



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

IZTACALA

DINAMICA POBLACIONAL DE CUATRO ESPECIES
SELECCIONADAS DE CLADOCEROS (CLADOCERA:
CRUSTACEA) REALIZADA EN AGUAS RESIDUALES
URBANAS PARCIALMENTE TRATADAS

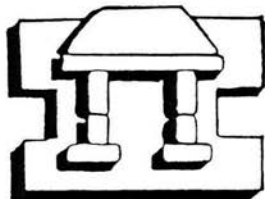
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

DAVID AGUILERA LARA



IZTACALA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. NANDINI SARMA

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



U.N.A.M. CAMPUS

DEDICATORIA

A mis padres Emilio y Ana, que aunque ya no se encuentren en este mundo, estoy seguro que se sentirían orgullosos por el esfuerzo que realicé para terminar este trabajo.

A Ruth y Anaid por impulsarme y apoyarme en la búsqueda de la superación espiritual.

A toda mi familia.

A todos mis maestros, compañeros y amigos que me brindaron sus conocimientos y que compartieron conmigo sus alegrías y sus tristezas.

A todos aquellos que se encuentren confundidos y no sepan que hacer en la vida, los exorto a seguir luchando en base a un esfuerzo personal, para poder lograr los objetivos deseados y no caer en la frustración de no haber intentado comenzar nuevamente.

AGRADECIMIENTOS

Cada día que viva le daré un infinito agradecimiento a Dios por haberme levantado, dándome las fuerzas necesarias para la realización de este proyecto. Gracias Señor.

A la Dra. Nandini por su tiempo, su paciencia, su comprensión y sus conocimientos invertidos para la terminación del presente trabajo.

Al Dr. Sarma por su valioso apoyo académico y acertadas observaciones.

Al Dr. Pedro Ramírez por todo su apoyo recibido a lo largo del tiempo que se necesitó para la realización de éste trabajo y por su amistad de muchos años la cual me dió la confianza que tanto necesitaba.

A la Q.F.B. Esperanza Robles ya que ella fue un factor clave para poder terminar éste estudio.

Al M. en C. Sergio Cházaro por sus indicaciones para el seguimiento de los trámites requeridos para la obtención de la licenciatura.

A todos mis compañeros del laboratorio # 6 de Zoología Acuática (Lucía, Teresa, Víctor, Juan, Jose Luis, Fabiola, Gloria, Ernesto, Mayelí), por su apoyo que recibí en todo tiempo para resolver algunos problemas derivados de éste trabajo.

A todos MUCHAS GRACIAS.

ÍNDICE

IZT.

Resumen	1
Introducción	2
Justificación	12
Objetivos	13
Antecedentes	13
Materiales y Métodos	18
Resultados	21
Discusión	28
Conclusiones	35
Bibliografía	36

RESUMEN

Se estudió la relativa capacidad de cuatro especies de cladóceros *Alona rectangula*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex* para observar su crecimiento en aguas residuales. Se recolectaron muestras de aguas residuales de tres estanques de estabilización de una planta de tratamiento ubicada dentro de la ciudad de México (Aguas tratadas de Iztacalco S. A. de C. V.), dichas muestras se utilizaron como medio para el crecimiento o tasa poblacional de cada especie de cladóceros. La muestra "A" fue obtenida de aguas negras crudas que llegan al tanque sedimentador primario (eliminación de partículas suspendidas). La muestra "B" se obtuvo del tanque de aereación o reactor biológico (adición de oxígeno). La muestra "C" fue tomada del tanque sedimentador secundario (sedimentación de la biomasa clarificación del agua) la cual es el efluente que llega a la red de distribución. Como grupo control se utilizó el alga verde *Chlorella vulgaris*. Para la observación de la tasa poblacional de las cuatro especies de cladóceros, se colocaron 20 individuos (neonatos, juveniles y adultos) de cada especie en recipientes de plástico conteniendo 50 ml de las muestras "A", "B", "C" y *C. vulgaris* (1×10^6 cels.ml⁻¹). Se efectuaron 4 réplicas en cada muestra por especie para un total de 16 vasos por cada especie. El crecimiento poblacional se cuantificó, contando diario los individuos utilizando un microscopio estereoscópico. Se terminó cada experimento hasta que las poblaciones declinaron su crecimiento. Las aguas residuales crudas (estanque A) favoreció solo *Moina macrocopa*. En aguas parcialmente tratadas (estanques B y C) crecieron *A. rectangula*, *C. dubia* y *M. macrocopa*. *D. pulex* no mostró un crecimiento en todos los tipos de aguas residuales. Las tasas de crecimiento 'r' varió entre 0.09 a 0.26 ind. d⁻¹. Los resultados se discuten con respecto al mejor aprovechamiento de aguas residuales.

INTRODUCCIÓN

La cantidad de agua que dispone nuestro planeta esta calculada aproximadamente en unos cien billones de toneladas de agua. Esta cifra supone un volumen hídrico de unas 16000 toneladas *per cápita* aproximadamente. Sin embargo, gran parte de la humanidad sufre de sed y carece de los más elementales servicios higiénicos que el agua reporta, ya que la desertización de la tierra avanza de modo inexorable y amenazador. Hoy en día existe la falta de agua por el mal uso que se hace de ella, originando por ello su escasez. Hay que mencionar que de este inmenso volumen hídrico no más del uno por ciento resulta verdaderamente disponible; el resto es agua salada, glaciares etc. por lo cual no puede utilizarse fácilmente (Margalef, 1983). En torno a este problema se tiene que mencionar el inmoderado aumento de la población humana, la expansión industrial, la transformación de cuerpos superficiales por el vertimiento incontrolado de aguas residuales, la tala inmoderada de los bosques y el abatimiento de nuestros mantos acuíferos, como los principales factores que afectan directamente el suministro del importante líquido. De aquí el énfasis que hoy se hace sobre su menor despilfarro y su mayor aprovechamiento.

Para la conservación de éste recurso, una primera medida debe ser no contaminarla ni por el uso ni por negligencia. En aquellos casos en que el deterioro de su calidad es inevitable, el aprender a depurarla para recuperar su utilidad es un modo de acrecentar la economía general. En Japón, la reutilización del agua ha progresado de tal modo que por cada metro cúbico de agua primaria utilizado en 1990 se obtiene un valor de producción industrial tres veces superior al logrado en 1970 (Laws, 1993). La grave situación económica por la que atraviesan muchos países como México (Martínez-Lagunes y Rodríguez-Tirado, 1998; Tortajada, 1998, Monroy *et al.*, 2000), hace necesario y oportuno explorar nuevos y más eficientes modelos de plantas de tratamiento de aguas residuales de

bajo costo de mantenimiento, debido a que este invaluable recurso como lo es el agua, tendrá que ser transportado de distancias cada vez mayores, y el costo para su distribución será muy elevado. Muchos países del mundo carecen de suficiente agua para sus necesidades de consumo y de riego. En Israel el agua potable es muy escasa, por lo tanto utilizan aguas residuales para riego, comúnmente aceptan aguas primarias tratadas para irrigación tanto de vegetales y frutas como para el consumo humano. Los vegetales los cuecen o hierven y a las frutas les quitan las cáscaras antes de comérselas, en el caso de comer frutas con cáscara suspenden el riego un mes antes de la cosecha (Heukelekian, 1957). Hoy en día Israel recicla dos terceras partes de la contaminación primaria para uso de la agricultura. Israel recicla el 80% de aguas residuales (Shuval *et al.*, 1984). Estados Unidos solamente del 5 al 10% del efluente producido por las plantas de tratamientos de aguas residuales municipales (Hershoff and Truett, 1981). En la India el control de la contaminación del agua esta basado en la directriz emitida por la Asociación Central del Control de la Contaminación (1992) la cual ha clasificado la calidad del agua basado en su uso en cinco categorías.

USO	CLASE	CALIDAD
Agua potable sin tratamiento convencional	A	6.5 a 8.5 (1); 6 o más (2); 2 o menos (3); 50, 5%-200 y 20%-50 (4); n.e. (5-8)
Agua de baño	B	6.5 a 8.5 (1); 5 o más (2); 2 o menos (3); 500, 5%-2000, y 20%-5000 (4); n.e. (5-8)
Agua potable con tratamiento convencional	C	6.5 a 8.5 (1); 4 o más (2); 3 o menos (3); 5000, 5%-20000, y 20%-5000 (4); n.e. (5-8)
Propagación de vida salvaje y pescaderías	D	6.5 a 8.5 (1); 4 o más (2); n.e. (3-4); 1.2 (5); n.e. (6-8)
Irrigación, refrigeración industrial y disposición controlada de desechos	E	60 a 8.5 (1); n.e. (2-5); 2250 (6); 26 (7); 2 (8)

n.e. = no especificada; (1) ph en unidades; (2) oxígeno disuelto en mg/l; (3) demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 5.20°C en mgO₂/l; (4) coliformes totales en #/100 ml; (5) amonía libre en mgN/l; (6) conductividad eléctrica en mho/cm; (7) adsorción del sodio en unidades; (8) boro en mg/l

En las zonas urbanas el consumo de agua se ha orientado fundamentalmente hacia su uso en alimentación, lavado y aplicaciones industriales así como domésticas. El suministro de agua potable en la Ciudad de México es aproximadamente de 71 m³/seg, provenientes principalmente de las aguas subterráneas, de los Valles de México, Lerma y del sistema Cutzamala. Las fuentes abastecimiento son: superficiales 12%, subterráneas 82% y de plantas de tratamiento solamente el 6%. Según datos de la Comisión de Aguas del Valle de México, en 1990 la sobreexplotación del Valle de México alcanzó niveles muy altos, cerca del 100% (Delgado-Vazquez, 1980).

El agua residual en el Distrito Federal, México es una mezcla de aguas de origen doméstico, aguas de origen industrial y de origen agrícola.

- a) De origen doméstico: Contienen los residuos colectivos de la vida diaria en el hogar. Su volumen está en constante aumento, alcanzando cifras de 600 litros por persona, por día (incluye excretas de animales domésticos).
- b) De origen industrial: Constituyen la principal fuente de contaminación de las aguas. La mayoría de las industrias utilizan el agua en cantidades variables en diferentes procesos de fabricación. Los principales sectores son el petróleo, el carbón, las industrias químicas y los derivados de la celulosa.
- c) De origen agrícola: Proviene principalmente de ciertos productos utilizados en la agricultura (plaguicidas) y residuos de origen animal. Su origen múltiple se suma a las combinaciones químicas que se producen.

En general, en el Distrito Federal el consumo del agua es clasificado de la siguiente manera:

- a) Doméstico (69%), b) Comercial y c) Industrial.

Dentro del uso doméstico tenemos la siguiente distribución. Evacuación del inodoro (40%), regadera (30%), lavado de ropa (15%), lavado de utensilios (6%), preparación de alimentos (5%), otras actividades (4%).

En lo que se refiere al uso industrial, el consumo se distribuye así:

Alimenticia (18%), textil (5%), celulosa y papel (24%), productos químicos (4%), minerales no metálicos (8%), hierro y acero (15%), otras (28%).

Las aguas residuales contienen carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y calcio entre otras sustancias. La reacción indica que los productos contenidos en el agua residual son metabolizados para conseguir energía y para la síntesis de nuevos componentes celulares. Una forma de conservar agua es recurrir a reutilizarla por medio de plantas de tratamiento. Al respecto, la Comisión Nacional de Aguas en el Distrito Federal ha practicado el reuso desde 1954 (D.D.F.); actualmente son nueve las plantas de tratamiento de aguas negras en operación: 1) Chapultepec, 2) Ciudad Deportiva, 3) Coyoacán, 4) San Juan de Aragón, 5) Cerro de la Estrella, 6) Bosque de las Lomas, 7) Acueducto de Guadalupe, 8) Tlatelolco, 9) Azcapotzalco (Verduzco, 1989).

Existen diferentes procesos para la degradación biológica de los residuos contaminantes que contiene el agua. Basándose en las condiciones de presencia o ausencia de oxígeno existen procesos denominados aerobio o anaerobio. Los procesos aerobios incluyen lodos activados, lechos bacterianos, lagunas de oxidación, lagunas aereadas y depósitos de oxidación. Dentro de los sistemas aerobios se pueden incluir los de crecimiento controlado de microorganismos, como son los mismos lodos activados, las lagunas de aeración, los digestivos mezclados y los estanques de oxidación. Por otra parte, el grupo de los sistemas anaerobios comprende: lagunas anaerobias, digestores y filtros anaerobios (Seoáñez, 1980).

Existe otro grupo que comprende los sistemas que utilizan la fotosíntesis, fundamentalmente las lagunas de oxidación o las lagunas de estabilización (Seoanez, 1980). Las lagunas de estabilización facultativas están constituidas por embalses artificiales de flujo continuo, con profundidades medias de 0.90 m a 2.40 m, las cuales se amplían muy frecuentemente en el tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales compatibles. Estos sistemas para ello requieren de actividades sencillas de construcción, de operación y de mantenimiento (Delgado-Vazquez, 1980). Estas lagunas pueden construirse en serie, en pasillo o individuales. El largo tiempo de retención en éstos sistemas permite interacciones complejas entre poblaciones de bacterias, protistas y metazoarios en su desarrollo, lográndose significativas eficiencias en la remoción de sólidos suspendidos (S.S.), de materia orgánica medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), de bacterias coliformes y de sólidos sedimentables (Mara *et al.*, 1996, Mazari-Hiriart *et al.*, 2000). Las bacterias, protozoarios y otros organismos forman la biomasa que interactúa biológicamente en los lodos activados de la planta de tratamiento (Laws, 1993). Las bacterias son capaces de degradar enzimáticamente cada tipo de compuestos naturales orgánicos, y de utilizar alguno de estos compuestos como fuente de nutrición. La materia presente en las aguas residuales es aplicada también para mantener las reservas alimentarias de estos organismos, o en su metabolismo.

Debemos tomar en cuenta que los vertidos de aguas residuales no son exclusivamente aguas con materia orgánica simple, sino que muy a menudo contienen gérmenes patógenos y virus que no se eliminan durante el proceso de autodepuración. A esto habrá que añadir los vertidos de origen industrial que pueden contener compuestos metálicos, u otros de naturaleza no totalmente orgánica y que afectan gravemente a la autodepuración (Laws, 1993).

Cuando existe un vertido de aguas negras crudas en un sistema acuático se ven alteradas las comunidades biológicas léase flora y fauna, las cuales presentan una sucesión conforme se va autodepurando el cuerpo de agua. Los nitratos disminuye inicialmente hasta casi desaparecer; seguidamente va aumentando su concentración hasta que se hace máxima la concentración de oxígeno; por último, disminuye ya bastante hasta llegar a límites normales. Según diversos investigadores, tenemos lo siguiente:

Medio	Fauna	Flora
Vertido de agua residual	Desaparece una parte de fauna	Algas verdes y azules
Zona de degradación	Colonias de ciliados	Aumentan bacterias, desaparecen algunas plantas verdes
Zona en la que aumenta el CO ₂ y el O ₂ disuelto va desapareciendo	Aparecen gusanos <i>Tubifex</i> , larvas de dípteros	Colonias de hongos
Zona de descomposición activa de la materia orgánica	Protozoarios, larvas, desaparecen los <i>Tubifex</i> , <i>Culex</i>	Bacterias cada vez más abundantes
Zona séptica, malos olores	<i>Tubifex</i> y <i>Limnodulus</i>	Plantas verdes, diatomeas y dípteros
Zona de recuperación menos S.S.	Crisópodos, flagelados, rotíferos y gusanos	Disminuyen bacterias, plantas verdes, hongos y algas
Zona de recuperación final No hay S.S + O ₂ disuelto	Gusanos y larvas, algunos crustáceos	Algas azules y verdes, diatomeas, monocotiledonias y dicotiledonias
Final de la autodepuración Los lodos se aceleran mineralización	<i>Chironomus</i> Especies ictícolas	Plantas verdes, hongos, plantas superiores
Zona de aguas puras. No aparecen sólidos inorgánicos	Anfibios, rotíferos, crustáceos	Algunas bacterias, toda vegetación de aguas limpias

La degradación biológica de los residuos se efectúa por medio de una serie de reacciones bioquímicas mediante las cuales los microorganismos utilizan la materia presente en el agua, la sintetizan y la aprovechen para proveerse de energía mediante su

síntesis. La materia presente en las aguas residuales es aplicada también para mantener las reservas alimenticias de estos organismos, o en su metabolismo.

Una planta de tratamiento residual ayuda en la reducción de la toxicidad de los desechos crudos de origen industrial y doméstico. Esto consiste de una sección que pulveriza los sólidos que se encuentran en los desechos y de una cámara donde las partículas más grandes se sedimentan. El agua residual fluye hacia un purificador primario donde las partículas sedimentadas tienden a flotar. El material que se queda abajo son los lodos primarios todo este proceso se conoce como tratamiento residual primario. En el tratamiento residual secundario la DBO es removida por medios biológicos naturales. El tratamiento terciario involucra una reducción de la carga de nutrientes. Los niveles de fósforo son reducidos por la adición de óxido de calcio, sulfato de aluminio, sodio, sales férricas o de aluminio mientras que los niveles de nitrógeno pueden ser reducidos por amoníaco a una desnitrificación anaeróbica o una cloración para punto de ruptura. Otros métodos para el tratamiento residual incluyen su mantenimiento en estanques y lagunas donde el proceso natural como es el crecimiento del fitoplancton y el zooplancton ayudan a disminuir la DBO de los desechos crudos. Este proceso también ha sido referido como “sistema acuático solar” (Laws, 1993).

Con frecuencia los cuerpos de agua (lagos, estanques, etcétera) se clasifican dentro de los tipos oligotrófico (alimento poco abundante) y eutrófico (bastante alimento) dependiendo de su productividad. Los fertilizantes inorgánicos en el flujo de aguas negras que llegan a los estanques aumentan las tasas de producción primaria y cambian la comunidad acuática, haciéndolas más selectiva.

Entre los numerosos grupos que constituyen el zooplancton y que se desarrollan en las lagunas de estabilización, se encuentran los cladóceros que forman una gran población.

Los cladóceros, comúnmente llamados pulgas de agua, son crustáceos de tamaño pequeño (0.4-4.0 mm). La alimentación de los cladóceros consta de una gran variedad de pequeñas partículas, que van desde bacterias, algas y ciliados (Gilbert, 1988; Vaqué y Pace, 1992). El componente alimenticio más importante de su dieta está formado de pequeñas algas (Lampert, 1987). En la cadena trófica o alimentaria (transferencia de energía alimenticia a partir de vegetales, a través de una serie de organismos con etapas repetidas de comer y ser comidos) los cladóceros ocupan una posición clave, ya que son herbívoros que se alimentan de algas y bacterias, y a su vez son alimento de otros depredadores principalmente peces (Dodson y Frey, 1991).

IZT.

Su reproducción es principalmente partenogénica, aunque en condiciones de estrés puede ser sexual. La producción del número de huevos y su tiempo de desarrollo es de acuerdo a la especie. Los huevos maduran en el interior de las hembras por generaciones hasta que ciertos factores como cambios de temperatura, disminución del alimento, etcétera; provoca la aparición de machos, produciéndose la fertilización de los huevos que originan los epípsios los cuales pueden dispersarse a ciertas distancias, sobreviviendo a condiciones adversas del medio ambiente y activándose cuando encuentran condiciones ambientales favorables (Margalef, 1983).

Como animales pequeños, los cladóceros tienen un metabolismo relativamente rápido. Su respiración se relaciona con factores como: temperatura, tamaño del organismo y la concentración del alimento, entre otros. El intercambio de gases probablemente se lleve a cabo en toda la superficie del animal y no solamente en los sacos branquiales de los apéndices del tronco o tórax (Peters, 1987). Se ha encontrado hemoglobina en diversos cladóceros en bajas concentraciones de oxígeno. La presencia de este pigmento depende a menudo de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, de modo que existen individuos



U.N.A.M. CAMPUS IZTAPALAPA

coloreados e incoloros ó transparentes de la misma especie. Este fenómeno se observa en *Daphnia*, ya que estos animales son incoloros en aguas bien aireadas u oxigenadas y toman un color rosa en aguas estancadas o no oxigenadas (Engle, 1985). En algunos cladóceros como en *Daphnia* se presenta un fenómeno llamado ciclomorfosis o plasticidad fenotípica, donde la cabeza del organismo cambia progresivamente de la redondeada a la de yelmo o casco, probablemente para evadir a sus depredadores.

Los cladóceros son muy importantes en la transferencia de energía de los niveles tróficos bajos a los altos en los ecosistemas acuáticos (Carpenter et al, 1985). El tamaño y el tipo de alimentación de especies grandes de *Daphnia* los hacen especialmente eficientes como limpiadores de lagos y estanques. La calidad del agua puede ser manejada por una manipulación de la cadena alimentaria o biomanipulación. Esto se refiere a que el nivel de fósforos y la abundancia de algas es influenciada por la abundancia y calidad de herbívoros zooplanctónicos, como *Daphnia*. Especies pequeñas de cladóceros como *Bosmina* y *Ceriodaphnia*, son menos susceptibles a la depredación de peces pero también para filtrar o limpiar algas (Gulati et al, 1990). Estos branquiópodos son utilizados para diferentes estudios como son: comportamiento animal, morfología funcional, evolución, acuicultura y ecotoxicología, entre otros.

Los cladóceros son alimentadores de filtro y los bordes de los apéndices del tronco están provistos de cerdas finas filtrantes, en Daphniidae tienen adaptados los apéndices del tronco, del tercero al cuarto pares para filtrar y las cerdas filtrantes están sobre los apéndices formando un peine bien definido (Barnes, 1977). Como los cladóceros ocupan una posición central en la cadena alimentaria acuática, su alimentación y nutrición son importantes por el impacto que ellos tienen sobre las poblaciones bacterianas y de algas, la transformación del alimento dentro de su cuerpo y su reproducción. El tamaño límite de las

partículas ingeribles está determinado por el tamaño del animal y por la forma de las partículas. Las algas nanoplanctónicas, especialmente flagelados pueden ser el componente mas importante en la dieta natural de *Daphnia*. Las bacterias, detritus y algas verde-azules son de menor importancia. Como *Daphnia* puede ser un filtrador relativamente pasivo, puede despreciar partículas de alimento por gusto o preferencia ya que también puede ser seriamente afectado por altas concentraciones de sedimento suspendido (Edmondson, 1987). *Daphnia* tiene un aparato filtrador especializado que cuenta con finas “redes” (a menudo por debajo de $1\mu\text{m}$) que es capaz de atrapar partículas del tamaño de bacterias, aunque con menor eficiencia que a las algas nanoplanctónicas) (Repka et al. 1999). Comparados con otros crustáceos zooplactónicos, la filtración de los daphnididos no es selectivo por el tamaño del alimento. McMahon y Rigler (1965), establecieron que la eficiencia de la filtración de *Daphnia magna* fue independiente del tamaño de las partículas de 0.9 a $18,000\ \mu\text{m}^3$. *D. cucullata* y *D. longispina* no tienen preferencia por partículas de un rango de 3 a $20\ \mu\text{m}^3$. *D. pulex* selecciona partículas de alimento en un rango de tamaño entre 4 y $32\ \mu\text{m}^3$ (Berman y Richman, 1974). Cultivos de bacterias fueron filtrados con la misma eficiencia como las diatomeas (Lampert, 1974) o *Chlamydomonas* (DeMott 1982). *D. magna* ha mostrado que se alimenta de células de *E. coli* en un rango de 5.6×10^6 células por hora (McMohan y Rigler, 1965). El rango para *D. pulex* en bacterias bajo condiciones de campo es de 0.44 - 0.65 ml por animal por hora (Vaqué y Pace, 1992). Aunque se conoce poco de la biología de alimentación de la familia *Chydoridae*, se ha escrito que ellos se alimentan de detritus, con bacterias quizás formando parte de su dieta (Smirnov, 1974). Factores, tales como altos niveles de amonio y DBO pueden impedir el crecimiento de las poblaciones de cladóceros. Sin embargo en plantas de tratamiento de

aguas residuales con suficiente aireación es posible que las poblaciones de cladóceros puedan incrementarse por la abundante materia orgánica y bacterias presentes.

La mayor parte de los sistemas de aguas residuales tienen altas concentraciones de bacterias algunas patógenas, tales como *Escherichia coli*, *Aerobacter* sp, *Shigella* spp y *Salmonella* spp (Metcalf 1995). Varias observaciones de campo nos muestran que durante el proceso de tratamiento de aguas residuales en lagunas de estabilización, el fitoplancton y el zooplancton se desarrollan naturalmente en densidades de 300/l. Se encuentra documentado que los géneros fitoplanctónicos observados en lagunas de estabilización son: *Actinastrum*, *Ankistrodesmus*, *Closterium*, *Chlorella*, *Euglena*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Phacus*, *Scenedesmus*. En el zooplancton se observan comunmente: *Moina micrura*, *Asplanchna intermedia*, *Brachionus angularis*, *B. budapestinesis*, *B. calyciflorus*, *Filinia longiseta* y *Hexarthra mira* (Nandini 1999). Por lo tanto existe gran probabilidad que éste tipo de zooplancton utilice las bacterias eficientemente como fuente de su energía.

JUSTIFICACIÓN

Los cladóceros están bien reconocidos por su pastoreo sobre bacterias y la materia orgánica. Sin embargo su capacidad para tolerar condiciones de alta DBO y materia orgánica residual varía entre especies. Es muy importante conocer la capacidad del crecimiento poblacional de especies específicas en aguas residuales. Puesto que los cladóceros también son importantes como alimento de larvas de peces, es posible utilizarlos como alimento para peces de ornato, añadiendo beneficios económicos a las plantas de tratamiento residual por el mejoramiento de la calidad del agua al ser reducida la carga bacteriana.

OBJETIVOS

Objetivo General

Establecer si el sistema de tratamiento de aguas residuales con lodos activados resulta apropiado para el crecimiento de las especies de cladóceros: *Ceriodaphnia dubia*, *Alona rectangula*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex* comparando su crecimiento poblacional en este medio con el alga *Chlorella vulgaris* como alimento.

Objetivos Particulares

- Observar el crecimiento poblacional de cada especie en muestras del sistema de tratamiento residual: agua cruda (influyente) del sedimentador primario, sedimentador secundario y agua tratada (efluente).
- Comparar los resultados obtenidos del crecimiento poblacional tanto en las aguas residuales como en el medio con *Chlorella vulgaris*.

ANTECEDENTES

La materia orgánica es un componente básico de las aguas residuales y sirve como medio de cultivo que permite el desarrollo de microorganismos que participan en los ciclos bioquímicos de elementos como el azufre, el carbono, el nitrógeno y el fósforo. El fitoplancton y el zooplancton son importantes en la reducción de los niveles de nutrientes, así como bacterias y DBO de tales sistemas. Las algas tienen una importante función dentro de un sistema de lagunas de autopurificación de aguas residuales, cuando hay una gran abundancia de la biomasa de fitoplancton la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y de sólidos suspendidos, adquieren valores negativos, cuando esto ocurre se presenta una disminución, lo cual desestabiliza la estructura trófica de la laguna (Arauzo *et al.*, 2000). Chlorococcales y Volvococcales son conocidos por ser más eficientes que los

fitoflagelados como *Euglena* y *Chlamydomona* en la estimación de la participación de bacterias en aguas tratadas (Arauzo *et al.*, 2000)

Los cladóceros pueden formar parte del sistema biológico de tratamiento de aguas residuales, actuando como depuradores bacterianos, ya que por ejemplo *Daphnia* puede ser la responsable de la disminución en la biomasa de una variedad de organismos, tales como: algas, protozoarios y bacterias (Callieri *et al.*, 1999). Por otra parte los cladóceros desempeñan un papel muy importante en la dinámica de la cadena alimentaria del ecosistema acuático ya que participan en la transferencia de energía de plantas a herbívoros y de éstos a depredadores (Fretwell, 1987).

Otros autores (Vaqué y Pace, 1992; Jürgens, 1994), han descrito a los cladóceros como los principales consumidores secundarios de bacterias cuando su población llega a una densidad máxima, demostrando con esto su gran eficiencia como limpiadores de la producción bacteriana. Por lo anterior se puede deducir que algunos cladóceros podrían adaptarse a las aguas residuales urbanas con tratamiento o sin él. Los organismos vivos que mantienen la actividad biológica en las aguas de desecho producen fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica, entre los más importantes citaremos los bacteriofitos, virus, metazoarios triblásticos (artrópodos, anélidos, rotíferos y protozoarios), mohos, bacterias parásitas y saprofitas (Seoáñez, 1980).

Para realizar un reciclaje biológico de aguas residuales es necesario contar con una población de organismos filtradores. El incremento de la biomasa se favorece por el crecimiento individual, la reproducción y una supervivencia excelente en un sistema de aguas residuales tratadas. Bajo condiciones experimentales *D. magna* resultó ser un organismo adecuado para el tratamiento biológico en el reciclaje de aguas residuales (Myrand y de la Noüe, 1982).

Hay que mencionar que los cladóceros pueden actuar como eficientes filtradores de bacterias en las aguas residuales crudas que contienen una elevada concentración de patógenos que afectan a la salud pública, ya que las plantas de tratamiento de aguas residuales remueven sólidos suspendidos, DBO; pero no todos los patógenos al igual que el nitrógeno y el fósforo (Laws, 1993).

Los rotíferos y cladóceros son importantes en la descomposición de materia orgánica en los sistemas de tratamiento. Según un estudio realizado por Roche (1995), con aguas residuales de un sistema de lagunas de estabilización de una lechería, se analizaron las poblaciones de fitoplancton y zooplancton, siendo las especies más abundantes *Chlorella* y el rotífero *Brachionus calyciflorus*. Arévalo-Stevenson *et al.*, (1998) también observaron que el mismo rotífero puede crecer en la industria de desechos de tortilla (nejayote) y cuyos intervalos de crecimiento fueron de 0.355-0.457 ind. ml⁻¹ dependiendo de la concentración de alimento y de la presencia o de la ausencia de alga.

En otro trabajo se estudió el crecimiento de cepas individuales de *D. magna* en un medio constituido por aguas residuales de estanques de estabilización de una lechería, bajo condiciones de laboratorio se evaluó la tasa intrínseca de crecimiento (r) llegando a la conclusión que el agua del efluente es un medio potencial para el crecimiento de *D. magna* (Roche, 1998). El también sugirió que la aireación podría mejorar la capacidad de los organismos para utilizar la materia orgánica en tales sistemas además de la demanda bioquímica de oxígeno y los altos índices de nutrientes.

Otra referencia enfocada a la tasa de crecimiento de *D. magna* en lagunas de estabilización fue estimada *in situ* y en laboratorio. La producción de biomasa estimada en el laboratorio fue significativa, pero no tanto como la obtenida *in situ*, por lo cual la tasa de

crecimiento fue mayor por la alta biomasa de bacterias, protozoarios y detritus que se encontraron in situ (Cauchie *et al.*, 2000).

En un estudio en la bahía de Chetumal, Quintana Roo México, se sugirió que el origen de la contaminación del agua se debía a las descargas de aguas residuales. Sin embargo, las condiciones medioambientales favorecieron la dilución y dispersión de la materia orgánica de las descargas y por lo tanto indicaban una autodepuración en ciertas zonas no así en el área más usada por el público para actividades recreacionales y de pesca donde se localizaron altas concentraciones de coliformes fecales, causando un problema de salud pública. (Ortiz-Hernández y Morales, 1999).

Nandini (1999), trabajó en varios estanques o lagunas de estabilización en Nueva Delhi, observando las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y la estructura de la comunidad planctónica, la que, debido a la riqueza de nutrientes, experimentó florecimientos de *Euglena*, *Spirulina*, *Pandorina* y *Oscillatoria*; en lo que respecta al zooplancton se encontraron tres especies de rotíferos, una especie de copépodos y *Moina macrocopa* como representante de los cladóceros.

Shehata y Sabah (1996), resaltan la importancia que tienen las poblaciones de algas en la eliminación de nutrientes en una planta de tratamiento de aguas residuales de Egipto, el estudio se efectuó en diferentes estaciones de muestreo, observando a través de todo el proceso de tratamiento, el aumento de la población de algas y la disminución de nutrientes.

Un importante uso de las aguas residuales tratadas, es su utilización en acuicultura, especialmente en estanques con aguas estuarinas. En varias ciudades de Asia éste tipo de aguas, reducen los problemas asociados con los parásitos de peces dando por resultado altas producciones de éstos en tales sistemas (Jhingran, 1997). Kibra *et al.*, (1999) también reporta que obtuvo zooplancton de buena calidad al cultivarlo en aguas de desecho en las

últimas fases de tratamiento, éstos organismos sirvieron de alimento a la perca plateada, obteniendo un excelente crecimiento. Su trabajo lo desarrollo en lagunas de estabilización en Australia. Las especies que mejor se desarrollaron fueron *Daphnia carinata* y *Moina australiensis*.

En un estudio realizado en Egipto, se redujo la carga de contaminantes de un efluente procedente de una fabrica procesadora de pescado antes de llegar al sistema de alcantarillas. Para reducir la carga contaminante se usaron métodos químicos los cuales separaron sólidos suspendidos que fueron reprocesados como alimento para animales, el efluente final fue utilizado para riego en proyectos forestales (Fahim *et al.*, 2001).

La calidad de las aguas subterráneas de dos zonas de la ciudad de México (sur y oeste), fue estudiada usando bacterias bioindicadoras y patógenos. Se efectuó un monitoreo con base en los métodos estandarizados mexicanos para el agua potable. En otros estudios basados en evidencias microbianas se dice que el 95% de los manantiales no proveen una buena calidad de agua apta para el consumo humano. Cuando los análisis fueron efectuados con los indicadores microbianos, en el sur fue detectado un alto índice de enfermedades diarreicas, los índices mas bajos se detectaron en el oeste. Esto sugiere que habría que aprovechar el potencial de los indicadores de salud medio ambiental (Mazari-Hiriart *et al.*, 2000).

En un experimento se efectuó una biomanipulación en la cadena alimentaria de *Daphnia* en tres lagunas eutróficas, se observó una disminución de *Daphnia* por sucesión bacteriana en la cual primero se incrementaron las bacterias de vida libre y después los nanoflagelados heterotróficos. La disminución de la masa bacteriana fue similar con *Daphnia* y con los nanoflagelados en una laguna y fue significativamente mayor en dos

estanques con *Daphnia* como principal consumidor bacteriano (Langenheder and Jurgens, 2001).

Se comparó el impacto de la predación sobre bacterias planctónicas exhibida por metazoarios y protozoarios (consumidores bacterianos) y la disminución de *Daphnia* fue resultado de una sucesión bacteriana. Algunos rotíferos son catalogados como buenos indicadores de la calidad del agua, al igual que de las condiciones alimenticias. Estos organismos también pueden utilizarse para probar la toxicidad en ciertos experimentos (Sládeček, 1983).

Con respecto a la forma de cómo se alimentan los cladóceros se efectuó un experimento con clones de *Daphnia galeata*. Todos los clones exhibieron plasticidad fenotípica ante altas y bajas concentraciones de alimento, o sea sufrieron adaptaciones morfológicas en su sistema filtrador, según la cantidad y calidad del alimento (Repka et al., 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo experimental se utilizaron cuatro especies de cladóceros, *Ceriodaphnia dubia*, *Alona rectangula*, *Daphnia pulex*, y *Moina macrocopa* aislados de cuerpos de agua locales. Estos cladóceros se obtuvieron de cepas establecidas de un único individuo que fueron conservadas por más de seis meses en un medio de cultivo con *Chlorella vulgaris* como alimento.

Se recolectaron muestras de aguas residuales de tres estanques de estabilización de una planta de tratamiento en el oriente de la ciudad de México, dichas muestras se utilizaron como medio para el crecimiento o tasa poblacional de cada especie de cladóceros. La muestra "A" fue obtenida de aguas negras crudas que llegan al tanque

sedimentador primario (se eliminan partículas suspendidas). La muestra "B" se obtuvo del tanque de aereación o reactor biológico (se adiciona oxígeno). La muestra "C" fue tomada del tanque sedimentador secundario (la biomasa se sedimenta y se clarifica el agua) la cual es el efluente que llega a la red de distribución (Fig. 1)

Como grupo control se utilizó el alga verde *Chlorella vulgaris*, la cual se cultivo en un medio basal de Bold. Se utilizó para diluir la concentración de *C. vulgaris* EPA (Anon, 1985) que es una solución de agua destilada y sales disueltas (NaHCO_3 0.095g/lit, CaSO_4 0.06g/lit, MgSO_4 0.06g/lit, KCl 0.002g/lit).

Para la observación de la tasa poblacional de las cuatro especies de cladóceros, se colocaron 20 individuos (neonatos, juveniles y adultos) de cada especie en recipientes de plástico conteniendo 50 ml de las muestras "A", "B", "C" y *C. vulgaris* (1×10^6 cels. ml^{-1}). Se efectuaron 4 réplicas en cada muestra por especie para un total de 16 vasos por cada especie.

El crecimiento poblacional se cuantificó por la técnica de conteo individual utilizando aun microscopio estereoscópico (cuando la población fue de menos de 400 organismos), a partir del día cero hasta el total de días en que se observó una significativa disminución de la población de cladóceros. Cuando el conteo individual llegó a los 400 organismos se utilizó una pipeta automática con una alicuota de 1ml, contando los individuos multiplicándolos por la cantidad de muestra en el recipiente (50 ml). El conteo de organismos se efectuó diariamente cambiando el medio de cultivo por uno reciente. El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de laboratorio a una temperatura ambiente con luz fluorescente las 24 hrs. se procuró no contaminar la mesa de trabajo con residuos de las muestras. Se finalizó cada experimento hasta que las poblaciones declinaron su crecimiento. Este tiempo varió para cada especie.

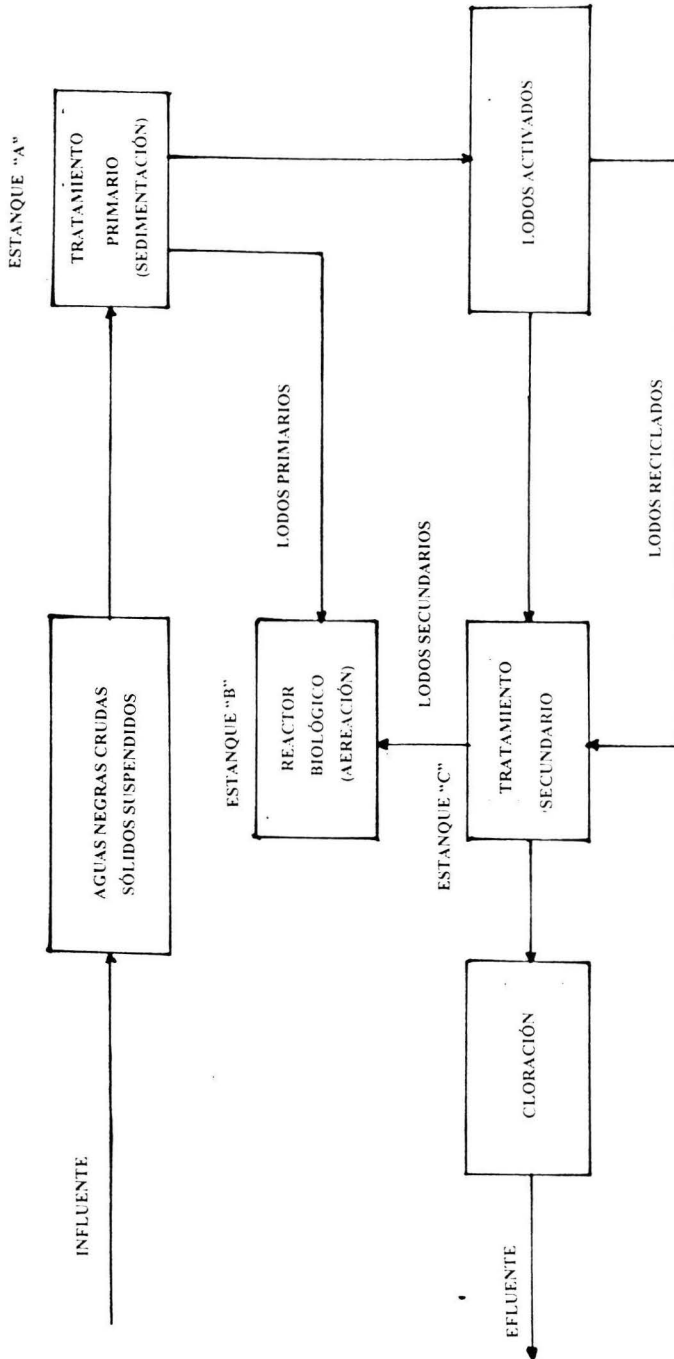


Fig. 1. Diagrama de flujo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, donde se muestran los estanques A (aguas residuales crudas), B (aguas residuales parcialmente tratadas) y C (aguas residuales tratadas antes de la cloración).

Para calcular la tasa de crecimiento poblacional (r), se usó la ecuación exponencial de Krebs (1985): $r = (\ln N_t - \ln N_0)/t$, donde N_0 es la densidad inicial, N_t es la densidad al tiempo t y t es el tiempo en días. Los resultados fueron analizados siguiendo Sokal y Rohlf, (2000).

RESULTADOS

La curva obtenida del crecimiento poblacional de *Alona rectangula* alimentado con el alga *Chlorella*, nos muestra una alta tasa de crecimiento con una densidad máxima poblacional de 54 ind. ml⁻¹ en promedio. El crecimiento poblacional en el estanque A fue corto en comparación con el que se obtuvo ante *Chlorella*. En el estanque B se observó una densidad poblacional muy parecida a la que se obtuvo ante la presencia del alga *Chlorella*. Sin embargo, en el estanque C la población mantuvo una densidad de 7 ind. ml⁻¹ desde el día 6 hasta el día 18 (Fig. 2).

Ceriodaphnia dubia tuvo un crecimiento constante en presencia del alga *Chlorella*, observando que su máximo pico lo alcanzó a los 20 días, alcanzando un promedio de su densidad máxima poblacional de 18 ind. ml⁻¹. En cambio se observa que en el estanque A hubo un decremento de la población, alcanzando su máxima densidad poblacional de 0.4 ind. ml⁻¹ en el primer día del experimento, muriendo los organismos el 7º día. En el estanque B su fase inicial en los primeros 10 días fue positiva, creciendo hasta una densidad máxima promedio de 2 ind. ml⁻¹, para después mantener su población los 10 días subsecuentes decreciendo después del día 20. El agua del estanque B, puede ayudar a la supervivencia de éste cladóceros en comparación con el agua del estanque A. En el estanque C hubo un incremento poblacional en los primeros 5 días, manteniéndose la población

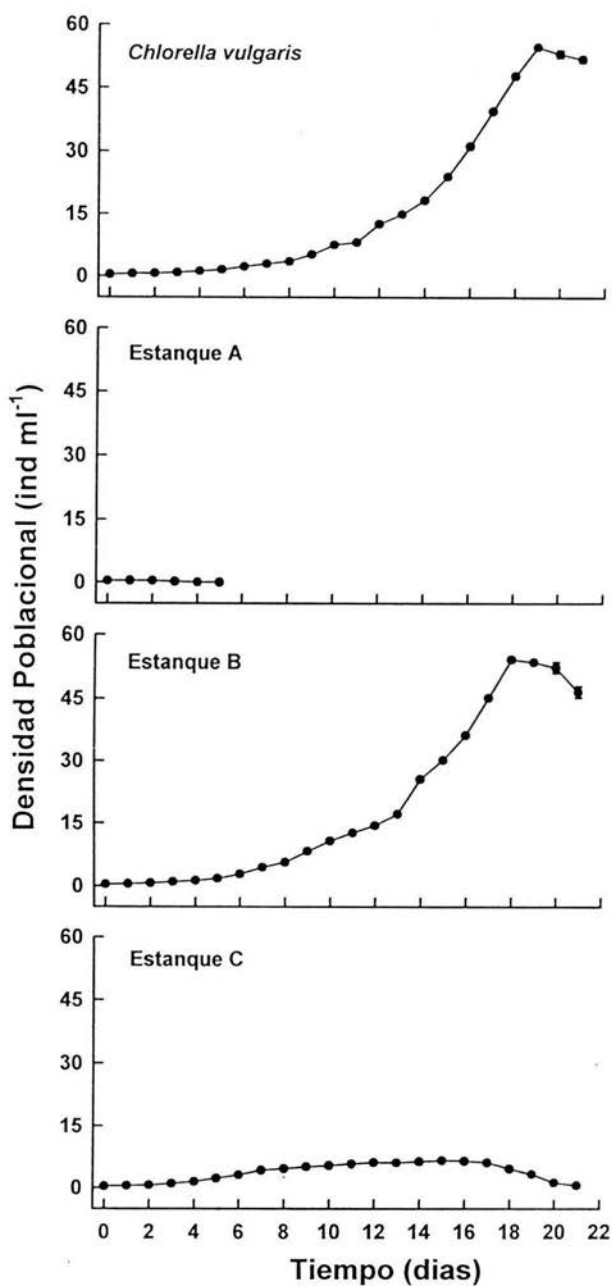


Figura 2. Curvas del crecimiento poblacional de *A. rectangula* en relación al alga *Chlorella vulgaris* (control) y aguas residuales de los estanques de tratamiento A (aguas residuales crudas), B (aguas parcialmente tratadas) y C (aguas residuales tratadas pero no cloradas). Los valores mostrados son promedio \pm error estándar basados en cuatro réplicas registradas.

constante los siguientes 15 días. Del día 10 al día 20 se obtuvo una densidad parecida a la del estanque B (Fig. 3).

Daphnia pulex creció bien con una dieta de *Chlorella* pero no creció en ninguna muestra de agua de los estanques de la planta de tratamiento. En el agua de estanque A, la población no sobrevivió más de 48 hrs. La población duro por unos días mas en el agua de los estanques B y C, pero nunca obtuvo un crecimiento significativo (Fig. 4).

En comparación con los otros cladóceros utilizados en este estudio *Moina* muestra una adaptación muy significativa al agua del estanque A alcanzando hasta 13 ind. ml⁻¹. El crecimiento también se ve favorecido en el estanque B en el cual se observa mayor densidad de la población (8 ind. ml⁻¹) que la obtenida con el alga *Chlorella*. La curva de crecimiento de *Moina* en el estanque C tuvo un buen incremento los primeros 3 días, disminuyendo los días posteriores hasta llegar a cero el día 13 (Fig. 5).

La densidad poblacional máxima alcanzada por las especies estudiadas en muestras de agua de la planta de tratamiento, en resumen, fue similar al del grupo control, como en el caso de *Moina macrocopa* y *Alona rectangular*. Esto no fue una diferencia significativa en la densidad máxima alcanzada por *Alona* en muestras de agua del estanque B ya que fue comparable con la presencia de *Chlorella*. Por otra parte, *Ceriodaphnia dubia* y *Daphnia pulex* tuvieron unas tasas de crecimiento significativamente altas en *Chlorella* y bajas en las aguas residuales (Fig. 6).

El día que se alcanzó la densidad poblacional pico, varió entre el día 4 y el día 20 dependiendo de las especies analizadas. Si los organismos pueden utilizar el agua residual, no hay diferencia en el día que alcanzó su densidad poblacional máxima con el grupo control. Esto se demuestra en el caso del crecimiento de *Alona* con una dieta del alga *Chlorella* o en aguas de los estanques A y B ($P > 0.05$, F-test). Sin embargo, también es

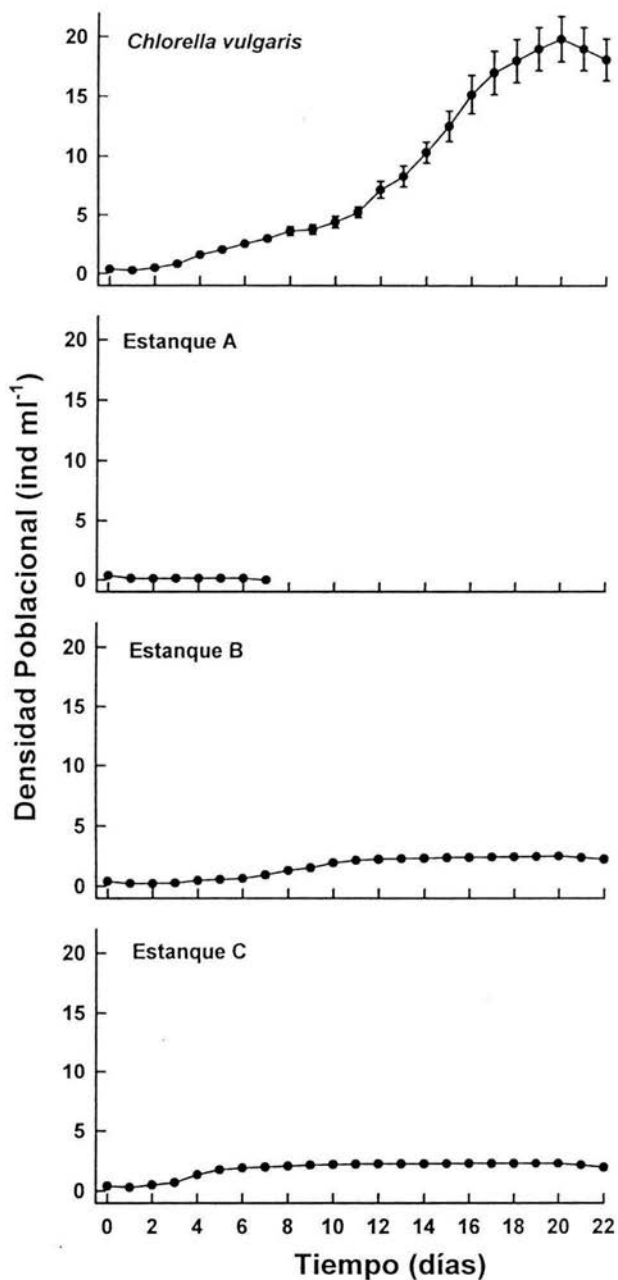


Figura 3. Curvas del crecimiento poblacional *Ceriodaphnia dubia* usando *Chlorella vulgaris* (control) y aguas residuales de los estanques A (agua residual cruda), B (agua residual parcialmente tratada) y C (agua residual tratada pero no clorada). Los valores mostrados son promedio \pm error estándar basados en cuatro réplicas registradas.

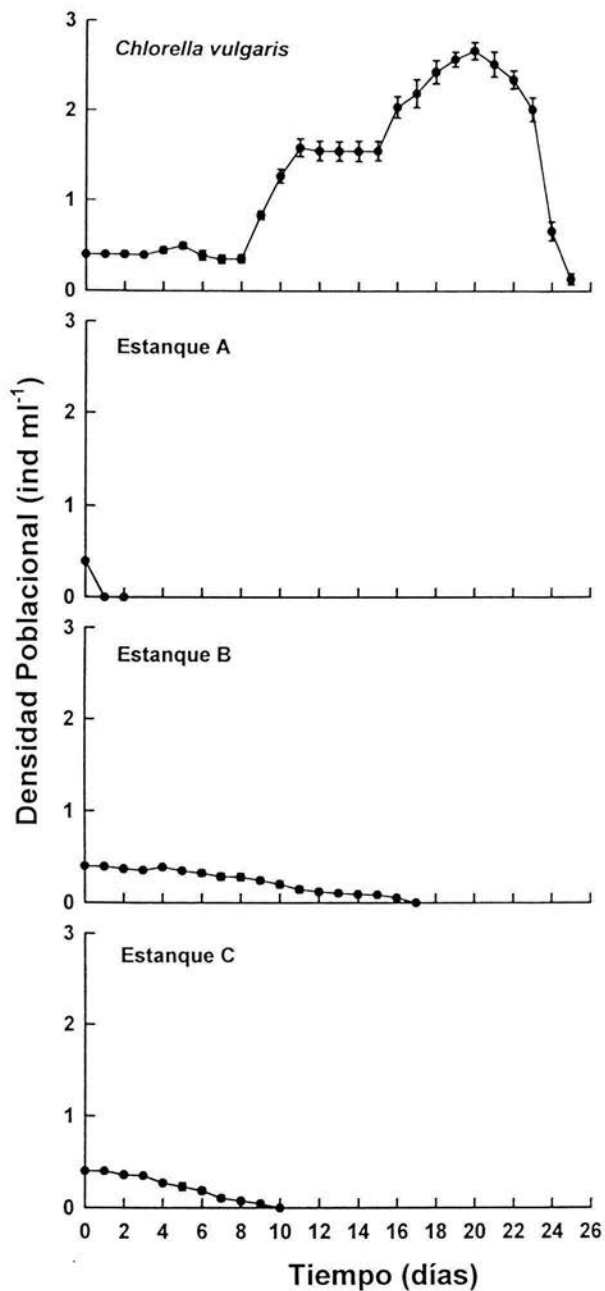


Figura 4. Curvas del crecimiento poblacional de *Daphnia pulex* usando *Chlorella vulgaris* como grupo control y aguas residuales de los estanques de tratamiento A (aguas residuales crudas), B (aguas residuales parcialmente y C (aguas residuales tratadas pero no cloradas). Los valores mostrados son promedio \pm error estándar basados en cuatro réplicas registradas.

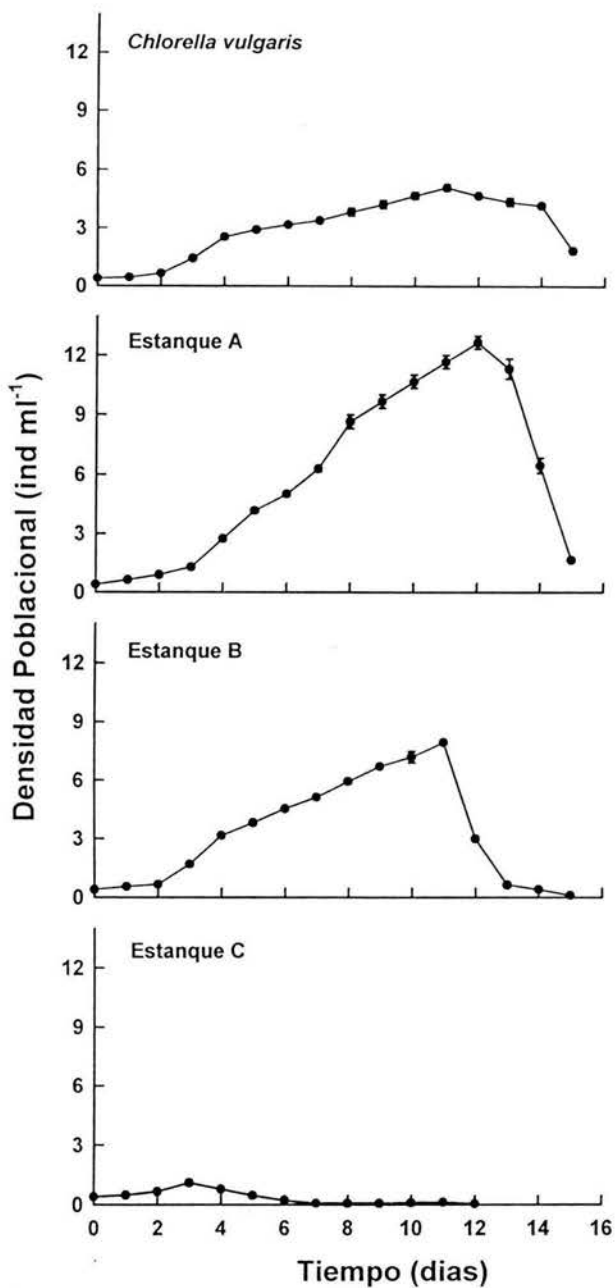


Figura 5. Curvas del crecimiento poblacional de *Moina macrocopa* en relación a *Chlorella vulgaris* (control) y aguas residuales de los estanques de tratamiento A (aguas residuales crudas), B (aguas residuales parcialmente tratadas) y C (aguas residuales tratadas pero no cloradas). Los valores mostrados son promedio \pm error estándar basados en tres réplicas registradas.

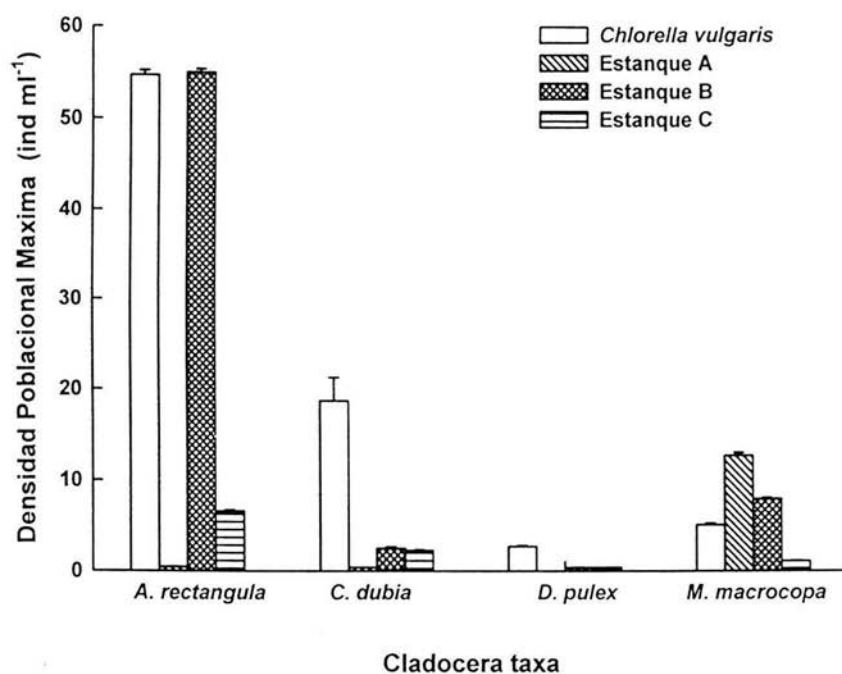


Figura 6. Densidad poblacional máxima de *A. rectangularis*, *C. dubia*, *D. pulex* y *M. macrocopia* utilizando como control *Chlorella vulgaris* y las aguas de residuales de los estanques de tratamiento A (agua residual cruda), B (agua residual parcialmente tratada) y C (agua residual tratada pero no clorada). Se muestra promedio \pm error estándar.

evidente que la densidad poblacional pico fue alcanzada tempranamente en el agua de la planta de tratamiento en comparación con la obtenida bajo una dieta de *Chlorella* $P < 0.05$, F-test (Fig. 7).

Las tasas del crecimiento poblacional de todos los organismos estudiados se muestran en la Fig. 8. En presencia de una dieta de *Chlorella*, todos los cladóceros mostraron tasas de crecimiento positivo en un rango de 0.11 a 0.26 ind. d^{-1} . Los cladóceros de tamaño pequeño *A. rectangula* y *C. dubia* tuvieron una alta tasa de crecimiento en comparación de *D. pulex* y *M. macrocopa*. El agua residual cruda del tanque A no mantuvo el crecimiento de ninguna de las especies seleccionadas a excepción de *Moina*, la cual alcanzó un alto crecimiento semejante al del grupo control. *Alona* y *Ceriodaphnia* fueron capaces de utilizar las muestras de agua de los estanques B y C mostrando una tasa de crecimiento alta de 0.09 a 0.26 ind. d^{-1} ; *Moina* y *Daphnia* obtuvieron poco crecimiento en estas aguas. Un análisis de la varianza muestra que las diferencias entre las tasas de crecimiento poblacional de todas las especies fueron significativamente altas ($P < 0.001$, F-test, Tabla 1).

DISCUSIÓN

Existen varios problemas en las ciudades del mundo con las aguas de desecho o residuales, y éstos resultan en el hecho de que el volumen de esas aguas se ha incrementado más rápido que las diversas instalaciones o plantas de tratamiento (primario, secundario, y terciario o avanzado). La razón de que el tratamiento terciario sea mucho más costoso que el tratamiento secundario es que se requiere mucho equipo especial y energía de combustible para la etapa química de eliminación; en contraste, los microorganismos hacen la mayor parte del trabajo en una planta de tratamiento secundario. La meta de la mayor

IZT.

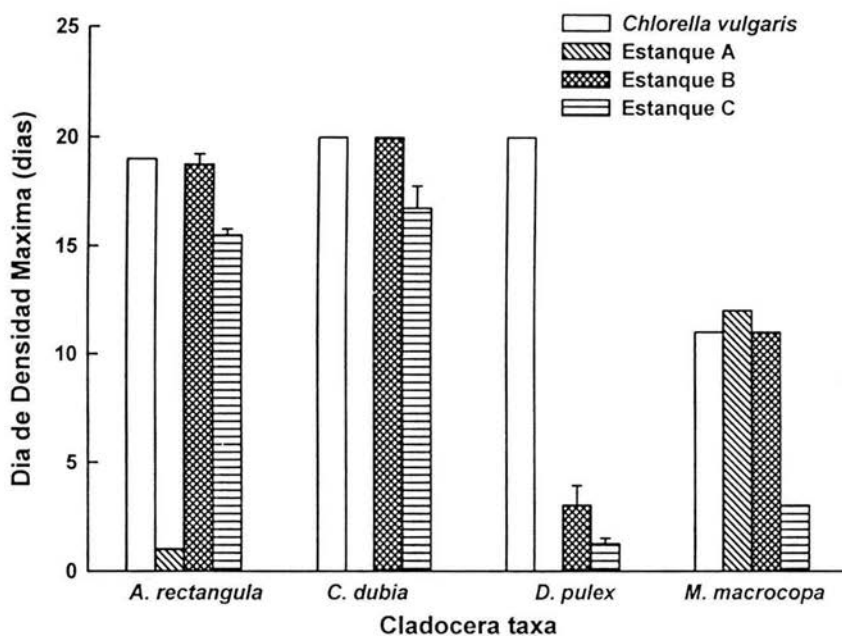


Figura 7. Día de densidad poblacional máxima de *A. rectangula*, *C. dubia*, *D. pulex* y *M. macrocopa* utilizando como control *Chlorella vulgaris* y las aguas residuales de los estanques de tratamiento A (agua residual cruda), B (agua residual parcialmente tratada) y C (agua residual tratada pero no clorada). Se muestra promedio \pm error estándar.

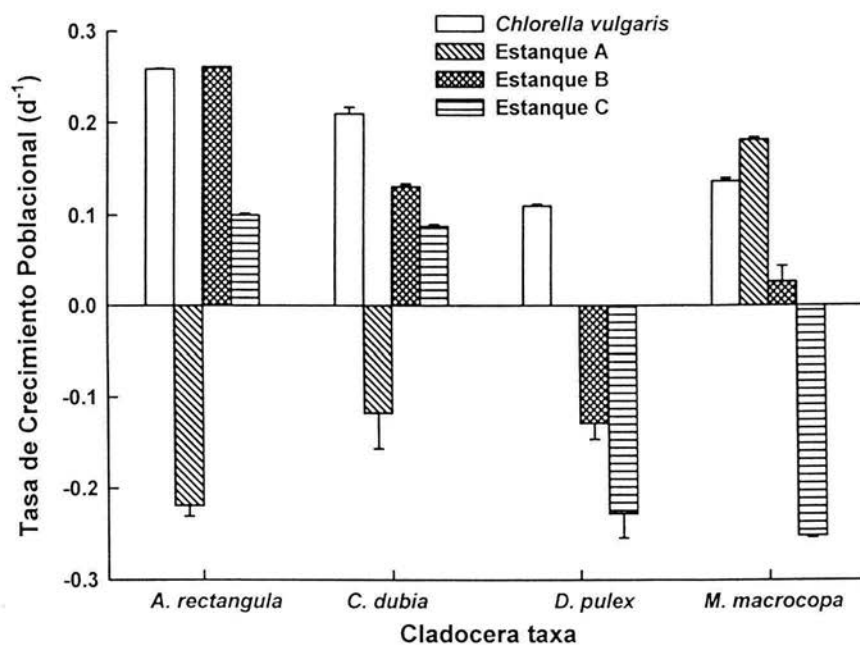


Figura 8. Tasas de crecimiento poblacional de *A. rectangular*, *C. dubia*, *D. pulex* y *M. macrocopa* utilizando *Chlorella vulgaris* como control y las aguas residuales de los estanques de tratamiento A (agua residual cruda), B (agua residual parcialmente tratada) y C (agua residual tratada pero no clorada). Se muestra promedio \pm error estándar.

parte de las ciudades es lograr un 100% de tratamiento secundario a un bajo costo de mantenimiento con la esperanza de que la naturaleza será capaz de efectuar la mayor parte o todo el tratamiento terciario (Laws, 1993).

El reciclaje de desechos en una forma adecuada es el mayor objetivo para una buena administración del medio ambiente (Guterstam *et al.*, 1998; Sevrin-Reyssac, 1998). La descomposición ayuda biológicamente o químicamente pero esto no proporciona una solución para utilizar los nutrientes como un camino alternativo. Cuando las aguas residuales de industrias procesadoras de alimento (agua de nejayote) son utilizadas para el crecimiento de zooplancton de agua dulce, los rotíferos planctónicos muestran tasas de crecimiento poblacional comparables con los obtenidos cuando se utiliza una dieta de algas verdes en éste caso *Chlorella* (Arévalo Stevenson *et al.*, 1998). En este estudio se comprobó que el grupo de cladóceros que son organismos planctónicos puede ser una solución en la autopurificación del agua residual. Es un hecho que, de las cuatro especies de cladóceros no todas respondan de una forma similar al mismo tipo de aguas residuales, es mas probable que tengan relación con adaptaciones de su taxa individual. En general, *Moina macrocopa* es capaz de utilizar partículas de materia orgánica y bacterias disminuyendo su crecimiento cuando una cantidad igual de alga verde es suministrada. Para la producción de *Moina* en acuicultura, algunas sustancias orgánicas tales como salvado de arroz, estiércol de vaca, desechos de cerdos, etc., son empleados frecuentemente (Shim, 1998). En este estudio también *Moina macrocopa* tuvo un crecimiento poblacional muy significativo en el tanque A (aguas negras) en el cual las otras 3 especies restantes no obtuvieron buenos resultados. También en el tanque B su crecimiento se ve favorecido, incluso en los tanques A y B se observa mayor densidad poblacional que ante el alga *Chlorella*. Estos resultados nos demuestran que el cladócero *Moina macrocopa* es capaz de

metabolizar la materia orgánica que componen los desechos domésticos y de la agro-industria y utilizarlos como fuente nutricional (De Pauw *et al.*, 1981), al igual que de bacterias patógenas que comparten este medio.

Algunos estudios se han enfocado predominantemente en *D. magna* y *D. similis* (Balasubramaniam y Kasturi Bai, 1994; Roche, 1998; Cauchie *et al.*, 1995, 2000). Existe poco conocimiento sobre la capacidad de otras especies de *Daphnia* para utilizar los recursos de éste tipo de aguas. Partiendo de este estudio es claro que *Daphnia pulex* no es una especie apropiada para este propósito. En aguas de desecho donde predominan los detritus en la cadena alimenticia, muchas especies de *Daphnia* no son capaces de crecer (Mastrantuono, 1986).

El alimento y los hábitos alimenticios de *Alona* en general y *Alona rectangula* en particular son menos conocidos que la de los Daphnididos. Se demostró que *A. rectangula* tuvo un buen crecimiento en presencia de algas verdes (Muro-Cruz *et al.*, 2001) y en el presente trabajo. Estudios sobre el cultivo de *A. rectangula* usando aguas residuales son escasos sin embargo esta documentado que algunos miembros de Chydoridae son capaces de crecer con partículas de materia orgánica (Smirnov, 1974; Mastrantuono, 1986 y Robertson, 1990). De la misma forma *Alona rectangula* en este estudio muestra un crecimiento poblacional muy elevado en el tanque B y de densidad poblacional muy parecida a la que obtuvo ante la presencia de *Chlorella*. No existen muchos estudios que indiquen que *Alona* se pueda utilizar en aguas residuales pero existen algunos miembros *Chydoridae* que pueden crecer en presencia de materia orgánica (Mastrantuono, 1986; Robertson, 1990).

El ámbito de la densidad poblacional pico y los rangos de crecimiento observados en las cuatro especies de cladóceros están dentro de la valuación esperada. En resumen las

especies pequeñas son capaces de alcanzar un alto número de individuos en comparación con organismos grandes como *Daphnia* (Alva-Martinez *et al.*, 2001). Esto se muestra en la figura 5 donde *A. rectangula* alcanza densidades aproximadamente 10 veces mayor que *D. pulex* bajo condiciones óptimas con dieta de *Chlorella*, ya que en términos de biomasa *Alona* aunque más pequeña que *Daphnia* ésta puede alcanzar una mayor población y por consiguiente mayor biomasa y ser capturados más fácilmente por sus depredadores. Alva-Martinez *et al.*, (2001) dice que *D. pulex* alcanza un máximo de 5 ind. ml⁻¹ en *Chlorella* de 3X10⁶ células ml⁻¹. Los datos de este estudio se pueden comparar a esta evaluación. Entre los cladóceros, el rango de crecimiento poblacional varía de 0.1 a 0.5, dependiendo de la taxa y el alimento empleado (Nandini y Sarma, 2000). *Alona* y *Moina* tienen en general, rangos de crecimiento mayores de 0.2 mientras que algunos miembros de *Daphnia* tienen valores menores en condiciones semejantes. En el presente trabajo el rango del crecimiento positivo fue de 0.1 a 0.25 ind. m⁻¹, después de previas observaciones.

No todas las especies que fueron estudiadas tuvieron un crecimiento o tasa poblacional en los medios con aguas tratadas, relativamente funcional, para ser tomados en cuenta como una medida contra la contaminación del agua. En cambio las otras dos especies que se estudiaron *Ceriodaphnia dubia* y *Daphnia pulex* no obtuvieron el crecimiento adecuado en los tres estanques A, B y C mostrando densidad poblacional solo ante *Chlorella*. Analizando los resultados obtenidos con este experimento bajo condiciones de laboratorio se puede decir que los cladóceros *Moina macrocopa* y *Alona rectangula* reúne las condiciones necesarias para su utilización en la remoción de aguas negras crudas y aguas particularmente tratadas. Entre algunos cladóceros, la tasa de crecimiento poblacional varía de 0.1 a 0.5 ind. d⁻¹ dependiendo de la taxa y la alimentación (Nandini y

Sarma, 2000). *Alona* y *Moina* tuvieron en este trabajo un crecimiento positivo en el agua de los estanques que fue 0.1 a 0.25 ind. ml⁻¹.

El día que se alcanzó la densidad máxima poblacional es un factor importante para considerar la capacidad del zooplancton de crecer con varias dietas (Sarma *et al.*, 1998). En este estudio también asentamos que la comparación de este parámetro produzca una información mas útil. Cuando el día que se alcanzó la densidad poblacional pico fue similar o superior a los controles, las especies crecieron durante un periodo largo de tiempo en esa dieta, como se observa en el caso de *A. rectangular* y *M. macrocopa*. Un día de la máxima densidad a niveles extremadamente bajos es un indicativo de que los organismos no tuvieron un buen crecimiento con la dieta señalada.

Se puede concluir por los resultados obtenidos en este trabajo, que además de *Daphnia* se pueden encontrar especies no tan conocidas como *Alona rectangular* y *Moina macrocopa* que pueden obtener una tasa de crecimiento poblacional en presencia de aguas residuales urbanas muy aceptable ya que se puede comparar con el crecimiento convencional del alga verde *Chlorella* como alimento. Como *Moina* pudo crecer en aguas residuales crudas, se recomienda su uso para cosechar materia orgánica en los tanques de sedimentación de las plantas de tratamiento en México, así mismo también puede ser de gran valor como alimento en acuicultura para larvas de peces de ornato, y en un futuro su participación como control biológico de patógenos que afectan la salud humana. Estudios recientes nos muestran que el crecimiento del zooplancton en aguas residuales domésticas tienen una calidad nutricional comparable con el crecimiento en algas verdes (Kibria *et al.*, 1999).

CONCLUSIONES

- Es necesario explorar nuevos caminos e iniciar investigaciones donde se observa la posibilidad de utilizar organismos planctónicos como una posible solución para la depuración de este importante recurso en aguas residuales tratadas.
- Cladóceros son filtradores y su alimentación consta principalmente de detritus, bacterias, algas y partículas de materia orgánica en general.
- De los cuatro especies de cladóceros probados, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex*, *Alona rectangula* y *Daphnia pulex*, principalmente las dos últimas fueron las que presentaron mayor adaptabilidad y tolerancia hacia aguas residuales.
- Con los resultados obtenidos en este experimento puede ser posible cosechar *Moina macrocopa* para su utilización en acuicultura como alimento de larvas de peces y peces de ornato al mismo tiempo que estos organismos ayuden a la depuración de aguas residuales urbanas como limpiadores biológicos de comunidades bacterianas y de patógenos que pudiesen afectar a la salud humana y la de los demás animales.
- Ante la posible escasez del agua, se debe de tomar en consideración los métodos más recientes y eficientes para lograr su reutilización aparte de los diferentes tipos de procesos documentados en éste estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva-Martinez A.F., Sarma S.S.S. y Nandini S. (2001) Comparative population dynamics of three cladoceran species (Cladocera) in relation to different levels of *Chlorella vulgaris* and *Microcystis aeruginosa*. *Crustaceana*, 74: 749-764.
- Anónimo (1985) Methods of measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. US Environment Protection Agency EPA/600/4-85/013, Washington.
- Arauzo M., Colmenarejo M.F., Martínez E. y García M.G. (2000) The role of algae in a deep wastewater self-regeneration pond. *Water Res.* 34: 3666-3674.
- Arévalo Stevenson, S.S.S. Sarma y Nandini S. (1998) Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera: Brachionidae) in waste water from food-processing industry in Mexico. *Rev. Biol. Trop.*, 43:595-600.
- Balasubramaniam P. R. y Kasturi Bai R. (1994) Utilization of an aerobically digested cattle dung slurry for the culture of zooplankton, *Daphnia similis* Claus (Crustacea: Cladocera). *Asian Fish. Sci.* 7: 67-76.
- Barnés R.D. 1977. *Zoología de los invertebrados*. Ed. Interamericana 6a. edición pp. 505-511.
- Berman, M S., y Richman, S. (1974) The feeding behaviour of *Daphnia pulex* from Lake Winnebago, Wisconsin. *Limnol. Oceanogr.*, 19: 105-109.
- Callieri C., Pugnetti A. y Manca M. (1999) Carbon partitioning in the food web of a high mountain lake: from bacteria to zooplankton. I. *Limnol.*, 58: 144-151.
- Carpenter S. R., Kitchell J. F. y Hodgeson J. R. (1985) Cascading trophic interactions and lake productivity. *Bioscience* 35: 634-639.
- Cauchie H. M., Hoffmann L., Jasper-Versali M. F., Salvia, M. y Thomé J. P. (1995) *Daphnia magna* Straus living in an aerated sewage lagoon as a source of chitin: Ecological aspects. *Belg. J. Zool.* 125: 67-78.
- Cauchie H. M., Hofmann L. y Thomé J. P. (2000) In situ versus laboratory estimations of length-weight regression and growth rate of *Daphnia magna* (Branchiopoda, Anomopoda) from an aerated waste stabilization pond. *Hydrobiologia* 421: 47-59.
- DeMott, W.R. (1982) Feeding selectivities and relative ingestion rates of *Daphnia* and *Bosmina*. *Limnol. Oceanogr.*, 27: 518-527.

- Delgado-Vasquez F. (1980). Lagunas de estabilización facultativa para tratamiento de aguas residuales. Procedimientos del Congreso Control Medio-ambiental en la Ciudad de Mexico. pp. 1-38.
- De Pauw, N., Laureys, P. y Morales, J. (1981) Mass cultivation of *Daphnia magna*. Straus on ricebran. Aquaculture 25:141-152.
- Dodson S.I. y Frey D.G. (1991) Cladocera and other Branchiopoda in Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press, Inc. 20: 723-786.
- Edmondson W.T. (1987) *Daphnia* in Experimental Ecology: notes on historical perspectives In: *Daphnia*. R. H. Peters and R. de Bernardi (eds.) Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 45: 11-30.
- Engle D.L. (1985) The production of haemoglobin by small pond *Daphnia pulex*; intraspecific variation and its relation to habitat. Freshwater Biology 15: 631-638.
- Fahim F.A., Fleita D.H., Ibrahim A.M. y El-Dars F.M.S. (2001) Evaluation of some methods for fish canning wastewater treatment. K. A. Pub. Water, Air and Soil Pollution 127:205-226.
- Fretwell S.J. (1987) Food chain dynamics: the central theory of ecology. Oikos 50: 291-301.
- Gilbert J.J. (1988) Suppression of rotifer population by *Daphnia*: A review of the evidence the mechanisms and the effect on zooplankton community structure. Limnol. Oceanog. 33: 1286-1303.
- Gulati R.D., Lammens E.H.R.R., Meijer M.L. y Van Donk E. (1990) Biomanipulation: A tool for water management. Hydrobiologia 200/201: 628 pp.
- Guterstam B., Forsberg L. E., Buczynska A., Frelek K., Pilkaityte R., Reczek L. y Rucevska I. (1998) Stensund wastewater aquaculture: Studies of key factors for its optimization. Ecol. Eng. 11: 87-100.
- Hershaft A. y Truett J.B. (1981) Long-term effects of slow-rate land application of municipal wastewater. EPA-600/S7-81-152.
- Heukelekian H. (1957) Utilization of sewage for crop irrigation in Israel. J. Water Pollut. Control Fed. 29:868-874.

- Jhingran V.G. (1997) Fish and fisheries of India. Hindustan Publishing Corporation (India). 727 pp.
- Jürgens K. (1994) Impact of *Daphnia* on planktonic microbial food web a review. Mar. Microb. Food Webs 8: 295-324.
- Kibria G., Nugogoda D., Fairclough R., Lam P. y Bradley A. (1999) Utilization of wastewater-grown zooplankton: Nutritional quality of zooplankton and performance of silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell 1830) (Teraponidae) fed on wastewater-grown zooplankton. Aquat. Nutrition 5: 221-227.
- Lampert W. (1987) Feeding and nutrition in *Daphnia*. In: *Daphnia*. R.H. Peters and R.de Bernardi (eds.) Idrobiologia. 45: 143-192.
- Lampert W. (1974) A method for determining food selection by zooplankton. Limnol. Oceanogr., 19: 995-998.
- Langenheder S. y Jürgens K. (2001) Regulation of bacterial biomass and community structure by metazoan and protozoan predation. Limnol. Oceanogr. 121-134 pp.
- Laws E. (1993) Aquatic Pollution. John Wiley and Sons, Inc. (eds.) 2a. Ed. 125-147 pp.
- McMahon J.W. y Rigler F.H (1965) Feeding rate of *Daphnia magna* Straus in different foods labelled with radioactive phosphorus. Limnol. Oceanogr. 10: 105-113.
- Margalef R. (1983) Ecología. Ed. Omega S.A. 6a. Ed. México. 951 pp.
- Mara D.D., Pearson, H.W. y Silva S.A (eds.). 1996. Waste stabilization ponds: Technology and Applications. Water Sci. Technol. 33: 1-262.
- Martinez-Lagunes R. y Rodriguez-Tirado J. (1998) Water policies in Mexico. Water Policy 1, 103-114.
- Mastrantuono L. (1986) Community structure of the zoobenthos associated with submerged macrophytes in the eutrophic Lake Nemi (Central Italy). Boll. Zool. 53: 41-47.
- Mazari-Hiriart M., Cifuentes E., Velazquez E. y Calva J.J. (2000). Microbiological groundwater quality and health indicators in Mexico City. K. A. P. 4: 91-103.
- Metcalfe M.R. (1995) Investing in aquacultural wastewater techniques for improved water quality: A coastal community case study. Coast. Manage. 23: 327-335.

- Monroy O., Fama G., Meraz M., Montoya L. y Macarie H. (2000) Anaerobic digestion for wastewater treatment in Mexico: State of the technology. *Water Res.* 34: 1803-1816.
- Muro-Cruz G., Nandini S. y Sarma S.S.S. (2001) Comparative life table demography and population growth of *Alona rectangula* and *Macrothrix triserialis* (Cladocera: Crustacea) in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) food density. *J. Freshwater Ecol.* 17: 1-11.
- Myrand B. y de la Noüe J. (1982) Croissance individuelle et dynamique de population de *Daphnia magna* en culture dans les eaux usées traitées. *Hydrobiologia* 97: 167-177.
- Nandini S. (1999) Variations in physico-chemical parameters and plankton community structure in a series of sewage stabilization ponds. *Rev. Biol. Trop.* 47:149-156.
- Nandini S. y Sarma S.S.S. (2000) Lifetable demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia* 435: 117-126.
- Ortiz-Hernandez M.C. y Sáenz-Morales R. (1999) Effects of organic material and distribution of fecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *K.A.P. Environment, Monitoring Assessment.* 55: 423-434.
- Peters R.H. (1987) *Daphnia culture* In: *Daphnia*. R.H.Peters and R. de Bernardi (eds.) *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 45: 483-495.
- Repka S. Veen A. y Vijverberg J. (1999) Morphological adaptations in filtering screens of *Daphnia galeata* to food quantity and food quality. *Journal Plankton Res.* 971-989 pp.
- Robertson A.L. (1990) Population dynamics of Chydoridae and Macrothricidae (Cladocera: Crustacea) from the River Thames, U. K. *Freshwater Biol.* 24: 375-389.
- Roche K.F. (1998) Growth potential of *Daphnia magna* Straus in the water of dairy waste stabilization ponds. *Water Res.* 32: 1325-1328.
- Roche, K.F. (1995) Growth of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas in dairy waste stabilization ponds. *Water Res.* 29: 2255-2260.
- Sarma S.S.S., Nandini S. y H.J. Dumont (1998) Feeding preference and population growth of *Asplanchna brightwelli* (Rotifera) offered two non-evasive prey rotifers. *Hydrobiologia* 361:77-87.
- Seoáñez M. (1980) Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid 362 pp.

- Sevrin-Reyssac J. (1998) Biotreatment of swine manure by production of aquatic valuable biomasses. *Agric., Ecosyst. Environ.* 68: 177-186.
- Shehata S.A. y Badr S.A. (1996) Planktonic algal populations as an integral part of wastewater treatment. *Environmental Management and Health* 7: 9-14.
- Shim K.F. (1988) Mass production of *Moina* in Singapore using pig waste. *World Aquacult.* 19: 59-60.
- Shuval H. I., Fattal B. y Wax Y. (1984) Retrospective epidemiological study of disease associated with wastewater utilization. EPA-600/S1-84-006.
- Sládecék V. (1983) Rotifers as indicators of water quality. Department of water technology. *Hydrobiologia* 100: 169-201.
- Smirnov N. N. (1974) Chydoridae. Fauna of the USSR, Crustacea. Jerusalem. 644 pp.
- Sokal R.R. y Rohlf F.J. (2000) Biometry. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 887pp.
- Tortajada C. (1998) Water supply and wastewater management in Mexico: An analysis of the environmental policies. *Int. J. Water Res. Dev.* 14: 327-337.
- Vaqué D. y Pace M.L. (1992) Grazing on bacteria by flagellates and cladocerans in lakes of contrasting food-web structure. *J. Plankton Res.* 14: 307-321.
- Verduzco H.J. (1989) Presentación de los principales problemas de la contaminación del agua, sus causas y posibles soluciones. "Seminario sobre la contaminación ambiental de la ciudad de México". pp. 1-30.

TABLA 1. Análisis de la varianza de las máximas densidades poblacionales y las tasas del crecimiento poblacional de los cladóceros *Alona rectangula*, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex* y *Moina macrocopa* utilizando *Chlorella* y aguas residuales. Los niveles de significancia son mostrados como valores “P”.

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Densidad poblacional máxima					
<i>A. rectangula</i>					
Entre tipos de alimento	3	10610.16	3536.72	8836.77	0.001
Error	12	4.803	0.40		
<i>C. dubia</i>					
Entre tipos de alimento	3	871.677	290.56	43.83	0.001
Error	12	79.552	6.63		
<i>D. pulex</i>					
Entre tipos de alimento	2	14.230	7.11	452.54	0.001
Error	9	0.142	0.02		
<i>M. macrocopa</i>					
Entre tipos de alimento	3	213.867	71.29	658.86	0.001
Error	8	0.866	0.11		
Tasa de crecimiento poblacional					
<i>A. rectangula</i>					
Entre tipos de alimento	3	0.609	0.20	1407.92	0.001
Error	12	0.002	0.00017		
<i>C. dubia</i>					
Entre tipos de alimento	3	0.233	0.08	48.74	0.001
Error	12	0.019	0.00158		
<i>D. pulex</i>					
Entre tipos de alimento	2	0.240	0.12	89.66	0.001
Error	9	0.012	0.00133		
<i>M. macrocopa</i>					
Entre tipos de alimento	3	0.318	0.11	282.18	0.001
Error	8	0.003	0.00037		