Soil Physics*. Third Edition. Cambridge University, 453 p.
- Martínez-Cruz P, A Hernández-Martínez, R Soto-Castor, A Esquivel-Herrera y J Rangel-Levario. (2006). Use of constructed wetlands for the treatment of water from an experimental channel at Xochimilco, Mexico. *Hidrobiológica* 16(3): 211-219.
- Mejía-Maravilla E, F Rosales-Cristerna, JA Rojas-García y C Molina-Segura. 2006. Evaluación de la calidad del agua. En Cotler-Ávalos H, M Mazari-Hiriart, J De Anda-Sánchez (eds.). *Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala*, Marco institucional Para la Gestión del Agua en la Cuenca 101-102. www2.inecc.gob.mx/emapas/download/Ich_calidad_del_agua.pdf.
- Moreno JL. 2003., Fitoplancton. En: De La Lanza-Espino G, S Hernández-Pulido (eds.). *Manual Para la Colecta, el Manejo y las Observaciones de Campo Para Bioindicadores de Calidad del Agua*. CNA/AGT, México. 13-45.
- Moreno-Ruiz JL. 2005. Fitoplancton. En: Bueno-Soria JS, F Álvarez-Noguera (eds.). *Biodiversidad de Tabasco*. Inst. Biol., UNAM/CONABIO, México. 33-64.
- Moreno-Ruiz JL, MTapia-García, MCGonzález-Macias y G Figueroa-Torres. 2008. Fitoplancton del río Tehuantepec, Oaxaca, México y algunas relaciones biogeográficas. *Revista de Biología Tropical* 56(1): 27-54.
- Moreno-Ruiz JL, MTapia-García, S Licea, MG Figueroa-Torres, A Esquivel, JE Herrera-Galindo, JM González-Fernández y MC González-Macias. 2011. Ecological composition and distribution of the diatoms from the Laguna Superior, Oaxaca, Mexico. *Journal of Environmental Biology* 32: 425-442.
- Moreno-Ruiz JL, F Hernández, y M Tapia-García. 2012a. Mangles de México y algunos aspectos biogeográficos. Riqueza de vegetales acuáticos en México asociados a las variables físicas, químicas y bióticas y calidad del agua. Editorial Académica Española. Leipzig. Alemania. 74 p.
- Moreno-Ruiz JL, M Tapia-García, S Licea, MG Figueroa-Torres y MC González-

- Macías. 2012b. Estudio ecológico y algunas consideraciones biogeográficas del fitoplancton del arroyo El Zanjón, Oaxaca. En AJ Sánchez, X Chiappa-Carrara, Brito-Pérez (eds.). Recursos Costeros Acuáticos del Sureste vol I: Tendencias actuales en investigación y estado del arte. Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste (RECORECOS) y el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Yucatán, México. 304-334.
- Muciño-Márquez RE, MG Figueroa-Torres y A Aguirre-León. 2015. Cianofitas de los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, adyacentes a la laguna de Términos, Campeche, México. *Polibotánica* (39): 49-78.
- Núñez-Jiménez M, PR Cuestas-Alvarado y G Almada-Ávila. 2015. Producción primaria como indicadora de eutrofización de los canales del lago de Xochimilco (México). *Revista Digital E-Bios* 2(9): 20-30.
- Olivas-Silva R, M De La O-Villanueva y AI Villalba-Atondo. 1992. Estudio sedimentológico de la laguna costera Santa Rosa, Sonora, México. *Boletín del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora* 9(2): 85-100.
- Osorio-Sánchez JJ, y R López-Pérez R. 2005. Diversidad y distribución del fitoplancton de la laguna El Balsón, Tabasco, México. Tesis de licenciatura. *Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*. 95 p.
- Peixoto JA, y VLM Huszar. 1983. Algunas especies de algas da Quinta da Boa Vista, Rio de Janeiro. *Nova sér., Boletim do Museu Nacional, Nova Série, Botânica-UFRJ* 67: 1-8.
- Pineda-Mendoza RM. 2009. Determinación de cianobacterias toxigénicas productoras de microcistinas por métodos moleculares y bioensayos. Tesis Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas 112 p.
- Pizzolon L. (1996). Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales. http://www.interciencia.org/v21_06/art01/.
- Platt T, y B Irwin. 1972. Caloric content of phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 18: 306-310.
- Putland JN. 2000. Microzooplankton herbivory and bacterivory in Newfoundland coastal waters during, spring, summer, and winter. *Journal of Plankton Research* 22: 253-277.
- Quiroz-Flores A, MG Miranda-Arce y 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.
- Ramírez JJ. 1994. Dinámica poblacional de dos especies de *Anabaenopsis* (Wolosz) V. Mill. 1923 en una laguna eutrófica tropical. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* 27: 337-346.
-

- Santos KRS, y CL Sant'Anna. 2010. Cianobacterias de diferentes tipos de lagoas ("salina", "salitrada" e "baía") representativas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 33: 61-83.
- Smith A. 2006. Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *Limnology and Oceanography* 51(1-2): 377-384.
- UNESCO. 2009. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la Identificación y Medidas de Gestión. En Bonilla S (ed.). Documento Técnico PHI-LAC, 16: 43 p.
- Van Dam H, A Mertens y JA Sinkeldam. 1994. Coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117-133.
- Vázquez G, y R Blanco-Pérez. 2011. Microalgas de agua dulce de Veracruz. p. 77-88. En CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana (eds.). La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado. Ed. Instituto de Ecología, AC. México.
- Ward J. 1963. Hierarchical grouping to optimise an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58: 236-244.
- Wilhm JL, y TC Dorris. 1968. Biological parameters for water quality criteria. *BioScience* 18: 477-481.
- Vázquez G, y R Blanco-Pérez. 2011. Microalgas de agua dulce de Veracruz. En La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. 2:77-88.
- Xolalpa-Laurel F. 2009. Monitoreo quincenal de clorofila a y parámetros fisicoquímicos en tres localidades de los canales de Xochimilco (El Bordo, La Virgen y El Japón) período 11 de agosto al 3 de noviembre 2008. Tesis Profesional Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. 66 p.
- Zambrano-González L, VH Reynoso y G. Herrera. 2003. Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. AS004. México D.F. 35 p.
- Zambrano-González L, CA Tovar Garza, C Sumano Arias, C Ayala Azcárraga, M Rubio Lozano y MA Trejo Castillo. 2014. Estudio: Rehabilitación de la red chinampera y del hábitat de especies nativas de Xochimilco. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Biología-Restauración Ecológica. Informe tercera etapa del proyecto: Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote. México D.F. 135 p.

DIAGNÓSTICO FITOPATOLÓGICO EN JITOMATE BOLA (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) Y CHILE MANZANO (*CAPSICUM PUBESCENS* R. Y P.) DE INVERNADERO, EN LAS ÁNIMAS, XOCHIMILCO

Jiménez-Salado R, Menor-González JF, Moreno-García CM, Pacheco-Sánchez DB, Vázquez-Cardona H y Jiménez-Castañeda V.

Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Laboratorio de fitopatología, Calzada del Hueso No.1100. Col. Villa Quietud. México, 04960, CDMX Del. Coyoacán. Teléfono 54 83 7000 Ext.. 31 05. Correo electrónico vjimenez@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

La producción de hortalizas en México ha tenido una alta demanda en las últimas dos décadas, en particular las de jitomate bola (*Solanum lycopersicum* L.) y de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pav.), las cuales también son de las que más se cultivan en el territorio mexicano. Estos cultivos en condiciones de invernadero regularmente son más rentables que los de terrenos abiertos; sin embargo, también son susceptibles a la invasión de hongos y bacterias fitopatógenas.

El objetivo de este estudio consistió en identificar los agentes causales de las principales enfermedades presentes en los cultivos de jitomate bola y chile manzano, así como determinar su incidencia y severidad, en el predio “Las Ánimas”, Xochimilco. Se realizó un muestreo simple al azar, en el jitomate y otro en el chile manzano. Posteriormente, se aislaron las

muestras de hongos y bacterias fitopatógenas en el laboratorio y se indujo su proliferación para llevar a cabo el diagnóstico fitopatológico.

El diagnóstico en el cultivo de jitomate indicó la presencia de las siguientes enfermedades y de los patógenos que las causan: tizón temprano causado por el hongo *Alternaria solani* y marchitamiento por *Fusarium oxysporum*; además de éstos, se identificó la presencia de *Penicillium* sp. y de *Rhizopus* sp., así como una bacteria del género *Pseudomonas*; mientras que, en el cultivo de chile, únicamente se identificó *Alternaria solani*.

Se determinó la relación entre los síntomas y la presencia de los agentes fitopatógenos de ambos cultivos en el invernadero, y se estimó la incidencia y la severidad de la enfermedad.

La incidencia en el cultivo de jitomate fue de un 90% con respecto al total de las plantas, y la severidad, determinada por el nivel de daño



observado en las plantas enfermas fue del 10% en el nivel 1, 30% en el nivel 2 y 60% en el nivel 3. Por otro lado, la incidencia en el cultivo de chile fue de 11.72%, mientras que la severidad fue de 27% de las plantas en el nivel 1, 33% en el nivel 2 y 40% en el nivel 3.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, *Capsicum pubescens*, hongos fitopatógenos, bacterias fitopatógenas.

ABSTRACT

Horticulture production in Mexico has had a high demand in the last two decades, particularly tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pav.), which represents some of the main horticulture crops in Mexican territory. These crops under greenhouse conditions are regularly more profitable than without them; however, they are more susceptible to invasion of phytopathogenic fungi and bacteria.

The objective of this research was to identify the causal agents of the main diseases presents in tomato plants and manzano hot pepper crops, as well as to determine their incidence and severity, at "Las Animas" property, Xochimilco. A simple random sampling was performed in the tomato and another in the manzano hot pepper. Later in the laboratory, the samples of fungi and phytopathogenic bacteria were isolated and their proliferation

was induced to carry out the phytopathological diagnosis.

The diagnosis in the tomato crop indicated the presence of the following diseases and their pathogens: early blight caused by the fungus *Alternaria solani* and withering caused by *Fusarium oxysporum*.

In addition to these, was identified the presence of *Penicillium* sp. and *Rhizopus* sp., as well as a bacterium of the genus *Pseudomonas*; meanwhile, in the chili crop, only *Alternaria solani* was identified.

The relationship between the symptoms and the presence of phytopathogenic agents of both crops in the greenhouse was determined, and the incidence and severity of the disease were estimated.

The incidence in tomato crop was 90% respect to the total of plants, and the severity, determined by the level of damage observed in each plant, was 10% of the total population in level 1, 30% in level 2 and 60% in level 3. On the other hand, the incidence in manzano hot pepper crop was 11.72%, while the severity was: 27% of plants in level 1, 33% in level 2 and 40% in level 3.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Capsicum pubescens*, phytopathogenic fungi, phytopathogenic bacteria.



INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la principal hortaliza producida en México, existen más de 90,000ha sembradas, y se cultiva principalmente en los estados de Sinaloa (14,095ha), Michoacán (5,264ha) y Baja California (3,562ha) (SIAP, 2011). En lo que respecta a las variedades de jitomate que se producen en territorio mexicano, el jitomate bola se encuentra en segundo lugar, con un volumen de producción del 14% del total.

Otra cultivo importante en el país, es el de varias especies de chile (*Capsicum* spp.) por ser un alimento fundamental en la dieta diaria de los mexicanos. Actualmente, la alta demanda de estos productos y el incremento de huertos semicomerciales han motivado el desarrollo de sistemas de producción que elevan el rendimiento y su calidad postcosecha. La producción de dichas hortalizas en invernadero suele contar con un alto potencial de rendimiento; sin embargo, no se ha logrado la rentabilidad en algunos casos, debido a la presencia de enfermedades, desconocidas en la mayoría de las ocasiones (Rodríguez, 2011).

La producción de chile manzano en condiciones de invernadero alcanza un rendimiento medio de 80t/ha al año. Una de las ventajas de la producción en invernadero es la ausencia de su principal enfermedad, conocida como “secadera del chile,” producida por el hongo

Phytophthora capsici, y la disminución de los daños causados por plagas (Pérez et al., 2008). Los fitopatógenos más frecuentes que causan grandes daños a frutas y hortalizas son generalmente hongos y bacterias.

A nivel mundial, los hongos fitopatógenos originan pérdidas que ascienden a miles de millones de dólares al año. Ashworth et al. (1981), mencionan que el daño que ocasionan se debe a las pérdidas en la producción biológica, es decir, a la alteración que existe en el crecimiento y desarrollo de las plantas atacadas por estos microorganismos.

Las bacterias fitopatógenas, suelen causar muchas enfermedades graves en los cultivos, pero con menor frecuencia que los hongos, y relativamente con menores daños y costos económicos (Kennedy y Alcorn, 1980).

Los objetivos de este trabajo consistieron en identificar los agentes fitopatógenos causales de las principales enfermedades y establecer su relación con los síntomas que ocasionan, así como determinar su incidencia y severidad, en los cultivos de jitomate bola y chile manzano en el predio “Las Ánimas”, Santiago Tulyehualco, perteneciente a la delegación Xochimilco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente diagnóstico se llevó a cabo en dos invernaderos, uno con producción de jitomate bola y otro de chile manzano, ubicados en el predio “Las Ánimas”, Santiago Tulyehualco, el cual se localiza en las coordenadas 19°15'20.5"N y 99°01'02.7"W. El clima predominante es templado y cálido, de acuerdo a Köppen y Geiger se clasifica como CwB; presenta una temperatura media anual de 15.4°C y precipitación media de 705mm. La temporada de lluvias se presenta en la época de verano, principalmente en los meses de junio a agosto (Datos Climáticos Mundiales, s/f).

Características de los invernaderos muestreados

Los dos invernaderos seleccionados de jitomate bola y chile manzano presentaron las siguientes características: cubiertas plásticas en condiciones inadecuadas, deficiencia de agua entre camas, plantas con muy pocos frutos y presencia de algunas malezas en su interior.

Determinación del tamaño de las muestras

El tamaño de las muestras fue del 10% del total de plantas en cada invernadero; por lo que, en cada invernadero se estimó el número total de plantas y con base en éste, se estableció el tamaño de la muestra. El cultivo de jitomate contó con 200 plantas, mientras que el de chile

con 128, por lo que las muestras de los cultivos fueron de 20 y 12 plantas respectivamente.

Fase de muestreo

Se realizó un muestreo dirigido, se seleccionaron hileras al azar, se recorrieron los pasillos examinando las plantas de jitomate y chile, y se recolectaron muestras significativas con aparentes signos y síntomas de enfermedades ocasionadas por hongos y bacterias. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico etiquetadas y se trasladaron al laboratorio.

Determinación de incidencia y severidad

El porcentaje de incidencia se determinó tomando en cuenta el número total de plantas (NTP) y el número de plantas enfermas (NPE), utilizando la siguiente fórmula: $NPE/NTP \times 100$; la severidad se evaluó de acuerdo a una escala subjetiva con tres niveles (de 1 a 3), calculando el porcentaje de daño general observado en cada planta, como se indica a continuación: nivel 1, 10%; nivel 2, 35% y nivel 3, 70% de daño respectivamente (ver Tabla 1).

Tabla 1. Escala de evaluación de severidad del daño causado por enfermedades.

Escala	Índice de severidad	Porcentaje de daño sobre la planta (%)
1	Ligero	10
2	Moderado	35
3	Severo	70

Siembra e identificación de los agentes fitopatógenos en laboratorio

A partir de tejido vegetal enfermo, se realizó la siembra de hongos y bacterias fitopatógenas en agares PDA. La identificación de los agentes causales de tipo fúngico se realizó con base en los síntomas de las plantas, características morfológicas de las estructuras somáticas y reproductivas de las hifas y micelios de las siembras realizadas (Barnett et al., 1972.). La identificación de bacterias fitopatógenas se hizo con base en la sintomatología de las plantas y en las características morfológicas de las colonias: tamaño, forma, color, textura, fluorescencia y tinción Gram (Vizcarrondo y Gutiérrez, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los fitopatógenos aislados e identificados en el cultivo de jitomate fueron los hongos: *Alternaria* sp. (Fig. 1), *Fusarium* sp. (Fig. 2), *Penicillium* sp, *Rhizopus* sp, *Rhizoctonia* sp. (no ilustrados); y bacterias del género *Pseudomonas* (Fig. 3). Respecto al chile manzano, solo se identificó el hongo *Alternaria* sp (Fig. 4). En ambos cultivos, se elaboró la relación entre los fitopatógenos y los síntomas que provocan.

Al comparar la incidencia de enfermedades entre las hortalizas analizadas, se determinó que, la presencia de agentes fitopatógenos en

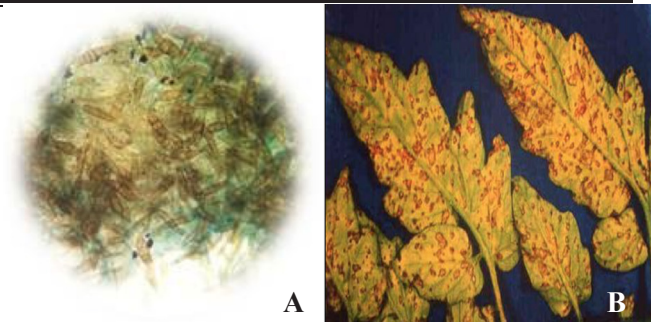


Figura 1. Fitopatógeno identificado en jitomate: A) Morfología de *Alternaria* sp. B) Síntomas: aparición de pequeñas lesiones necróticas en las nervaduras de las hojas; ocasiona el tizón temprano.

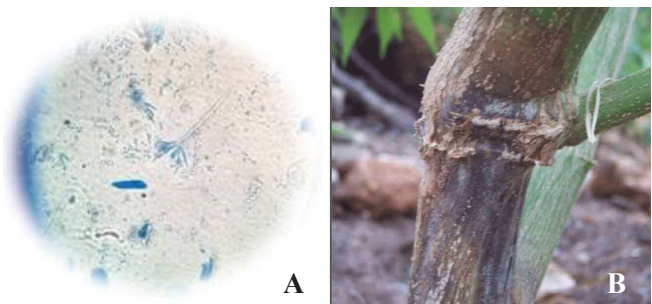


Figura 2. Fitopatógeno identificado en jitomate: A) Morfología de *Fusarium* sp. B) Síntomas: clorosis y deshidratación, escaso desarrollo, hojas pequeñas de consistencia coriácea o engrosadas, y hojas viejas.

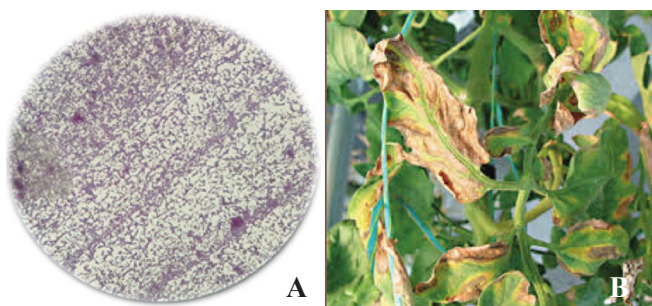


Figura 3. Fitopatógenos identificados en jitomate: A) *Pseudomonas* sp. B) Síntomas: manchas pequeñas traslúcidas con apariencia acuosa, lesiones maduras café y negras con halo clorótico la mayoría de las veces, las lesiones corren a lo largo de las venas, la planta se torna amarilla.

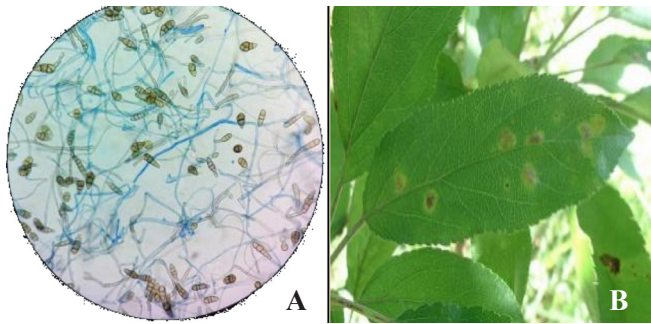


Figura 4.- Fitopatígeno identificado en chile manzano: A) Morfología de *Alternaria* sp. B) Síntomas: se observan pequeñas lesiones necróticas en las nervaduras de las hojas; ocasiona el tizón rayado.

el cultivo de jitomate bola era mayor en comparación con la de chile manzano, debido a que los valores en porcentaje de incidencia fueron 90% y 11.71% respectivamente. Los valores estimados de severidad en ambos cultivos fueron semejantes, donde la mayoría de las plantas afectadas se encontraban en el nivel 1 (Índice de severidad ligero, Tabla 1).

CONCLUSIÓN

Existe una mayor cantidad de agentes fitopatógenos (*Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Rhizoctonia* sp. y bacterias del género *Pseudomonas*) en el cultivo de jitomate con relación a los del chile manzano en donde solo se identificó *Alternaria* sp. Lo anterior se atribuye, primordialmente, a que el primer invernadero, donde se encontraba el cultivo de jitomate, presentaba condiciones desfavorables para el crecimiento

de las plantas y por lo tanto estaba más propenso a la proliferación de hongos y bacterias, además, las instalaciones presentaban daños estructurales y el mantenimiento era menor. Se registraron más especies de hongos fitopatógenos en el cultivo de jitomate bola, por lo que se considera que en estas condiciones, los hongos actúan como puerta de entrada de bacterias, pero también en el sentido opuesto, entre más lesiones por hongo se tengan, es mayor la probabilidad de la invasión bacteriana.

Se recomienda a las autoridades del predio “Las Ánimas” realizar estrategias de mantenimiento, y si es posible de tecnificación, a los invernaderos, ya que los cultivos, anteriormente analizados, poseen muchos agentes fitopatógenos y no son los únicos que se encuentran en el lugar, pudiendo repercutir en una propagación de enfermedades hacia otros.

BIBLIOGRAFÍA

- Ashworth, L., Huisman, O., Weinhold, A., y Hancock, J. 1981. Estimating Yield Losses Caused by Soil-Borne Fungi. In: Crop Loss Assessment Methods. Supplement 3. Chiarappa, L. (ed.) pp.91-95. FAO. CAB. England, U. K.
- Barnett, H. y Hunter, B. 1972. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Burgess Publishing Company. Minneapolis. Third Edition. pp:126-128.



Datos Climáticos Mundiales s/f. Clima:

Santiago Xochimilco. [En línea]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/location/283208/>. [Accesado el 13/II/16].

Kennedy, B. W. and Alcorn. 1980. Estimates of U.S. crop losses to prokaryote plant pathogens. *Plant Dis.* 64: 674-676.

Pérez, G. M., González, H. V. A., Mendoza, C. M. C. & Peña, V. C. 2004. Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens*) landraces. *Hort-Science.* 129(1):88-92.

Rodríguez, G. (2011). Enfermedades del Jitomate (*Solanum lycopersicum*) Cultivado en Invernadero en la Zona Centro de Michoacán. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092011000100005&script=sci_arttext. [Accesado el 14/II/16].

SIAP. (2011). Datos estadísticos. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México [En línea]. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx> [Accesado el 20/III/16].

Vizcarrondo, M. y S. Gutiérrez. 2008. Morfología y tinción de los microorganismos. [En línea] Disponible en: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/10_Morfolog%C3%A1Da_y_Tinci%C3%B3n.pdf [Accesado el 19/III/16].



DIAGNÓSTICO FITOPATOLÓGICO DEL DURAZNO *PRUNUS PERSICA* (L.) BATSCH, EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS Y ACUÍCOLAS DE CUEMANCO (CIBAC)

Aguilera–Meza LR, Nava-Quintana AP, Carlos-Melquiades P, Pérez-Montes AD, Tintor-Orozco MI, Jiménez–Castañeda V.

Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Laboratorio de fitopatología, Calzada del Hueso No.1100. Col. Villa Quietud. México, 04960, CDMX, Del. Coyoacán. Tel: 54 83 7000 Ext. 31 05. Correo electrónico vjimenez@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

El consumo de durazno en México ha aumentado gracias a la oferta en el mercado, con un incremento positivo de 4.7% en los últimos años. El duraznero, es afectado por varias enfermedades causadas por hongos. Sin embargo, unas pocas, pueden ser destructivas y causar pérdidas económicas importantes, tal es el caso del *Oidium* o Mildiú polvoriento, de *Alternaria* sp. y de *Cladosporium* sp. que producen gran cantidad de manchas foliares. El objetivo de la presente investigación fue identificar los hongos fitopatógenos presentes en durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) variedad diamante, así como también conocer la incidencia y severidad causadas por éstos. Para la identificación de fitopatógenos se recolectaron hojas y frutos.

Se identificaron tres géneros de hongos en esta trabajo: *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp. y

Colletotrichum sp. cuya incidencia fue del 100%. Además, el 47% de los árboles tenían daño medio (severidad).

Palabras clave: Duraznero, *Prunus persica* (L.) Batsch, fitopatología, *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Colletotrichum* sp.

SUMMARY

In recent years, the consumption of peaches in Mexico has increased thanks to the supply, with a positive increase of 4.7%. The peach tree is affected by various diseases caused by fungi. However, a few, can be destructive and cause significant economic losses, such as *Oidium* or Powdery mildew, or leaf spots caused by *Alternaria* sp. and *Cladosporium* sp. The aim of this research was to identify the phytopathogenic fungi present in peach (*Prunus persica*) diamond variety, as well as the incidence and severity caused by these.



For phytopathogenic identification, leaves and fruits were harvested. We identified three different genera of fungi: *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., and *Colletotrichum* sp. Which incidence was 100%, and in terms of severity, 47% of the trees had average damage.

Key words: Peach tree, *Prunus persica* (L.) Batsch, plant pathology, *Alternaria* sp, *Cladosporium* sp, *Colletotrichum* sp.

INTRODUCCIÓN

En México se cultivan aproximadamente 40 mil hectáreas con dos tipos de durazno, uno de ellos corresponde a la especie *Prunus persica* (L.) Batsch variedad diamante, cuyo fruto es amarillo, de pulpa firme, dulce y de hueso pegado, es apto para consumo en fresco y para su procesamiento industrial; esta variedad es de origen brasileño, introducida a México en los años 80. También es la más difundida en la parte central de México con aproximadamente 30 mil hectáreas. Su tolerancia a la cenicilla y la alta productividad que presenta así como su amplia adaptación en zonas cálidas la proyectaron como la variedad preferida (Fernández, 2007). El 74% de este durazno que se produjo en México en el periodo 1998-2008 estaba distribuido en cinco estados de la república, donde sobresalen Michoacán (21%), Zacatecas (18%), Estado de México (15%), Chihuahua (13%) y Puebla (7%). (SAGARPA, 2010).

Esta variedad de duraznero, es afectada por varias enfermedades causadas por hongos. Sin embargo, unas pocas, pueden ser destructivas y causar pérdidas económicas importantes, por ejemplo, el *Oidium* o Mildiú polvoriento, o manchas foliares causadas por *Stigmina* sp., *Alternaria* sp. y *Cladosporium* sp. Además de enfermedades postcosecha, como la Pudrición blanda, Pudrición rosada y Pudrición por *Monilia* (Coca, 2012).

El objetivo de la presente investigación fue identificar los hongos fitopatógenos presentes en el duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) variedad diamante, así como también conocer su incidencia y severidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un muestreo de los árboles de durazno *Prunus persica* (L.) Batsch variedad diamante en el CIBAC (Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca) localizado al sur de la ciudad de México. Se recolectaron 10 muestras de frutos y 10 de hojas, con síntomas visibles de enfermedades. Las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio de Fitopatología de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Para la reproducción de los agentes fitopatógenos, se sembraron hojas y frutos en cajas con agar y PDA, bajo condiciones óptimas de luz y temperatura (Gilchrist, 1995) y posteriormente se

realizó la identificación con base en el manual de Barnett (1972). El grado de severidad se evaluó de acuerdo con la escala de Stover (1971).

RESULTADOS

En las fotos (Fig. 1 A-F), se muestran los síntomas de las hojas y frutos del durazno, y de los respectivos agentes causales:

Escala de severidad	
Severidad	% de daño
Sin daño	0
Daño bajo	0-30
Daño medio	30-50
Daño severo	50-80
Daño muy severo	100

La Fig. A corresponde a la hoja de durazno, que presenta síntomas de infección por *Alternaria* sp., y que corresponde a lesiones de color café oscuro a negro en las hojas y peciolo, estos resultados concuerdan con los observados por Coca (2012) en estos árboles. En la Fig. B se pueden observar conidios de *Alternaria* sp., con septos longitudinales.

En la Fig. C se observan los síntomas característicos de *Cladosporium* sp., que son bordes de color rojizo tanto en hojas como en frutos (Mitidieri 2003). En la Fig. D se muestran conidios de *Cladosporium* sp., del fruto del duraznero identificados con un microscopio óptico, los cuales se caracterizan por un crecimiento rápido en los medios de cultivo (Morante, 2011).

En la Fig. E, se observan los síntomas causados por *Colletotrichum* sp., que consisten en necrosis tisular, deformación de hojas (arrugadas), puntos rojizos y lesiones que crecen en forma irregular (Orozco, 2006). En la Fig. F, se observan conidióforos, conidios e hifas.

La siguiente gráfica de pastel (Fig. 2) se indica la cantidad de árboles que se encuentran en el CIBAC y el grado de daño que tienen, únicamente en hoja y fruto.

De acuerdo con la Figura 2, el 22 % de los árboles presentan daño bajo, el 47% presentan daño medio, tanto en hojas como en frutos (manchas y decoloración) y el 28% presentan daños severos.

El hongo que provoca más daño (severidad) es el fitopatógeno *Cladosporium* sp., ya que no permite un desarrollo completo del área apical de las hojas. En el fruto causa pudrición blanda con forma circular en la zona de la epidermis.

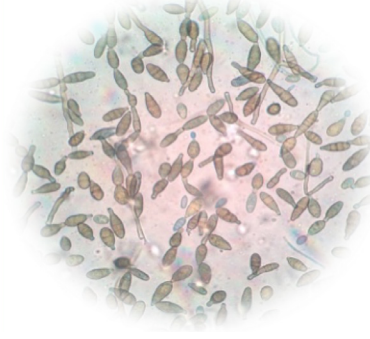
Es importante resaltar que en determinadas zonas foliares, es frecuente encontrar estas tres especies de hongos *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Colletotrichum* sp.

SÍNTOMA EN HOJAS



A. Hoja de durazno con lesiones café y negras

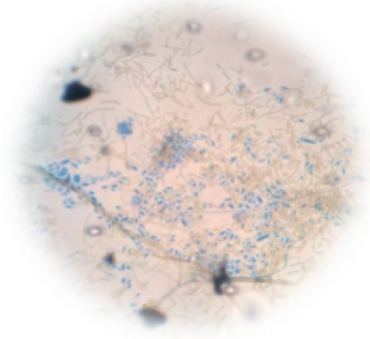
AGENTES PATÓGENOS



B. Conidios de *Alternaria* sp. 40x



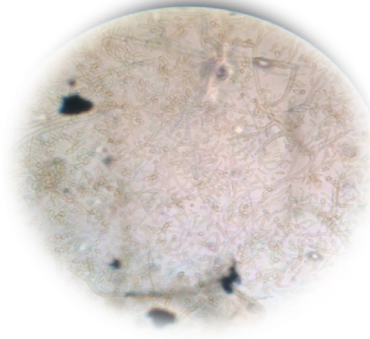
C. Hojas con bordes rojizos



D. Conidios de *Cladosporium* 40x



E. Hojas con puntos rojos y necrosis



F. *Colletotrichum* 40x

Figura 1 A-F. Síntomas y agentes patógenos

Incidencia y severidad

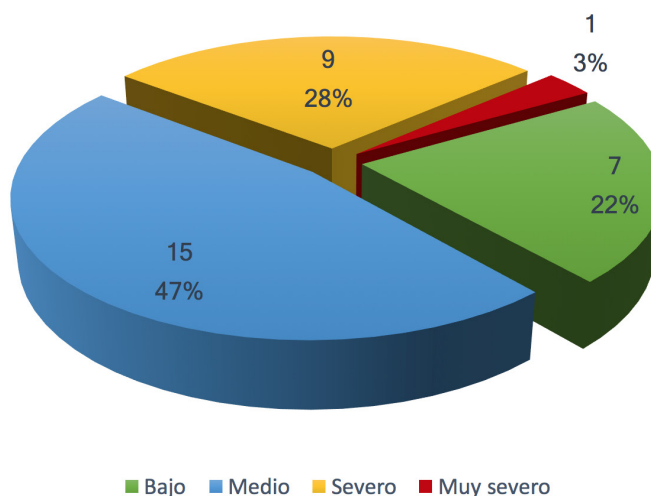


Figura 2. Incidencia y severidad

Hay una diferencia entre los síntomas presentes en hoja y frutos desarrollados por *Alternaria* sp. (A), y *Cladosporium* sp. (C) y *Colletotrichum* sp. (E). El primer hongo muestra manchas de color café o negro y los otros dos agentes fitopatógenos se distinguen con puntos o manchas de color rojizo, y enrollamiento foliar.

CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos se observó que los árboles de durazno cultivados en el CIBAC, presentan los siguientes problemas: Como agentes fitopatógenos se encontraron a *Alternaria* sp., cuyos síntomas corresponden

a manchas de color café oscuro a negro en las hojas y peciolo, *Cladosporium* sp., cuyos indicios en su hospedante son bordes de color rojizo en fruto y hojas, y *Colletotrichum* sp., que se manifiesta en su hospedante mediante la necrosis tisular en hoja. La incidencia fue del 100%, la severidad varía en éstos y el 47% de ellos tienen daño medio.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G.N. (2013). Fitopatología. Limusa. México.
- Barnett, H. (1972). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Burgess Pub. Co. University of Minnesota.



- Coca, M. (2012). Aplicaciones Fitosanitarias para el control de enfermedades foliares en Duraznero (*Prunus persica L.*). Departamento de Fitotecnia y Producción Vegetal. Bolivia. Disponible en: http://www.redesma.org/boletin/bol_quincenal/doc/boletin_aplicaciones_duraz.pdf.
- Crouch, A. (2008). Crouch Evolution of *Colletotrichum* species inhabiting grasses in diverse ecosystems. New Brunswick, New Jersey. ProQuest LLC 789 East Eisenhower Parkway Disponible en: <https://rucore.libraries.rutgers.edu/rutgers-lib/24493/record/>.
- Fernández, R., et al., (2007). Guía para cultivar duraznero en Guanajuato. INIFAP. México. Disponible en: www.intranetfgp.com/SIAC/2007/.../Manual%20Durazno%202007.pdf.
- Gilchrist, et al., (1995). Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. CIMMYT. México.
- Mitidieri, M. (2003). Enfermedades del duraznero. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria.
- Morante, M. (2011) Enfermedades del fruto en Durazno. Boletín técnico. Disponible en: [http://www.cebem.org/cmsfiles/publicaciones/boletin_tecnico\(5-3\).pdf](http://www.cebem.org/cmsfiles/publicaciones/boletin_tecnico(5-3).pdf).
- Orozco, M (2006) Patogenicidad, Variabilidad de *Colletotrichum acutatum* en Simmonds de cítricos en México. Universidad de Co-
lima. México.
- SAGARPA (2010). Información técnica de fruto de durazno fresco mexicano para exportación. México. Disponible en: senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=23492.
- Stover, R. H. 1971. A proposed international scale for estimating intensity of banana leaf spot. Tropical Agriculture 48, 185-196.
- Urbina, M. (2011) Enfermedades causadas por hongos. Universidad Católica del Trópico Seco. Nicaragua. Disponible en: <http://martinurbinac.files.wordpress.com/2011/08/unidadad-iv-enfermedades-causadas-por-hongos.pdf>.
- Urena R. (2001). Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy etiology and epidemiology of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose fruit rot and *Colletotrichum* crown rot in straw berry. University of Florida.



SISTEMA RÚSTICO DE BIODIGESTIÓN, UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN XOCHIMILCO.

¹Chávez-Valadez JA, ¹Ayala-Pérez LA, ²Figueroa-Torres, MG.

¹Laboratorio de Ecología Aplicada. ²Laboratorio de Ficología. Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Calzada del Hueso No.1100. Col. Villa Quietud. México. CP.04960. CDMX. Delegación Coyoacán. Email: distor88@hotmail.com

RESUMEN

Los peces exóticos invasores han resultado ser una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en los ecosistemas de agua dulce. Tal es el caso de las especies de tilapia *Oreochromis niloticus* y *O. mossambicus* que fueron introducidas para cultivo en los canales de Xochimilco y que se han convertido en un factor de presión ecológica, económica y social. A pesar de ser utilizadas para el consumo humano, sus poblaciones han crecido desproporcionadamente lo que ha provocado el desplazamiento de especies nativas provocando cambios ecológicos importantes. Es necesario generar alternativas de uso, adicionales al consumo directo (en caso de que éste sea factible), para contribuir al control de su invasión y obtener otros beneficios. Por lo que el objetivo de este trabajo fue diseñar e implementar un sistema de biodigestión para la generación de biogás y biofertilizante utilizando tilapia como

materia orgánica. El trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) donde se instaló un biodigestor de tipo “bolsa” utilizando materiales económicos y fáciles de adquirir. El sistema se operó por seis meses, después de lo cual se logró la obtención de gas metano y de biofertilizante al cual se le realizaron pruebas para evaluar las concentración de nutrientes (nitrógeno, 1.94%; azufre, 0.20% y relación carbono-nitrógeno, 14.93%) para su posible uso agrícola.

Palabras clave: Tilapia, biogás, biofertilizante, biodigestor, Xochimilco.

ABSTRACT

The exotic invaders as fishes have proved to be one of the main causes of loss of biodiversity in freshwater ecosystems. In Xochimilco channels, some tilapia species like *Oreochromis niloticus* and *O. mossambicus* were introdu-



ced for aquaculture purposes, however actually they have become a factor of ecological, economic and social pressure. Despite being used for human consumption, their populations have grown disproportionately what has led to the displacement of native species causing major ecological changes. It is necessary to generate additional alternatives to direct consumption to contribute to the control of the invasion and get other benefits. So, the objective of this work was to design and implement a system of digestion for the generation of biogas and biofertilizer using tilapia as organic matter. The work was carried out in the Cuernavaca Biological Research and Aquaculture Center (CIBAC) where a “bag” biodigester was built and installed using cheap and easy to acquire materials. The system was operated for six months, after that, the combustion of methane gas was tested, same as the nitrogen concentrations (1.94%), sulfur (0.20%), and carbon-nitrogen ratio (14.93%) of material samples that could be used as biofertilizer.

Key words: Tilapia, biogas, biofertilizer, biodigester, Xochimilco.

INTRODUCCIÓN

La cuenca de Xochimilco alberga al área natural protegida de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco la cual está conformada por una serie de canales y chinampas que en

los últimos años han sufrido un deterioro constante por las diversas presiones antropogénicas, así como la pérdida de especies nativas y endémicas de flora y fauna (Figueroa 2014).

Una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad es la introducción de especies exóticas invasoras, como es el caso de la tilapia africana (*Oreochromis niloticus* y *O. mossambicus*) y la carpa asiática (*Cyprinus carpio*) que fueron introducidas en los años sesenta a la Zona Lacustre de Xochimilco como parte de un esfuerzo mal dirigido para crear pesquerías (Aguirre 2014 y Contreras-MacBeath et al., 2014).

Estos peces, con el tiempo se convirtieron en dominantes en el ecosistema y están relacionados directamente con el desplazamiento y disminución de especies nativas y endémicas de la zona como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) y el acocil (*Cambarellus montezumae*) (UNESCO 2005 y Aguirre 2014). De acuerdo con estudios realizados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT 2002 y Elías-Gutiérrez 2014), en la zona lacustre de Xochimilco se destacan los procesos de presión que las especies invasoras ejercen sobre las especies nativas disminuyendo sus poblaciones, entre ellos están la gran capacidad reproductiva, la competencia por espacio y alimento, la depredación sobre estadios larvarios o juveniles y la destrucción del hábitat (Zambrano et al., 2004).



Es por ello que la introducción de especies exóticas en los ecosistemas acuáticos se encuentra entre los impactos irreversibles y menos controlados que ocurren en los ecosistemas y que afectan negativamente a la biodiversidad al estar implicada en el 54% de los casos de extinción de la fauna acuática nativa mundial (Aguirre y Mendoza 2009), de igual manera impactan sobre la biogeoquímica y usos económicos de los ecosistemas (Strayer 2010) y esto se magnifica por las capacidades adaptativas y de proliferación que las especies exóticas han demostrado al establecerse en ambientes degradados o modificados (Dudgeon et al., 2006).

Esta problemática ha encauzado diversas acciones para el repoblamiento de las especies nativas (Vásquez 2010), sin embargo, es necesario diversificar los proyectos de extracción y aprovechamiento de las especies exóticas, de manera que el repoblamiento de las especies nativas alcance mejores resultados.

Actualmente, el aprovechamiento del potencial energético de la biomasa de distinta procedencia, se explora como una alternativa biotecnológica para la gestión sustentable de residuos orgánicos con beneficios ambientales, sociales y económicos (Nnaji y Ugwu 2010). Entre esta tecnología se encuentran los biodigestores que tienen como principio la descomposición anaerobia de materia orgánica, transformando con alta eficiencia

los desechos orgánicos en biofertilizante y biogás, este último se emplea para producir energía calórica o eléctrica de origen renovable (Ayala-Pérez et al., 2013 y Varnero 2011). La composición del biogás varía de acuerdo con el origen, y está formada principalmente por metano (CH_4): 40-70% vol., dióxido de carbono (CO_2): 30-60% vol., Hidrógeno (H_2): 0-1% vol., Sulfuro de hidrógeno (H_2S): 0-3 % vol. (Bujoczek et al., 2000).

En este sentido la introducción de biodigestores de bajo costo, basados en el uso de láminas de polietileno soldadas en forma tubular, ha puesto esta tecnología al alcance de un mayor número de usuarios (Preston 2005), y resulta interesante mencionar que este sistema posee un proceso de instalación simple, lo que facilita su difusión e implementación en un sinnúmero de lugares, principalmente en las zonas agrícolas donde la biomasa vegetal y animal es más fácil de conseguir, o donde hay presencia de especies acuáticas exóticas que necesitan control (Bautista 2010).

Avances recientes se han centrado en la integración del biodigestor dentro del sistema agrícola, acuícola y pecuario ya que han demostrado que el fertilizante resultante de este proceso produce mejoras importantes en el crecimiento y rendimiento de los cultivos de plantas y peces cultivados en estanques (Preston 2005, Nguyen y Preston 2011).

Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue diseñar e implementar un sistema de biodigestión de tipo rústico para la generación de biogás y biofertilizante mediante el aprovechamiento de la tilapia (*O. niloticus* y *O. mossambicus*), como una propuesta de control al problema de la invasión.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X) ubicado en las coordenadas 19°16'54"N y 99°6'11"W. Las muestras biológicas de peces fueron extraídas de los canales de la zona lacustre de Xochimilco. La captura de los organismos se llevó a cabo con una atarraya de 2.5 metros de diámetro y un peso de 3kg que es usualmente utilizada por los pescadores de la zona.

El montaje e instalación del biodigestor se llevó a cabo del 11 al 14 de mayo de 2015. El biodigestor fue alimentado inicialmente con 100kg de tilapia troceada (Fig. 1) y 60 litros de agua para ayudar al proceso de descomposición (Fig. 4).

Después de un periodo de prueba que comprendió del 14 de mayo al 15 de junio, se decidió adicionar 100kg de estiércol de borrego (Fig. 2) para acelerar el proceso de fermenta-

ción y descomposición del pescado y favorecer la producción de biogás y biofertilizante, considerando lo recomendado por Elizondo (2005).

Con la intención de concentrar la producción del biogás y mitigar la producción de olores desagradables, el contenido del biodigestor de bolsa se trasladó a un tambo de



Figura 1. Tilapia troceada



Figura 2. Mezcla de estiércol con pescado



Figura 3. Llenado de biodigestor

cerrado hermético el cual fue adaptado para tener una salida de gas que se pudiera abrir y cerrar con control, siguiendo el proceso del modelo original. El contenido se dejó en procesamiento hasta el 17 de septiembre cuando se conectó un mechero tipo Fisher a la salida del gas y se verificó la producción de biogás con un flujo constante.

En cuanto al biofertilizante (contenido de tipo lodoso dentro del biodigestor) se tomaron dos muestras (control y réplica) el día 17 de septiembre a las cuales se les realizaron pruebas de laboratorio para determinar el contenido de nitrógeno, azufre, fósforo y sodio, el análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Edafología de la UAM-X. Se realizó una prueba estadística de *t* de Student para comparar la relación C/N de este biofertilizante contra otros, mediante el uso del software Sigma plot 11.0.

Para la implementación de la propuesta del biodigestor se consideraron los costos de los materiales utilizados en la instalación, así como de la mano de obra, para destacar las ventajas y desventajas económicas de la utilización de esta estrategia para el aprovechamiento de la tilapia, así como la rentabilidad en la producción del biogás y biofertilizante, y la cantidad de biomasa requerida para generar dichos productos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados de esta investigación, el biodigestor diseñado para trabajar con pescado troceado de tilapia fue funcional. Se implementó la adición de estiércol de borrero para acelerar el proceso de digestión con buenos resultados.

A partir del inicio del proceso de digestión fue necesario un intervalo de cuatro meses para la producción del biogás de manera constante, la cantidad del biogás producido puede variar de acuerdo a las características de cada digester y de los insumos con que se alimente, ya que el proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada.

En este sentido, el gas producido mediante este mecanismo se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. Esta considerado que el contenido del gas metano

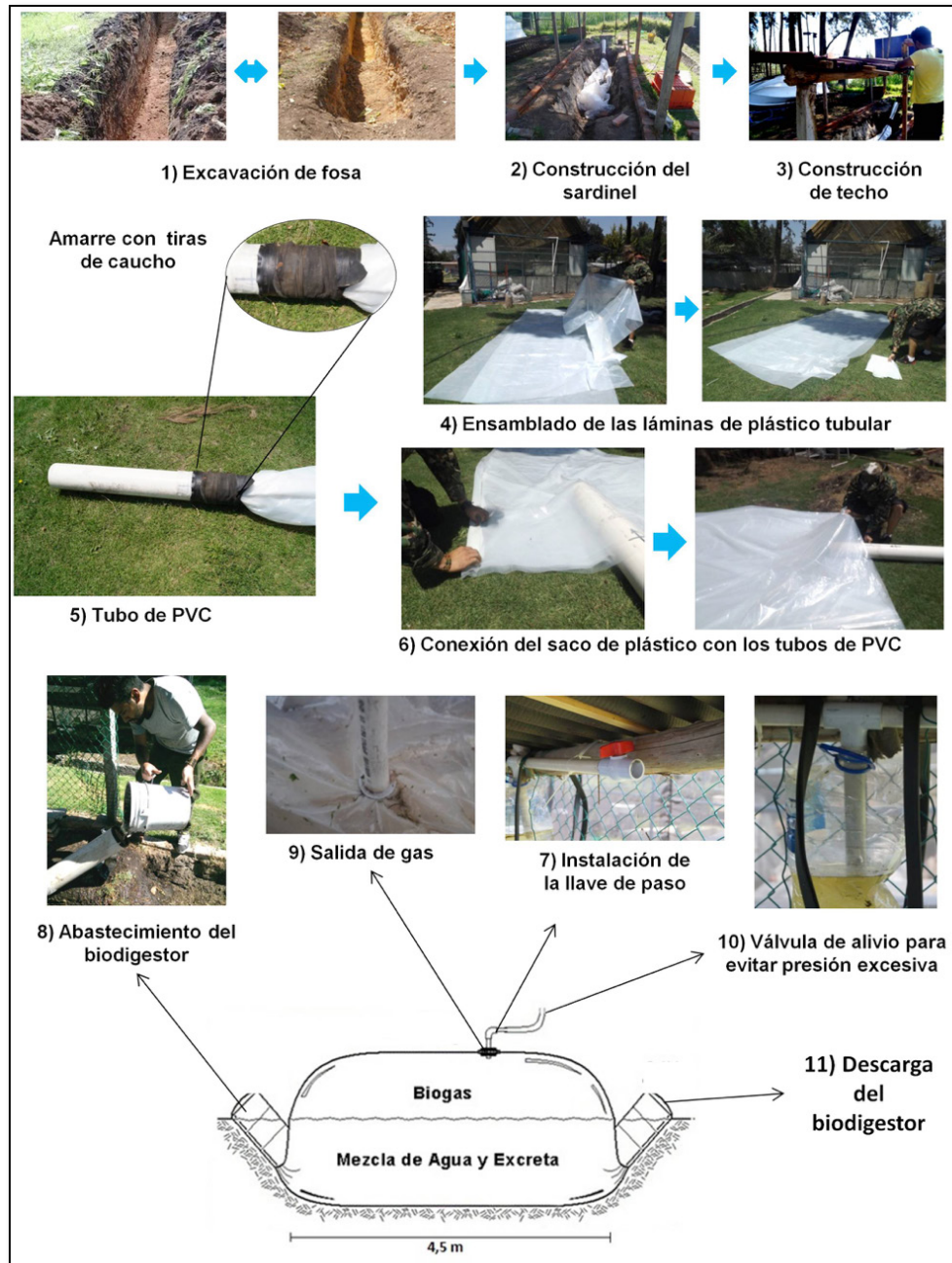


Fig. 4. Esquema de instalación y funcionamiento del biodigestor.

de un biodigestor variará del 65% al 70% en volumen para que funcione adecuadamente, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas volátil del digestor se compone de otros gases (Varnero 1990).

El pH de la biomasa después del proceso de digestión osciló entre los 7 y 7.2, que se considera un intervalo adecuado para el funcionamiento del digestor de acuerdo con lo descrito por Bautista (2010) que reporta valores entre 6.6 y 7.6 para que el reactor opere correctamente, y considera que valores de pH por debajo de 5 y por encima de 8 indican riesgo de inhibición del proceso de fermentación.

Por otro lado, el biofertilizante obtenido a través del sistema de digestión de flujo continuo presentó bajo contenido de sólidos totales (inferior al 12%), presentando una relación promedio de C/N de 14.79 (Tabla 1), es decir valores relativamente más altos, fósforo 24.2 mg*Kg y sodio 6.34 g*Kg que los reportados por Tortosa et al. (2012) cuya relación C/N fue de 14.3, 17.7 de N, Azufre 3.2 y Sodio 3.9g

presente en el abono convencional de borrego, no obstante los resultados son estadísticamente similares ($p > 0.05$).

El proceso de digestión anaerobia del pescado se potenció por la adición del estiércol de borrego permitiendo obtener un producto que serviría como abono para los cultivos. De acuerdo con Noyola y Monroy (1994) los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia (efluente) tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos por la biodegradación aerobia.

La ejecución exitosa de un proyecto depende de la relación costo-beneficio por lo que a continuación se presentan los costos de inversión para la elaboración del biodigestor (Tabla 2).

La implementación de tecnologías que permiten el aprovechamiento del potencial energético de la biomasa de recursos pesqueros permite una gestión sostenible de sus residuos orgánicos desde el punto de vista ambiental, social y económico. En este sentido, la tilapia se transforma de un problema ambiental, a un recurso útil a través de la innovación tecnológica.

Tabla. 1. Porcentajes de Nitrógeno, Carbón y Azufre contenidos en el biofertilizante y relación C/N.

Muestra	Peso (mg)	Nitrógeno %	Carbón %	Azufre %	Relación C/N
1	3.8	1.94	28.43	0.207	14.65
2	3.6	2.41	35.85	0.298	14.93

Tabla 2. Costos de los materiales de instalación del biodigestor.

Materiales	Cantidad	Costo (pesos)
Tubo de PVC	3 metros	108
Bolsa plástica tipo tubular calibre 6 u 8	12 metros	500
Láminas de cartón con impermeabilizante	Las necesarias para cubrir el área	417
Pijas para madera y rondanas.	No especificado	70
Conexiones para PVC 3/4"	No especificado	40
Cinta de caucho	Aprox. 10 metros	50
Lija	1 metro	15
Pegamento PVC 4 oz.	1	55
Lona para forrar zanja.	1	300
Llave de paso CPVC.	1	60
Tabiques para sardinel (contorno de zanja)	30 piezas	120
Tubo de PVC 3/4"	6 metros	140
Costo de mano de obra por instalación	2 personas por 4 días	1600
Costo total del sistema		\$3,475

A pesar de que la tilapia sí tiene un valor económico en el mercado no se puede perder de vista que es una especie que debe aprovecharse al máximo y de la mayor cantidad de formas posibles para mantener controlada sus poblaciones (ICAITI 1985 y Funk 2007).

CONCLUSIONES

La construcción del biodigestor se realizó de forma rústica, utilizando materiales económicos y de fácil adquisición con la intención de transferir la tecnología a las comunidades de

agricultores de la zona y los resultados fueron satisfactorios tanto en la producción de biogás como de biofertilizante.

El pH y la temperatura se mantuvieron dentro de los parámetros óptimos para la biodigestión.

Después de llevar a cabo los análisis correspondientes se compararon los resultados de la calidad del fertilizante con la literatura, pudiendo verificar que los valores eran buenos por lo tanto se puede concluir que se obtuvo un fertilizante parte líquido parte sólido de muy buena calidad y listo para ser utilizado como bioabono en cualquier tipo de cultivo.

Los biodigestores son una alternativa para el control y o erradicación de especies exóticas invasoras misma que trae consigo otros beneficios económicos y ecológicos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los pescadores de los canales de Cuemanco, al Laboratorio de Ecología Aplicada y al Laboratorio de Edafología de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre BF. 2014. Biodigestores en Chinampa funcionamiento con sustrato de pescado y agua de canal. Protocolo de investigación. México. D.F. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco. 12p.
- Aguirre MAR y A Mendoza. 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. 277-318 pp. En: Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México.
- Harrison IJ y MLJ Stiassny. 1999. The quiet crisis: A preliminary listing of the freshwater fishes of the world that are extinct or 'missing in action'. 271-332 pp. En: MacPhee RDE (Ed.). Extinctions in near time: Causes, contexts, and consequences. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York. 387p.
- Ayala-Pérez LA, N Sánchez-Santillán, G Terán-González, O Vasco-Villa, G Martínez-Romero, L Orozco-Barajas, M Morales-McDevitt, S Santos Montesinos, R Muños de Cote-Hernández, B Angulo-Rodríguez, B Herrera-Izquierdo y P Ayala-Niño. 2013. Determinación de la vía de invasión del pez armado en las ANP y sitios prioritarios de conservación en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta y su manejo: Caso región occidental del ANP Laguna de Términos, Campeche". UAM-CONANP PROCER/DGOR/23/2013. Informe final. 60p.
- Bautista BA. 2010. Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Estelí Nicaragua. 67 p.
- Bujoczek G, R Oleszkiewicz, R Sparling y S Cenkowski. 2000. High solid anaerobic digestion of chicken manure. J. Agric. Eng. Res. 76:51-60.
- Contreras-MacBeath T, MT Gaspar-Dillanes, L Huidobro-Campos y H Mejía-Mojica. 2014. Peces invasores en el centro de México 413-423 pp. En: Mendoza R y P Koleff (Coords.). Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 549p.
- DOF-SEMARNAT. 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2001*. Protección ambiental - Especies nativas de



- México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección. 6 de marzo de 2002. México.
- Dudgeon D, AH Arthington, MO Gessner, Z Kawabata, DJ. Knowler, C Lévêque, RJ Naiman, A Prieur-Richard, D Soto, MLJ Stiassny y CA Sullivan. 2006. Freshwater biodiversity. Importance threats status and conservation challenges. *Biological reviews*. 81:163-182p.
- Elías-Gutiérrez M. 2014. Zooplankton de agua dulce: especies exóticas posibles vías de introducción. 309-315 pp. En: Mendoza R y P Koleff (Coords.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 555p.
- Elizondo D. 2005. El Biodigestor. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria-Costa Rica. 6p.
- Funk T. 2007. Anaerobic methane digesters for dairy farms: Are you asking the right. En: RivasLB, AGZúñiga, JISáenz, MSGuerrero, LA Segovia y MHA Morales. *Perspectivas de obtención de energía renovable de la biomasa del estiércol del ganado lechero en la región centro-sur de Chihuahua*. *Revista Mexicana de Agronegocios XVI (30)*: 872-885 Enero-junio 2012. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. Torreón México. 15p.
- ICAITI 1985. *Biogás y bioabono, aplicaciones*. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Guatemala. 55p.
- Nguyen HYN y TR Preston. 2011. The growth and economics of integrated culture of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Common carp (*Ciprinus carpio*) in an indoor intensive system with earthworms as feed and in natural ponds fertilized with biodigester effluent and supplemented with duckweed. *Livestock Research for Rural Development*. 23p.
- Nnaji JC y BI Ugwu. 2010. Use of polyethylene tube biodigester for fish production and processing: A Review. *Research Journal of Chemical Sciences*. 4(11): 76-79.
- Noyola A y O Monroy. 1994. Experiencias y expectativas del tratamiento de residuales porcinos en México. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. 23p.
- Preston TR. 2005. Los biodigestores en los sistemas agrícolas ecológicos. *Finca Ecológica Tosoly AA #487 Santander Colombia*. 5p.
- Strayer DL. 2010. Alien species in fresh waters: Ecological effects interactions with other stressors and prospects for the future. *freshwater biology*. 55(1):152-174.

- Tortosa G, J Alburquerque, G Ait-Baddi y J Cegarra. 2012. The production of commercial organic amendments and fertilizers by composting of two-phase olive mill waste (“alperujo”) *Journal of Cleaner Production*. 26: 48-55p.
- UNESCO 2005. Proyecto para la identificación participativa de un plan de rehabilitación integral del patrimonio cultural de Xochimilco. Xochimilco México. 50p.
- Varnero MT. 2011. Manual de Biogás. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Santiago de Chile. 119p.
- Varnero MT y J Arellano. 1990. Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Informe Técnico. Santiago Chile. 95p.
- Vásquez MA. 2010. El ajolote de Xochimilco. revista de cultura científica facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 98: 54-59p.
- Zambrano GL, VH Reynoso y G Herrera. 2004. Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. AS004. México D. F. 35p.



LA UAM-XOCHIMILCO COMO PROMOTOR DE INTEGRACIÓN SOCIAL EN COMUNIDADES VULNERABLES CON DISCAPACIDAD MENTAL

Arienti-Villegas M.

Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Departamento El Hombre y su Ambiente.
Laboratorio de Ficología. Calzada del Hueso No. 1100. Col. Villa Quietud. CDMX, México,
04960, D.F. Del. Coyoacán. Tel 5483 7220, Email: marienti@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

En México las comunidades con discapacidad mental enfrentan serios problemas de integración social para lograr una vida digna, independiente, sin discriminación y con servicios públicos. Se presenta una propuesta de intervención concreta por parte de los estudiantes y maestros de la UAM-Xochimilco sobre la población estudiantil con discapacidad intelectual de la asociación Centro de Tareas A.C., a través de un convenio de colaboración para mejorar su calidad de vida y su integración social y laboral.

Palabras clave: discapacidad, inclusión social, discriminación

ABSTRACT

In Mexico, communities with mental disabilities face serious problems of social integration to achieve a dignified, independent life, without discrimination and with public services. A proposal for a concrete intervention by the

students and teachers of the UAM-Xochimilco on the student population with intellectual disabilities of the association A.C. Centro de Tareas, through a collaboration agreement to improve their quality of life and their social and labor integration.

Key words: disabilities, social integration, discrimination.

INTRODUCCIÓN

La discapacidad consiste en tener un impedimento auditivo, motor, visual, mental o combinaciones de ellos, que limita una o más actividades de la vida de las personas que lo presentan (Berry y Dalal en Parasuram y Shreyas, 2006). Estas discapacidades afectan no solo los campos específicos de las áreas afectadas sino que también impactan de una manera muy importante en el desarrollo emocional y social de estas personas, impidiendo su participación plena, efectiva, integrada, digna y en igualdad de condiciones dentro de la sociedad, lo que



propicia que sean relegadas, ignoradas, maltratadas o acosadas y reducidas a la vida indigente, formando parte de la población que se encuentra en estado de vulnerabilidad.

La Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH, 2017) establece más de 30 derechos para estas personas, entre los que destacan: la igualdad, la libertad, la seguridad y el acceso a un trabajo digno, además de garantizar las mismas oportunidades en educación, actividades recreativas y servicios médicos, entre otros; sin embargo, estos derechos son violentados de múltiples formas, afectando su estabilidad emocional y su integración social e impidiéndoles hacerse responsables de sí mismas (CNDH, 2017).

En México, la Secretaría de Salud Pública carece de información respecto a la población que presenta alguna discapacidad; sin embargo, en el censo de 2010 el INEGI incluyó una pregunta acerca de la existencia de personas con limitaciones tales como: dificultades para realizar su cuidado personal, comunicarse, hablar, escuchar, ver, poner atención, moverse, caminar o con alguna limitación mental en la familia (INEGI 2010a). Con esta información el INEGI concluye que el 5.1% de la población nacional padece al menos una discapacidad; sin ser un dato preciso representa ya 5 millones 739 mil 270 mexicanos, de todas las edades y tipos de discapacidades (cabe men-

cionar que una persona puede presentar más de una discapacidad). La OMS y la UNICEF estimaron en nuestro país una prevalencia de discapacidad del 2.3-12.4 % en hombres y el 1.5-10 % en mujeres menores de 9 años, sin diferenciar el tipo de discapacidad (Gutiérrez et al., 2012). De acuerdo al censo del INEGI del 2010 las discapacidades más frecuentes son causadas por enfermedad (39.4 %), por edad avanzada (23.1 %), las que se presentan al nacer (16.3 %), y por accidentes (14.9 %), (INEGI, 2010b).(Fig. 1).

DESARROLLO

De entre todas las discapacidades antes señaladas, las menos atendidas son las discapacidades mentales (DI) término que se utiliza en los ámbitos legal y político, o trastornos del desarrollo intelectual (TDI) término que actualmente se utiliza en la clínica. La DI es una condición permanente, no hay elementos químicos o mecánicos que lo atenúen, como ocurre con otras discapacidades, por ejemplo, una persona inválida logra desplazarse con una silla de ruedas; una persona muda puede comunicarse a través del lenguaje de señas y una persona ciega consigue leer mediante el lenguaje en Braille; mientras que los pocos tratamientos farmacológicos o conductuales para DI no mejoran el coeficiente intelectual de quien la padece, solo mejoran ligeramente

Frecuencia de discapacidades en México

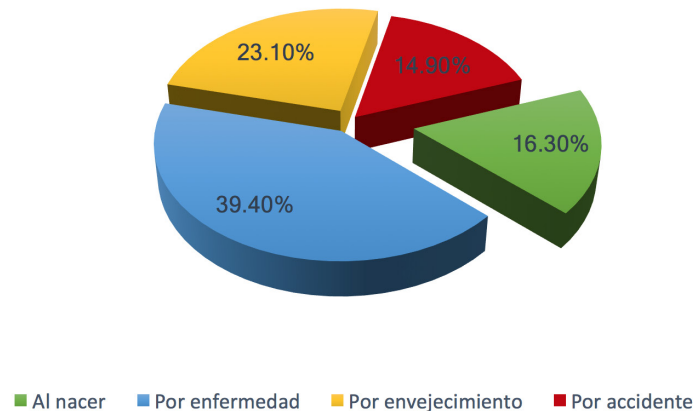


Fig. 1.- Frecuencia de discapacidades en la población mexicana, según su origen (INEGI, 2010).

sus habilidades sociales al facilitar la atención o disminuir la depresión, frustración, ansiedad o agresividad (López-Ibor y Valdéz, 2002). En el 13% de los casos de niños menores de 8 años con DI, los papás buscan ayuda; una tercera parte de ellos, lo hace con el médico general y dos terceras partes buscan la intervención de psicólogos (Medina et al., 2003 y Benjet et al., 2009). El pronóstico para estos niños con TDI es mejor cuando el problema se detecta y diagnostica en la infancia (Glascoe, 2006). Cuando existe personal preparado que se ocupa de los niños con problemas al mismo tiempo que se instruye y atiende a los padres, se logra una mejor integración social y calidad de vida para todos los involucrados.

El trabajo de los médicos y terapeutas permite lograr el desarrollo de habilidades en el discapacitado, realizando el trabajo de inclusión en sus familias, escuelas y comunidades (Gibson et al., 2011). De acuerdo con Sevin et al. (2001), cuando a los niños y jóvenes con DI se les provee con herramientas y entrenamiento puedan controlar y regular sus interacciones disminuyendo los problemas conductuales. No se debe olvidar que las personas con TDI desean participar y ser incluidos en su entorno familiar y social, sin embargo, al no saber hacerlo, sus respuestas resultan inadecuadas, pues no las aprenden por imitación como ocurre con los niños sin este tipo de problemas.



La desnutrición, las complicaciones obstétricas y perinatales, la intoxicación con plomo y las infecciones del sistema nervioso central son los principales factores asociados a la discapacidad intelectual (Salvador-Carulla et al., 2008). Los TDI son un tema olvidado en estudios de índole epidemiológico y de atención de la salud (Márquez-Caraveo et al., 2011).

Lazcano-Ponce et al. (2013) señala la necesidad de establecer redes de colaboración a nivel regional entre los distintos sectores (familiar, de servicios educativos, de salud, trabajo y actividades lúdicas, así como con organizaciones no gubernamentales e instancias oficiales), para lograr la inserción de personas con DI en la sociedad.

La respuesta del gobierno ha consistido en establecer la Ley General para la inclusión de personas con discapacidad (LGID, 2011) pero su aplicación efectiva dista mucho de ser adecuada y suficiente.

Las modificaciones en las escuelas se limitan a las instalaciones (p. ej. rampas) y al mobiliario (p. ej. sillas de ruedas). Las adecuaciones curriculares son complejas y escasas puesto que implican identificar las capacidades del estudiante y establecer programas específicos. Así como existen universidades que preparan profesionistas con discapacidades visuales, auditivas o de locomoción, debería haber instituciones especializadas en capacitar e integrar dignamente a

estas personas a la sociedad productiva, con un sustento científico y a través de grupos de trabajo interdisciplinario (Márquez-Caraveo et al., 2011). Aunado a lo anterior, es necesario educar a la población en general sobre su responsabilidad social hacia ellos.

Un mal diagnóstico, una familia mal informada y la falta de capacitación para tratar a las personas con TDI generan problemas de adaptación, dependencia y abuso, según lo señalado por Shriver (2003) fundadora de los juegos olímpicos especiales. García-Lara y Hernández Ortiz (2011) encontraron que la gente que conoce o ha estado en contacto con personas con discapacidad desarrollan actitudes más positivas, tolerantes, propositivas y empáticas que las que no están familiarizadas con ellas.

Considerando la situación de estos grupos vulnerables, la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco firmó un convenio de colaboración con el Colegio del Centro de Tareas (Arienti-Villegas, 2015) para coadyuvar en el desarrollo de habilidades intelectuales, sociales, afectivas y económicas que favorezcan la independencia de los alumnos de este último. El Colegio del Centro de Tareas atiende a niños y jóvenes de educación básica, media y media superior con trastorno de déficit de atención (TDA), trastorno con déficit de atención e hiperactividad (TDH), dislexia, trastornos del lenguaje, inmadurez social, y discapacidad intelectual.



La participación de académicos y estudiantes de la UAM se enfoca en tres diferentes áreas. La primera aborda actividades de apoyo cognitivo; transmitiendo conocimientos nuevos o reforzando los incluidos en los programas académicos del Colegio del Centro de Tareas mediante actividades flexibles y experimentos que permitan el aprendizaje significativo. La segunda se ocupa de promover el desarrollo de las habilidades sociales mediante la convivencia entre estudiantes de ambas instituciones mejorando la autoestima, la autoaceptación, la socialización y el contacto con la realidad. Esta área permite lograr pautas de comportamiento socialmente aceptadas, mediante actividades lúdicas y culturales tales como escuchar música, pintar, bailar, charlar, compartir la comida y realizar juegos estructurados.

Como tercer área se trabaja con el manejo de dinero, para lograr una vida independiente. Estas intervenciones se caracterizan por ejercicios individualizados entre un alumno de la UAM (mentor o guía), quien trabaja directamente con un alumno del Centro de Tareas por al menos un día completo.

Con este tipo de actividades los alumnos de la UAM también se retroalimentan, ya que adquieren conciencia de sus propias capacidades, reafirman sus conocimientos, y el compromiso con su formación; además de tomar conciencia del privilegio de su condición universitaria, fomentando en ellos un alto compromiso social.

Las jornadas se realizan en las mañanas e incluyen un trabajo específico para reforzar el aprendizaje cognitivo apoyado con equipos y materiales tales como microscopios ópticos para ver y sembrar bacterias; y figuras fósiles para abordar los temas de evolución (Fig. 1).

En la Figura 2 se muestra a los jóvenes de ambas escuelas trabajando con objetivos académicos específicos en una de las jornadas de trabajo realizadas. Estas jornadas también incluyen una sección lúdica, donde se platica, baila, juega y se convive promoviendo la participación de todos los integrantes mediante actividades que apoyen y mejoren sus capacidades psicomotrices, de concentración, y de socialización (Fig. 2).

En ocasiones se lleva a los alumnos del Centro de Tareas a las zonas aledañas de la UAM, como la zona chinampera de Xochimilco, donde se les enseñan técnicas de siembra de flores y hortalizas; y se les explican principios sobre biodiversidad, ejemplificándolos con los diferentes tipos de aves que habitan en la región, lo anterior va acompañado con el estímulo que puede significar subirse a una trajinera y desplazarse en ella a través de los canales de manera similar a la equinoterapia.

CONCLUSIÓN

Se ha observado que la gente que ha convivido con personas con discapacidad adquieren una actitud tolerante, responsable e incluyente.



Figura 2: Interacción entre alumnos del Centro de Tareas y de la UAM-Xochimilco realizando actividades de desarrollo cognitivo de manera personalizada .



Figura 3: Alumnos de la UAM-X y del Centro de Tareas realizando actividades manuales y conviviendo.



Por lo antes mencionado, los programas de inclusión bien preparados y ejecutados a nivel educativo y laboral deben ser cuidadosamente desarrollados para lograr buenos resultados.

No es la discapacidad la que hace difícil la vida de las personas que la presentan, sino los pensamientos y acciones de los demás.

BIBLIOGRAFÍA

- Arienti-Villegas, M. 2015. Convenio entre la UAM-Xochimilco y el colegio Centro de Tareas. 42-06-2015.
- Benjet C, Borges G, Medina-Mora ME y Zambrano J. 2009. Youth mental health in a populous city of the developing world: results from the Mexican Adolescent Mental Health Survey. *Journal of Child Psychol Psychiatry* 50:386-395.
- CNDH visita el 15-04-2017 http://www.cndh.org.mx/Derecho_Personas_Discapacidad
- García-Lara, G.A. y Hernández Ortiz, S. 2011. Actitudes hacia la discapacidad de jóvenes y adultos de Chiapas. *Universitas Psychologica* 10(3):817-827.
- Gibson RW, D'Amico M, Jaffe L y Arbesman, M. 2011. Occupational therapy interventions for recovery in the areas of community integration and normative life roles for adults with serious mental illness: a systematic review. *American Journal of Occupation Therapy* 65:247-256.
- Glascoc FP, 2006. Parents concerns about children's development: prescreening technique or screening test? *Pediatrics* 4: 522-528.
- Gutiérrez JP, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Villalpando-Hernández S, Franco A, Cuevas-Nasu L, Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública; 2012 Disponible en : <http://ensanut.insp.mx/informes/ENSANUT2012Resultados Nacionales.pdf>
- INEGIa, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Síntesis metodológica del Censo de Población y Vivienda 2010. México: 2011.
- INEGIb. Censo de Población y Vivienda 2010, *Cuestionario ampliado*. Estados Unidos Mexicanos/Población con discapacidad/Población total y su distribución porcentual según condición y causa de limitación en la actividad para cada tamaño de localidad y sexo.
- Lazcano-Ponce E, Katz G, Allen-Leigh B, Magaña Valladares L, Rangel-Eudave G, Minoletti A, Wahlberg E, Vázquez A. y Salvador-Carulla L. 2013. Trastornos del desarrollo intelectual en América Latina: un marco para establecer las prioridades políticas de investigación y atención. *Revista Panameña de Salud Pública*, 34(3): 204-209.

- LGID (Ley General para la inclusión de personas con discapacidad). 2011. Diario oficial de la Federación. 30 de mayo: 1-23.
- López-Ibor JJ, y Valdéz MM 2002. Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales. En: Márquez-Caraveo ME, Zanabria-Salcedo M, Pérez-Barrón V, Aguirre-García E, Arciniega-Buenrostro L y Galván-García, C.S. 2011. Epidemiología y manejo integral de la discapacidad intelectual. *Salud Mental*, 34(5): 443-449.
- Márquez-Caraveo ME, Zanabria-Salcedo M, Pérez-Barrón V, Aguirre-García E, Arciniega-Buenrostro L y Galván-García CS 2011. Epidemiología y manejo integral de la discapacidad intelectual. *Salud Mental*, 34(5): 443-449.
- Medina M, Borges G, Lara C y Benjet C. 2003. Prevalencia de trastornos mentales y uso de servicios: Resultados de la encuesta Nacional de Epidemiología Psiquiátrica en México. *Salud Mental* 4:1-15.
- Parasuram K. y Shreyas T. (2006) Variables that affect teachers' attitudes towards disability and inclusive education in Mumbai, India. *Disability & Society*, 21(3):231-242.
- Salvador-Carulla L, Rodríguez-Blázquez C. y Martorell A 2008. Intellectual disability: an approach from the health science perspective. *Salud Pública México* 50 (2):142-150.
- Sevin JA, Stephens BCh y Hamilton ML 2001. Integrating behavioral and pharmacological interventions in treating clients with psychiatric disorders and mental retardations. *Research in Developmental Disabilities* 22:463-485.
- Shriver T. 2003. Estudio multinacional de actitudes hacia las personas con discapacidad intelectual. Resultados Generales y Llamada a la Acción (Informe del Comité de Olimpiadas Especiales). Washington/Boston: Special Olympics/Center for Social Development and Education.