



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FES - IZTACALA

---

---

“ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES COMO MEDIO DE CULTIVO PARA LAS  
ESPECIES *MOINA MACROCOPA*, *DAPHNIA PULEX*,  
*CERIODAPHNIA DUBIA* Y *ALONA RECTANGULA* (CLADÓCERA)  
POR MEDIO DE UN ESTUDIO DEMOGRÁFICO DE  
TABLAS DE VIDA”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

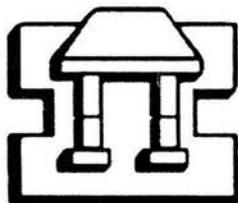
PRESENTA

MARIANA HERNÁNDEZ VALDÉS

DIRECTOR DE TESIS: DRA. NANDINI SARMA

EDO. MÉXICO

ABRIL 2002.





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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

*Agradezco infinitamente a quien me formó en esta área para que yo pudiera llevar acabo este trabajo, mi directora de tesis, Dra. Nandini Sarma cuyos valores además de profesionales y académicos, son humanos pues respetó mi trabajo, mi tiempo y siempre me habló con la verdad. Por todo tu apoyo, gracias.*

**IZT.**

*Al Dr. Sarma le agradezco sus valiosas aportaciones y por darme la oportunidad de realizar mi trabajo en el laboratorio que el dirige porque se que no pude llegar a un mejor lugar.*

*A los miembros de mi jurado, por sus sugerencias, gracias.*

*En un momento tan importante para mí, estuvieron conmigo y me apoyaron grandemente en la terminación de mi tesis; por su desinterés y gran ayuda, les doy las gracias al Dr. Pedro Ramírez, a la Dra. Esperanza Robles, a la maestra Guadalupe Sainz, y por su paciencia y enseñanzas a Ma Elena Martínez.*

*A mi gran amigo Hugo, por tu amistad y apoyo incondicional, gracias.*

*Las palabras no son suficientes para decir todo lo que te agradezco, pero un corazón sí. Gracias Ivan...por todo.*

*A ti, que has sido el pilar mas grande en mi vida, a ti que me enseñaste a amar el estudio, a luchar y vencer...a ti que me has dado todo, gracias mami Guille.*

*A Dios, por darme la vida y la oportunidad de vivirla...gracias.*

## INDICE

Resumen	4
1. Introducción	5
1.1. Aguas residuales	5
1.2. Tratamiento e importancia de las aguas residuales	6
1.3. Cladóceros	13
1.3.1. Características y morfología	13
1.3.2. Alimentación	14
1.3.3. Importancia	15
1.4. Alga	16
2. Objetivos	17
2.1. Objetivos generales	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. Antecedentes	18
4. Material y Métodos	24
4.1. Organismos	24
4.1.1. Cladóceros	24
4.1.2. Alga	24
4.1.3. Medios de cultivo	24
4.1.4. Procedimientos	25
5. Resultados	29
5.1. Supervivencia	29
5.2. Fecundidad	31
5.3. Esperanza de vida	33
5.4. Promedio de vida	35
5.5. Reproducción bruta	37
5.6. Reproducción neta	39
5.7. Tiempo generacional	41
5.8. Tasa intrínseca de crecimiento	43
5.9. Peso-longitud	47

5.10. Sólidos suspendidos comestibles	52
5.11. Parámetros fisicoquímicos	53
6. Discusión	54
7. Conclusiones	59
8. Bibliografía	60
9. Anexos	65
Anexo 1	66
Anexo 2	69
Anexo 3	71
Anexo 4	73
Anexo 5	75

## RESUMEN

Debido al crecimiento de las ciudades y al diverso uso que se le da al agua, se ha generado una gran cantidad de aguas residuales las cuales antes de ser desechadas pueden ser utilizadas para otros fines, como por ejemplo en la acuicultura o para disminuir la carga bacteriana. Las plantas de tratamiento de aguas residuales se encargan de llevar a cabo procesos de purificación de agua de manera simple, y durante este tratamiento pueden ser utilizadas como recurso alimenticio por organismos como los cladóceros, quienes tienen la capacidad para alimentarse de materia orgánica y bacterias entre otros, los cuales suelen encontrarse en grandes cantidades en este tipo de aguas. En el presente estudio se trabajó con aguas residuales de una planta de tratamiento de la ciudad de México en sus tres primeras etapas de tratamiento que fueron el agua cruda, agua del reactor biológico y agua tratada; en ellas se cultivaron las especies de cladóceros *Alona rectangula*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex*, y se llevaron a cabo estudios de tablas de vida de dichas especies. En cuanto a la metodología, se colocaron 20 neonatos en 50ml agua residual en una de las tres etapas de tratamiento y para el grupo control se utilizó *Chlorella vulgaris* a  $1 \times 10^6$  cél. ml<sup>-1</sup> con 4 replicas para cada especie y cuyo medio se cambió cada 24 horas, tiempo en que se realizaban los conteos y se eliminaban neonatos; esto se llevó a cabo para las 4 especies. En cuanto a la tasa de crecimiento intrínseco, los valores para las 4 especies oscilaron entre (-0.068 a 1.55) por día. La reproducción neta, sobrevivencia y tiempo generacional mostraron una tendencia positiva para todas las especies con excepción de la especie *Daphnia pulex* la cual solo sobrevivió en medio con *Chlorella*, y en el caso particular de *Moina macrocopa* se adaptó muy bien en el agua cruda; sin duda la especie *Ceriodaphnia dubia* logró crecer bien en todos los tipos de agua. Por lo tanto se puede decir que este tipo de aguas sí resultó favorable para estas especies lo que nos sugiere que este tipo de aguas residuales sí resultó favorable para estas especies, lo cual nos sugiere que este tipo de aguas residuales pueden ser cosechadas en forma utilizable a través de organismos zooplanctónicos y después posiblemente como elemento vivo en la acuicultura.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. *Aguas residuales*

Toda comunidad produce residuos tanto líquidos como sólidos; la parte líquida (aguas residuales) procede esencialmente del agua suministrada a la comunidad después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida (Metcalf & Eddy, 1985). Las aguas residuales pueden definirse como una combinación de líquidos ó aguas portadoras de residuos domésticos (sanitarios) o industriales (comercios). Las aguas residuales domésticas proceden exclusivamente de residencias, edificios comerciales e instituciones como escuelas y hospitales, mientras que las industriales provienen de fábricas básicamente (Gray, 1989). A este tipo de aguas, eventualmente pueden agregarse aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf & Eddy, 1985). Sin embargo en las grandes ciudades existe una mezcla de aguas residuales tanto de origen doméstico como industrial, incluyendo aguas de desecho de lecherías, lavanderías, panaderías etc. (Gray, 1989).

El componente orgánico de las aguas residuales, es un medio de cultivo que permite el desarrollo de los microorganismos que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como el Carbono, Azufre, Nitrógeno o Fósforo, entrando frecuentemente en competencia y eliminando los elementos microbianos patógenos que se pueden encontrar en el medio (Seoanez, 1995).

El contenido típico en materia orgánica de este tipo de aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas; con un pH que puede variar entre 6.5 y 8.0 ([www.cepis-ops-oms.org](http://www.cepis-ops-oms.org)).

Las aguas residuales contienen frecuentemente numerosos microorganismos que forman la parte viva natural de la materia orgánica (Anónimo, 1990) sin embargo las aguas residuales urbanas también pueden presentar algunos tipos de contaminantes muy variados e incluso además pueden incluir compuestos tóxicos (Seoanez, 1995), por lo tanto las altas concentraciones de sólidos suspendidos y nutrientes así como demanda de oxígeno de los residuos crudos, tienen un gran

potencial para causar problemas de eutrofización (Laws, 1993). Sin embargo en algunas industrias de países europeos, tratan parcialmente sus desechos con el fin de reducir la carga de contaminación antes de la descarga al desagüe público (Gray, 1989).

Aún así este tipo de aguas permite también obtener beneficios como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos, (Metcalf & Eddy, 1985), y ya que debido a las altas concentraciones de nutrientes que se encuentran en este tipo de aguas, se estimula el crecimiento de plantas (Laws, 1993).

Los principales grupos de organismos que se encuentra en este tipo de aguas pueden ser las bacterias como por ejemplo *Escherichia coli*, *Aerobacter*, *Shigella*, y *Salmonella* principalmente; también pueden estar presentes hongos, algas y protozoarios como *Entamoeba histolytica*, algunos flagelados y ciliados libres y fijos; entre los virus puede encontrarse el virus de la hepatitis y nemátodos como *Ascaris* y *Enterobius* principalmente (Seoanez, 1995); además de estar presentes otro tipo de organismos como algunos cladóceros *Daphnidos* y *Chydoridos* y rotíferos entre otros (Dodson & Frey, 1991).

### **1.2. Tratamiento e importancia de las aguas residuales.**

El tratamiento de las aguas residuales es el conjunto de recursos por medio de los cuales es posible verificar las diferentes etapas que tienen lugar en la autopurificación de una corriente, dentro de un área limitada y apartada bajo condiciones controladas (Anónimo, 1990).

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas son conocidos como operaciones unitarias y en las grandes ciudades generalmente se encuentran las llamadas Plantas de tratamiento de aguas residuales en las cuales se llevan a cabo estos procesos. Aquellos en que la eliminación de los contaminantes se consiguen mediante reacciones químicas o biológicas son los llamados procesos unitarios, los cuales en la actualidad se agrupan para construir lo

que se conoce como tratamiento primario, secundario y terciario ó avanzado(Metcalf & Eddy, 1985).

En muchas localidades se han proyectado y edificado plantas de tratamiento de forma que parte del efluente tratado pueda evacuarse mediante su aplicación a la tierra, o en conjunción con una gran variedad de reutilización, al respecto, en la actualidad ya hay un buen número de informes sobre la utilización de aguas residuales y muchos mas están siendo objeto de estudio, y ya que en muchas localidades donde el abastecimiento de agua disponible se ha vuelto insuficiente para satisfacer las necesidades existentes, es evidente que mas que encontrar la forma de evacuar el agua, es necesario buscar la forma de reutilizarla, y mientras mas beneficios se puedan obtener en estos procesos, mejor aprovechado será el recurso (Metcalf & Eddy, 1985).

Los procesos básicos utilizados en las plantas de tratamiento de aguas son los siguientes (Anónimo, 1990):

Tratamiento preliminar.-

En la mayoría de las plantas de tratamiento, este sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento, en este tratamiento el objetivo principal es eliminar o separar los sólidos de mayor tamaño ó flotantes, así como los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas. Para que se cumplan los objetivos planteados, es necesario que una planta cuente para esta etapa con rejillas de barras, desmenuzadores, ya sean molinos, cortadores o trituradores; desarenadores y tanques de preaeración.

Tratamiento primario.-

Aquí se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, es decir del 40 al 60% mediante el proceso físico o de asentamiento en tanques de sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así como los

sedimentables, es decir de un 80 a 90% de los sólidos suspendidos, durante este proceso, la actividad biológica en las aguas, tiene poca importancia. El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir la velocidad de las aguas para que puedan sedimentarse los sólidos, llamándoseles tanques de sedimentación o clarificadores primarios. El clarificador primario no es mas que un tanque en el cual se encuentran flotando los sólidos que son removidos de la corriente de agua de desecho. Los materiales sólidos que se encuentran flotando en la superficie durante el tiempo que permanece la corriente de agua de desecho en el tanque, son removidos a través de movimientos espumosos que empujan los objetos flotantes.

#### Tratamiento secundario.-

Este proceso depende principalmente de los organismos aerobios para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos ó en sólidos orgánicos estables. En este proceso se pueden utilizar varios tipos de dispositivos, como pueden ser: Filtros goteadores con tanques de sedimentación secundaria; tanques de aireación que pueden ser lodos activados con tanques de sedimentación simple ó aireación por contacto; filtros de arena intermitentes y finalmente estanques de estabilización.

Lodo es el residuo del tratamiento de las aguas, que se deposita en el fondo de un decantador, caracterizándose por su alto contenido en agua, siendo variable su contenido en microorganismos según sea su procedencia urbana o industrial.

Los lodos de las aguas residuales están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, junto con el agua que se separa con ellos. Mientras que en algunos casos es satisfactoria la disposición de ellos sin someterlos a tratamiento, generalmente es necesario tratarlos en alguna forma a modo de prepararlos ó acondicionarlos para disponer de ellos sin originar condiciones inconvenientes. Este tratamiento tiene dos objetivos, primero eliminar parcial ó totalmente el agua que contienen los lodos, para disminuir su volumen en gran proporción, y en segundo lugar, para que se descompongan todos los sólidos

orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales ó sólidos orgánicos relativamente estables.

Se trata de un procedimiento biológico que mediante la mezcla de las cepas bacterianas con las aguas residuales, por medio de la aireación, se consigue la separación del agua de los fangos biológicos, siendo éstos recirculados, en parte para el mantenimiento del proceso. Los lodos activos tienen una gran flora bacteriana y otros microorganismos capaces de mineralizar la materia orgánica. Comúnmente los contenedores, depósitos ó tanques en los que se llevan a cabo las reacciones químicas y biológicas son llamados reactores, los cuales pueden ser de varios tipos como por ejemplo: reactor de flujo discontinuo; reactor de flujo pistón o tubular; reactor de mezcla completa; reactor de flujo arbitrario o aleatorio; reactor de lecho fijo y por último, reactor de lecho fluidificado. En los cuatro primeros tipos de reactor, las reacciones son de tipo homogéneo y en los dos últimos, de tipo heterogéneo. Los reactores de flujo pistón, de mezcla completa y de flujo arbitrario son los tipos más frecuentes utilizadas en el campo del tratamiento de aguas residuales.

En el reactor de flujo pistón, las partículas de fluido pasan a través del tanque y salen con la misma secuencia con la que entran. Las partículas conservan su identidad y permanecen en el tanque por un tiempo igual al tiempo teórico de detención (Metcalf & Eddy, 1985) .

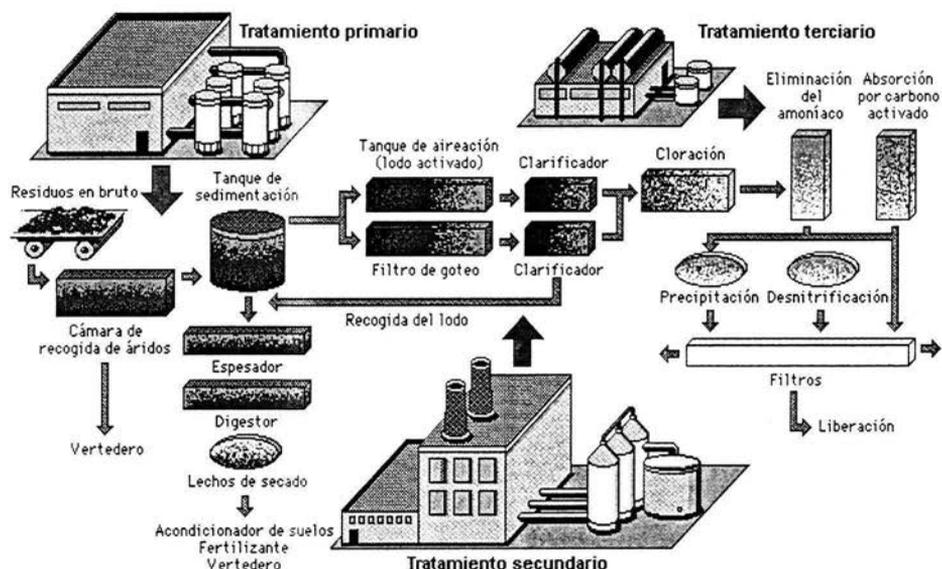
#### Cloración:

Este es un método de tratamiento que puede emplearse para diversos propósitos en todas las etapas de un tratamiento de aguas residuales y aún antes del tratamiento preliminar. Se basa principalmente en la aplicación de cloro, y los diferentes propósitos de esta aplicación pueden ser: Desinfección o destrucción de organismos patógenos; prevención de la descomposición de las aguas para controlar el olor, protección de las estructuras de la planta; como auxiliar en la operación de la planta para la sedimentación, en los filtros goteadores y el

abultamiento de los lodos activados; finalmente para el ajuste ó abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

Tratamiento terciario:

En esta etapa se utilizan combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias para eliminar otros componentes tales como el nitrógeno y el fósforo, que no son eliminados por el tratamiento secundario (Metcalf & Eddy, 1985). Un ejemplo de la estructura de una planta de tratamiento, se muestra en la siguiente figura ([www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org)).



Actualmente se ha generado un amplio reuso de aguas residuales crudas para diferentes fines entre ellos para el riego de cultivos agrícolas y la acuicultura, y son

procesos ya que estas plantas son estructuras simples para limpiar aguas residuales con el objeto de mejorar sus características sanitarias y se consideran elementos clave en los sistemas de abastecimiento de aguas y en los de evacuación de aguas residuales, además de que los sistemas se unen para ejercer profundos efectos sobre la administración de los recursos hidráulicos regionales y finalmente nacionales (Maskew *et al.*, 1993). Y como este tipo de aguas de desecho involucra un gran crecimiento de bacterias y algas, las cuales son frecuentemente convenientes como alimento para muchos organismos (Roche, 1998) es por eso que se facilita realizar diferentes estudios con este tipo de aguas.

Un beneficio del hecho de tratar las aguas residuales, es que mediante los procesos individuales ó combinados de tipo físico, químico, biológico u otros que ya se han mencionado, es que se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público ([www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)). Aunque desde el punto de vista microbiológico, las aguas residuales no son de buena calidad, el tratamiento las ha clarificado y las ha hecho susceptibles de ser desinfectada con cloro, por lo tanto se puede decir que un tratamiento adecuado puede lograr una protección ecológica y además acondiciona el agua para la desinfección ([www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org)).

Son pocas investigaciones relevantes sobre los diferentes usos que se le puede dar a las aguas residuales, y actualmente ya se ha reconocido la importancia de desarrollar este campo que ha sido descuidado (Cross & Strauss, 1985 ).

Más aún, la Organización Mundial de la Salud ha sugerido a los organismos internacionales encargados de la promoción y evaluación del uso de aguas residuales y excretas en la agricultura y acuicultura, que desarrollen programas con la finalidad de impulsar la difusión de información científica y técnica acerca de las diversas alternativas de reuso de desechos y promover activamente las opciones de reuso en proyectos de desarrollo futuros, además de la posibilidad de establecerse mecanismos de coordinación para evaluar y revisar los progresos que se alcancen en la utilización de las aguas residuales y excretas, puesto que los proyectos en este campo probablemente tendrán una rápida expansión en el futuro.

Para el presente trabajo, el agua residual utilizada en sus diferentes etapas, se obtuvo de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la delegación Iztacalco DF. S.A. de CV. Las aguas residuales son de origen industrial y doméstico y la planta las recoge del colector Churubusco, tratando 200lt de agua por segundo (Información verbal).

La planta cuenta con 4 bombas de las cuales 2 succionan el agua del colector y otras 4 bombas mas que se encargan de bombear las aguas tratadas fuera de la planta. Para llevar a cabo el proceso de tratamiento de las aguas residuales, la planta cuenta con un espacio donde se recibe el agua residual ó recolector, después el agua pasa a un sedimentador primario donde permanece por un tiempo aproximado de 2 horas, después es dirigida al estanque del reactor biológico donde se introducen lodos activados de tipo convencional con flujo pistón donde hay una gran carga de biomasa en el cual el agua requiere de permanecer ahí por un tiempo de 8 horas aproximadamente para pasar después a un sedimentador secundario en el cual permanece por 2 horas más. Finalmente el agua pasa por la última etapa en la cual a través de la adición de cloro el agua ya se puede considerar tratada (Información verbal).

En la fase experimental del presente trabajo, la muestra de agua cruda o influente (tipo "A") se obtuvo del recolector; la muestra del reactor biológico (tipo "B") se obtuvo del estanque del reactor biológico y finalmente la muestra de agua efluente o tratada (tipo "C") se obtuvo del estanque ubicado antes de la etapa de cloración (Información verbal).

Además de que el proceso de la purificación de aguas permite que la calidad de esta mejore también aumenta el fitoplancton lo que propicia un incremento en los niveles de oxígeno y esto a su vez promueve el desarrollo de rotíferos , cladóceros y otros crustáceos, los cuales son importantes constituyentes alimenticios en la dieta de los peces por lo que las plantas ó tanques donde se tratan las aguas de desecho, podrían ser usados provechosamente para la acuicultura (Sreenivasan, 1980) además de que los desperdicios domésticos e industriales, pueden representar un buen recurso para obtener materia orgánica y nutrientes para la

1980) además de que los desperdicios domésticos e industriales, pueden representar un buen recurso para obtener materia orgánica y nutrientes para la producción de zooplancton ya que en el tratamiento de las aguas residuales, está involucrado el crecimiento de bacterias y algas que también son muy importantes como alimento para algunos organismos como los cladóceros (Sreenivasan, 1980) (Roche,1998). Específicamente, el agua efluente de las plantas de tratamiento han mostrado ser un gran potencial como un recurso alimenticio para algunas especies de cladóceros como es el caso de *Daphnia magna* (Roche, 1998).

### **1.3. Cladóceros**

#### **1.3.1. Características y morfología**

Los cladóceros son crustáceos dulceacuícolas y marinos de pequeñas dimensiones que oscilan entre 0.2 - 5.0mm de longitud (Dodson & Frey, 1991), se conocen alrededor de 600 especies, en 11 familias, de las que más del 90% son dulceacuícolas( De la Fuente, 1994). El cuerpo no está claramente segmentado, y la gran mayoría de las especies tienen la región abdominal y torácica cubierta por un caparazón generalmente bivalvo y que visto lateralmente tiene forma variada, ya sea oval, circular, elongado o angular(Dodson & Frey, 1991).

La cabeza es libre, generalmente prolongada en un corto rostro. Un ojo compuesto sésil ubicado en la línea media, resultado de la fusión de dos y en el interior de una cavidad sin comunicación con el exterior, también existe un ocelo nauplius; anténulas birrámeas que en el macho pueden estar modificadas; antenas birrámeas más o menos largas con setas para la natación; mandíbulas sin palpo, maxílulas y maxílas reducidas y las últimas a veces ausentes; el desarrollo es directo en su mayoría (De la Fuente, 1994).

El número de apéndices del tronco consta de 5 a 6 pares. El extremo del tronco, conocido como postabdómen, está volteado ventralmente y hacia delante, y sostiene pinzas especiales además de espinas encargadas de la limpieza del caparazón (Barnés, 1985).

Los sexos son separados con presencia de una ó dos gónadas, los gonoporos se encuentran en el postabdomen. En el macho abren cerca del ano, por lo que dicho postabdomen puede actuar como órgano copulador. En la hembra abren en una cavidad incubadora dorsal, bajo el caparazón, en donde se desarrollan los huevos; la reproducción es partenogenética durante la mayor parte del año en muchos hábitats y solamente son producidas hembras. Los huevos llevan a cabo una división simple en el ovario y son liberados vía oviducto en la cámara incubadora; al final está una cavidad dorsal entre las valvas, la cual es cerrada posteriormente por un proceso que se lleva a cabo en la región abdominal (De la Fuente, 1994).

Dependiendo de las especies y de las condiciones ambientales, el número de huevos por camada, varía considerablemente, el número puede variar entre 2 y 40 huevos, aunque frecuentemente oscila entre 10 y 20. Los huevos partenogenéticos tienen además un desarrollo en la cámara incubadora los cuales son expulsados al medio por la madres a través de movimientos abdominales (Pennak, 1978).

### ***1.3.2. Alimentación***

Para su alimentación, los cladóceros tienen los bordes de los apéndices del tronco provistos de cerdas finas filtrantes; en el proceso alimenticio el agua es aspirada hacia el espacio que hay entre las extremidades a partir de la línea ventral media, y las cerdas filtrantes reúnen las partículas extrayéndolas de la corriente que ingresa. Al efectuar un golpe de remo hacia atrás, el agua es impulsada fuera del espacio entre las extremidades en dirección posterolateral y distalmente; las partículas de alimento reunidas son enviadas a un surco alimenticio ventral medio que se extiende en dirección anterior hacia la boca y que está limitado por pequeñas cerdas curvas. Se consuma el movimiento hacia delante de las partículas en el surco por acción de chorros ligeros antero medianos de agua que parten de los espacios entre las extremidades siempre que el miembro cambia su movimiento de atrás hacia adelante. Las glándulas existentes en las paredes del surco alimenticio secretan un material adhesivo y las partículas entrelazadas son dirigidas a la boca por los apéndices vecinos, especialmente de las primeras maxílas.(Barnés, 1985).

1985). Además, algunos crustáceos del zooplancton como los cladóceros, consumen tanto bacterias como protozoarios y algas, a diferencia de algunos copépodos que no consumen bacterias (Stockner & Porter, 1988) elementos que suelen estar presentes en las aguas residuales (Balasubramanian & Kasturi, 1994). Hace unas décadas se podía observar como la producción de detritus y la producción bacteriana afectaban las dinámicas del zooplancton (Porter *et al.*, 1979), y posteriores estudios han demostrado que las bacterias son importantes componentes de la dieta de la gran mayoría de los cladóceros, pues en algunos casos, especies de zooplancton han sido cultivadas en bacteria desde tempranos estadios de la vida de éstos organismos (Tezuka, 1971) demostrando así que las bacterias no solo pueden servir de alimento en la etapa adulta de los cladóceros.

### **1.3.3. Importancia**

Los cladóceros son principalmente organismos de agua dulce, con pocas excepciones marinas, además de que pueden encontrarse en corrientes rápidas de agua, arroyos e incluso aguas contaminadas (Dodson & Frey, 1991).

Un aspecto muy importante de éstos organismos es que juegan un papel fundamental en las cadenas tróficas, ya que son alimento para peces tanto jóvenes como adultos, pues numerosos estudios de contenido estomacal de peces han revelado que pueden contener hasta el 95% de cladóceros y pocos estudios han revelado que el porcentaje sea menor del 10% (Dodson & Frey, 1991).

Más aún, los branquiópodos, entre ellos los cladóceros, son utilizados en estudios sobre conducta animal, morfología funcional, evolución de historia de vida, especiación, y en estudios de ecología poblacional y de comunidades; además de que ocupan una posición importante en las comunidades acuáticas pues pueden ser importantes consumidores de algas y bacterias así como también importante alimento para peces, pájaros y otros depredadores (Dodson & Frey, 1991).

En cuanto a sus periodos de vida, los cladóceros presentan generalmente periodos muy cortos, por lo que realizar estudios con ellos, facilita el tiempo de obtención de resultados y da la oportunidad de estudiar varios aspectos de su tabla de vida con los cuales bajo condiciones controladas en un laboratorio, se va a facilitar más que en hábitats naturales ya que se puede obtener una secuencia de todos los datos, lo que además permite realizar un estudio completo tomando en cuenta los principales aspectos ecológicos de cierta especie de organismos.

#### **1.4. Alga**

*Chlorella vulgaris* es una microalga unicelular de forma esférica de aproximadamente 5µm. *Chlorella* fue de las primeras algas aisladas y desarrolladas en cultivo puro (Hama & Miyachi, 1988), y actualmente se ha demostrado que son fáciles de cultivar pues sirven como alimento vivo para diversos organismos como los cladóceros (De Pauw & Persoone, 1988). La especie *Chlorella vulgaris* fue originalmente recolectada del ambiente atmosférico del entorno de las instalaciones de la FES-Iztacala (Vega Quintero, 1997).

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. OBJETIVOS GENERALES***

Evaluar la utilidad del agua de una planta de tratamiento en sus diferentes etapas como medio de cultivo para algunos cladóceros utilizando como herramienta la tabla de vida .

### ***2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS***

Comparar las respuestas entre las especies seleccionadas en las distintas condiciones en que se encuentra el agua de en una planta de tratamiento, por medio de un estudio de tabla de vida, específicamente: la sobrevivencia, fecundidad, expectativa de vida, tasa de reproducción neta, tasa de reproducción bruta, tasa intrínseca de crecimiento y tiempo de generación.

### 3. ANTECEDENTES

Desde hace tiempo se han realizado diversos estudios en los que se ha sugerido que algunos organismos pertenecientes al zooplancton, como los cladóceros, dependen en gran medida del consumo de bacterias como parte de su dieta, y en 1963, Nauwerck planteó la idea de que la producción primaria en algunos lagos es insuficiente para soportar la producción de zooplancton, sin embargo posteriores estudios confirmaron que las bacterias son numéricamente abundantes y productores significantes de biomasa (Hobbie *et al.*, 1977). Hasta hace unas décadas, las aguas residuales no eran utilizadas con mucha frecuencia para llevar a cabo investigaciones con el fin de darles otros usos ya que en 1978 eran muy pocos los estudios realizados con ellas (Daborn *et al.*, 1978; Mitchell & Williams, 1982). Sin embargo el tratamiento de aguas residuales ya ha sido utilizado por varias décadas como una forma simple, barata y segura para tratar los desechos domésticos e industriales (Middlebrooks *et al.*, 1982; Mara *et al.*, 1992; Reed *et al.*, 1995).

Las aguas residuales se caracterizan por tener un gran contenido de algas, y se ha observado que algunos cladóceros, en particular algunas especies de *Daphnia*, son efectivas herbívoras, las cuales tienen la capacidad de suprimir la biomasa de fitoplancton y mantener por debajo los niveles de productividad esperados de concentraciones de nutrientes (Shapiro *et al.*, 1980; Carpenter *et al.*, 1985).

Roche en 1995 realizó un estudio en el que caracterizó por un ciclo anual, la dinámica poblacional y estructura del plancton (fitoplancton y zooplancton) que se encontraban en un sistema de estabilización de desperdicios efluentes de una lechería en donde los principales desperdicios fueron de la producción de mantequilla, quesos y leche en polvo, encontrando al rotífero *Brachionus calyciflorus* principalmente en los meses de verano cuando la temperatura oscila entre los 13-15 °C, en cambio encontró varios factores limitantes para la presencia de *Daphnia* como altas cantidades de amoníaco, estos estudios los realizó con el

objeto de determinar los efectos de las condiciones ambientales a estas comunidades. También hace referencia a que entre los años 1984-1987 cuando la carga de materia orgánica fue considerablemente menor, los organismos de zooplancton predominantes fueron copépodos y *Daphnia magna*. En 1998 Roche utilizó el agua efluente de una planta de desperdicios de productos lácteos para mantener en ella a la especie *Daphnia magna* utilizando como herramienta la tabla de vida, y conocer así las respuestas de estos organismos ante estas condiciones; este mismo autor comparó sus resultados con otros trabajos similares( Myrand & Noue, 1982; Rocha 1983; Korpelainen, 1986) y llegó a la conclusión de que el agua efluente con este tipo de desperdicios, muestra ser un recurso potencial como fuente de alimento para *Daphnia magna*.

Nandini en 1999 llevó a cabo un estudio para conocer las dinámicas del plancton en un tanques de estabilización de desechos de agua en Delhi (India), estos durante las diferentes etapas del proceso de estabilización. Como resultado de este estudio en estos tanques de estabilización se encontraron varios géneros de fitoplancton; en cuanto al zooplancton se encontraron varias especies de copépodos, rotíferos y cladóceros, de estos últimos se encontraron especies de los géneros *Ceriodaphnia*, *Moina* y *Daphnia* principalmente los cuales se encontraron sobre todo en la etapa final de los tanques de estabilización, lo que indica que este tipo de organismos si se pueden desarrollar en este tipo de aguas en donde el proceso es de manera natural.

En México uno de los mas importantes componentes de la dieta, es el maíz y para la elaboración de las tortillas el método tradicional es el de nixtamalización en cuyo proceso un considerable número de sustancias orgánicas, incluyendo proteínas, carbohidratos y lípidos, son desperdiciados pues se van en el agua, resultando en un medio rico orgánicamente (Pedroza, 1985), razón por la cual, en 1998, Arévalo *et al* trabajó con la especie *Brachionus calyciflorus* para observar el crecimiento poblacional en este tipo de agua, en cuyo trabajo manejó distintas concentraciones de este tipo de agua con y sin la adición de *Chlorella vulgaris* como otro recurso

alimenticio; pudo observar que en general la densidad de *Brachionus calyciflorus* fue incrementando a una mayor concentración del agua, sin embargo cuando las concentraciones ya fueron mucho mayores, los rotíferos no pudieron mantener la población por muchos días, por lo tanto Arévalo concluyó que una de las principales razones por las que el agua de *nejayote* no puede ser usada directamente, es la alta concentración de materia orgánica.

En ambientes naturales, la disponibilidad de alimento y muchas variables fisicoquímicas como por ejemplo la temperatura, pH, y la concentración de oxígeno disuelto, pueden cambiar substancialmente con el tiempo, por estas variaciones, el uso de rangos de crecimiento estimados en laboratorio bajo condiciones constantes fisicoquímicas y alimenticias para calcular la biomasa y la producción secundaria *in situ*, podría estar sujeta a algún error (Cauchie *et al.*, 2000), y el estudio que realizó Cauchie *et al* (2000) fue de 3 años en los cuales se produjo a la especie *Daphnia magna* en una planta de estabilización de desperdicios y de la cual se llevó a cabo la relación de longitud-peso y rangos de crecimiento, los cuales fueron estimados *in situ* en distintas ocasiones; al mismo tiempo estas variables fueron estimadas bajo condiciones de laboratorio tratando de mimetizar las condiciones *in situ*, con excepción que las condiciones de laboratorio fueron mantenidas constantes. En este trabajo Cauchie tomó en cuenta el hecho de que la biomasa y la producción secundaria en la planta de estabilización fuera influenciada por las relaciones entre las diferencias de longitud-peso y los rangos de crecimiento estimados bajo las condiciones estables de laboratorio comparadas con las condiciones fluctuantes *in situ*, y para estas divergencias entre el laboratorio y el trabajo *in situ*, fue analizado en base de las variables ambientales como el pH, la conductividad, la densidad bacteriana, etc y para la historia de vida de la *Daphnia magna*, tomó en cuenta la talla en la primera reproducción, número de huevos, etc. En dicho trabajo como era esperado, se observó que las condiciones difieren substancialmente entre el laboratorio y la planta y que fueron mucho mas variables durante el curso de los experimentos *in situ* que durante los experimentos en el laboratorio. Los tratamientos de historia de vida fueron analizados para observar las diferencias que

hayan tenido impacto en las estrategias reproductivas y se observó que *Daphnia magna* fue altamente similar tanto en el laboratorio como *in situ* a una misma temperatura. La ausencia de grandes diferencias en estos tratamientos, indicó que las condiciones globales de alimento fueron similares aunque los recursos de alga hayan sido mas bajos *in situ* comparado con los experimentos de laboratorio; además los *Daphnidos* tienen la capacidad de alimentarse de otros recursos que no sean alga bajo condiciones de laboratorio (Cauchie *et al*, 2000). Las relaciones de longitud-peso fueron similares en ambas partes en su mayoría, por lo tanto estos resultados confirmaron que las condiciones globales alimenticias fueron similares en los dos tipos de experimentos a pesar de que los recursos alimenticios fueron diferentes.

Sin embargo las aguas residuales no sólo han demostrado ser importantes para estudios con organismos como algunos crustáceos ó rotíferos, Hernández *et al*;(2000) realizó un estudio con aguas efluentes de una fábrica de queso en donde aisló una bacteria mesofílica reductora de sulfato, lo que indica que este tipo de aguas efluentes pueden tener otros usos.

Los trabajos en los que se llevan a cabo estudios como las tablas de vida de organismos como cladóceros o rotíferos, permiten tener un conocimiento mas amplio del comportamiento de las especies bajo determinadas condiciones y así poder saber entre otras cosas la posible utilidad que se les puede dar ( Nandini *et al*, 2000) estudiaron la tabla de vida demográfica y crecimiento poblacional de la especie *Daphnia laevis* utilizando como alimento el alga *Chlorella vulgaris* y la cianobacteria *Microcystis aeruginosa* ( esta última en forma colonial) en dos concentraciones diferentes:  $1 \times 10^6$  y  $3 \times 10^6$  , es decir, el diseño experimental consistió en dos tipos de alimento y dos concentraciones de alga; los resultados obtenidos sugieren que las variables de sobrevivencia no se afectaron significativamente por el tipo de alimento ó por la concentración de este, sin embargo las variables reproductivas (Reproducción neta y Reproducción bruta) fueron influenciadas mas significativamente por el tipo de alga que por su

densidad, además de que los cladóceros alimentados con el alga, alcanzaron su máxima abundancia de población antes que aquellos que fueron alimentados con *Microcystis*. Este estudio sugiere que la especie *Daphnia laevis* puede utilizar exitosamente una cepa básicamente tóxica de *M. aeruginosa*, con la cual coexiste en una presa artificial en México.

Nandini & Sarma en el año 2000 llevaron a cabo otro trabajo en el que estudiaron la tabla de vida de cuatro especies de cladóceros: *Ceriodaphnia cornuta*, *Moina macrocopa*, *Pleuroxus aduncus* y *Simocephalus vetulus* en relación a tres concentraciones ( baja  $0.5 \times 10^6$ , media  $1.5 \times 10^6$ , y alta  $4.5 \times 10^6$ ) del alga *Chlorella vulgaris* como alimento a una temperatura de 25 C. En general para todas las especies de cladóceros, los valores de promedio de vida, rango de reproducción bruta, rango de reproducción neta, tiempo generacional y el rango de crecimiento poblacional fueron los mas altos a bajas concentraciones; además a altas concentraciones resultaron negativos los rangos de crecimiento poblacional para la especie *P. aduncus* (media  $\pm$  error estándar:  $-0.091 \pm 0.026$ ) El mas alto rango de crecimiento poblacional fue para la especie *M. macrocopa* a una baja densidad de alimento ( $0.602 \pm 0.014$ ). En relación al promedio de vida, el mas alto lo tuvo la especie *S. vetulus* ( $40 \pm 1d$ ), mientras que *M. macrocopa* lo tuvo mas bajo ( $5 \pm 1d$ ). La especie *C. cornuta* mostró mejor aprovechamiento a una concentración media. En este trabajo Nandini & Sarma (2000) concluyeron que entre todas las concentraciones utilizadas en dicho trabajo,  $0.5 \times 10^6$ - $1.5 \times 10^6$  fueron benéficas no solamente para las especies planctónicas si no también para las especies litorales *P. aduncus* y *S. vetulus*, mientras que la concentración  $4.5 \times 10^6$  células  $ml^{-1}$  fue inconveniente para todas las especies de cladóceros probadas.

Muro-Cruz *et al*, (2001) realizó un estudio comparativo de tablas de vida y crecimiento poblacional entre dos especies de cladóceros, *Alona rectangula* y *Macrothrix triserialis* bajo dos concentraciones diferentes de alga *Chlorella vulgaris* ( $0.5 \times 10^6$  y  $20 \times 10^6$  células por  $ml^{-1}$ ). *A. rectangula* tuvo muy poca mortalidad en las primeras dos semanas. En cuanto a la reproducción, sin importar la concentración

de alimento, la esta especie tuvo muy baja reproducción diaria. Muro-Cruz observó también que a altas concentraciones de *Chlorella* se obtuvo un decremento en el promedio de vida, rango de reproducción bruta, rango de reproducción neta y rango de crecimiento poblacional. En general, *Alona rectangula* mostró un incremento en el crecimiento poblacional con el incremento de los niveles de alimento; satisfactoriamente el nivel de alimento tuvo un efecto significativo en la densidad poblacional y el rango de incremento poblacional.

## **4.MATERIAL Y METODOS**

### **4.1. Organismos**

#### **4.1.1. Cladóceros**

La especie *Alona rectangula*, fue originalmente aislada del lago de Chapultepec, México DF; las especies *Daphnia pulex* Leydig, 1860; *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894; y *Moina macrocopa* americana Goulden, 1968; de Balsaquillo, Edo. Puebla, México. Las 4 especies de cladóceros se mantuvieron con una solución fisiológica estandarizada conocida como "medio EPA ó agua reconstituida" (Anon., 1985), que fue preparado disolviendo 96mg Na HCO<sub>3</sub>, 60mg CaSO<sub>4</sub>, 60mg MgSO<sub>4</sub> y 4mg KCl en un litro de agua destilada, ésta solución se mantuvo a una temperatura de 27-28°C y con un pH de 7.5. y los cultivos se mantuvieron en el laboratorio de Ecología Acuática de FES-Iztacala UNAM.

#### **4.1.2. Alga**

El alga *Chlorella* se cultivó en forma masiva, en condiciones asépticas, en botellas de plástico de 2000ml, con iluminación artificial continua (aproximadamente 1000-2000 lux), con aireación constante, a temperatura de 25-26°C en el medio de crecimiento basal de Bold (Borowitzka & Borowitzka, 1988). Como fuente de carbono adicional al medio de cultivo, se utilizó bicarbonato de sodio el cual fue añadido cada tercer día aproximadamente durante el crecimiento del alga.

#### **4.1.3. Medios de cultivo**

Se utilizaron tres diferentes tipos de agua para las condiciones experimentales, los cuales pertenecen a tres de las etapas en que se encuentra el agua residual ó cruda en el proceso de tratamiento previo a la cloración y fueron los siguientes: Agua "A" para el agua cruda ó influente; Agua "B" para el agua del reactor biológico; Agua "C" para el agua tratada ó efluente y como condición control se utilizó al alga *Chlorella*, representada por "Ch".

#### **4.1.4. Procedimientos**

Para las 4 especies de cladóceros utilizadas en este trabajo: *Moina macrocopa*, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex*, *Alona rectangula* el procedimiento se manejó de la misma manera y fue el siguiente:

Para cada especie se manejó un número total de 4 condiciones, el control con *Chlorella*, y las experimentales con agua tipo "A", tipo "B" y tipo "C", y cada condición constó de 4 repeticiones con las que se trabajó simultáneamente.

Para todas las condiciones del experimento, los organismos fueron colocados en recipientes de plástico (vasos) con libre movimiento de aire y con 50ml del respectivo medio a una temperatura de 26-27°C.

Por especie, para la condición control al inicio del experimento se colocaron en cada recipiente 50ml de medio EPA (Anónimo,1985) al cual se le añadió el alga *Chlorella vulgaris* a una densidad de  $1 \times 10^6$  células por ml y en el cual se pusieron 20 individuos como cohorte inicial con 48 horas de edad cada uno, esto se hizo con 4 repeticiones. El mismo procedimiento se llevó a cabo para las condiciones experimentales, es decir para el agua tipo "A", "B" y "C" con el mismo número de repeticiones.

Los cambios de medio para todas las condiciones con sus respectivas repeticiones, se llevaron a cabo diariamente por medio nuevo en el caso del control y para las condiciones experimentales, el agua que se obtenía de la planta de tratamiento se utilizaba para un día y se guardaba en un cuarto frío a una temperatura de 8°C y al día siguiente se volvía a utilizar pero antes de hacer el cambio se sacaba el agua con tiempo para que alcanzara la temperatura de 26-27°C; por lo tanto las muestras de agua eran para dos días pues cada tercer día se obtuvieron muestras de agua de la planta de tratamiento durante toda la etapa experimental.

Los cambios de medio se realizaron siempre con intervalos aproximados de 24 horas y así diariamente se contaron los individuos de la cohorte inicial y la progenie de estos se contabilizó también pero se fueron eliminando cambiando así

únicamente de medio a los individuos de la cohorte inicial, este procedimiento se llevo a cabo hasta que murió el ultimo individuo de la cohorte inicial. Este estudio se llevo a cabo solamente con hembras partenogénéticas, no se utilizaron machos.

La sobrevivencia ( $l_x$ ), fecundidad ( $m_x$ ), esperanza de vida ( $e_x$ ), tasa de reproducción neta, tasa de reproducción bruta, tiempo generacional y crecimiento poblacional por cada especie y por cada tratamiento, fueron calculados usando métodos demográficos estandarizados de tabla de vida (Pianka, 1988). Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

Sobrevivencia=  $N_x/N_0$

Esperanza de vida=  $T_x/l_x$

Reproducción bruta=  $\sum_{x=0}^{\infty} m_x$

Reproducción neta  $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$

$\sum l_x m_x \cdot x$

Tiempo generacional (T) =  $\frac{\sum l_x m_x \cdot x}{R_0}$

Incremento poblacional  $\lambda = \sum_{x=0}^n e^{-rx} l_x m_x = \lambda^{x=0}$

Finalmente, los estudios se compararon estadísticamente con el uso de ANOVA para un factor.

Para conocer el recurso alimenticio que tuvieron los cladóceros en los experimentos realizados, se llevó a cabo la técnica de recurso alimenticio comestible (Cauchie *et al*; 2000) y cuyo procedimiento fue el siguiente:

El recurso alimenticio total para las 4 especies de cladóceros fue estimado de la concentración de partículas de materia orgánica que es comestible para dichas

especies (EPOM) como por ejemplo sólidos orgánicos con una talla entre 0.5 a 40 $\mu$ m (Séller & Muller, 1981).

Para llevar acabo esta técnica, las muestras de los diferentes tipos de agua fueron filtradas (10ml por tipo de agua) con una gasa de nylon ( abertura de 40 $\mu$ ) y la materia orgánica obtenida fue deshidratada con calor seco por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 105°C en un horno Rhiossa modelo HS (50-300 °C) y pesado para estimar la concentración de sólidos suspendidos comestibles (ESS).

Para obtener las medidas corporales de las especies de cladóceros se siguió el método siguiente:

Se colocó en un portaobjetos un individuo de la condición que le correspondía esto con y se observó en un microscopio compuesto de cámara lúcida en el que se tomaron las medidas del organismo y se llevó a cabo la conversión de escala.

Se emplearon 10 replicas por cada tratamiento de cada especie que vivió por mas de 8 días y se dejaron 5 contenedores de aluminio sin organismo para que funcionaran como testigo.

Además los organismos en las condiciones de tratamiento que permanecieron con vida por mas de 8 días (fecha que se tomó como parámetro) durante la etapa experimental, se mantuvieron bajo las mismas condiciones por un periodo de 8 días y después de este tiempo se midieron con el microscopio de luz clara.

Para obtener el peso de estos organismos, se realizó la técnica de Equivalencia en Biomasa, cuyo método es una modificación del propuesto por Wetzel y Likens (1979): En una microbalanza se pesaron 10 contenedores de aluminio de aproximadamente 2 ml<sup>3</sup> y posteriormente se pusieron en una estufa a 45 °C por un periodo de 24 horas, al cabo de este tiempo se volvieron a pesar y se obtuvo la diferencia de peso, se obtuvo la media y este valor se tomó en cuenta como control para conocer la varianza que pudiera haber en los contenedores de aluminio sin organismos. Posteriormente en un contenedor con las mismas características se pesó y después se le colocó 1 individuo inmediatamente después de haber sido medido como se describió anteriormente.

Después el contenedor de aluminio fue puesto en una estufa a 45 °C por 24 horas para secar al organismo y proceder a pesarlo nuevamente junto con el organismo. Se calculó el peso de organismo restándole al peso final del contenedor el cual tenía al organismo, el peso inicial del contenedor sin organismo, tomando en cuenta la diferencia del contenedor control, esto se llevó a cabo para cada una de las 10 réplicas, se promedió y se obtuvo el error estándar.



U.N.A.M. CAMPUS

## 5.RESULTADOS

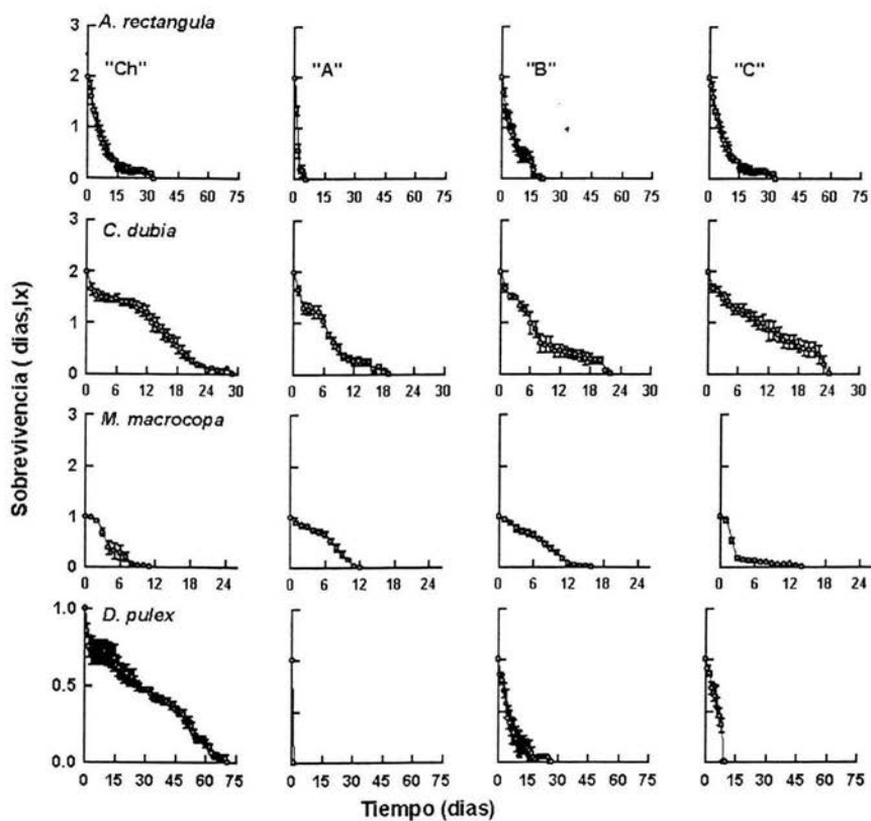
### 5.1. *Sobrevivencia*

En cuanto a la condición testigo (*Chlorella*) para las cuatro especies, la sobrevivencia de los organismos osciló entre los 12 hasta los 75 días. Para los diferentes tratamientos estos rangos de sobrevivencia fueron desde 1 día hasta 30 días; esto mostró que a excepción de la especie *M.macrocopa*, la sobrevivencia fue mayor en la condición testigo. Se pudo observar que la condición experimental de agua "B" (reactor biológico) en general para las cuatro especies fue la que permitió una mayor sobrevivencia. La especie mas resistente fue *C. dubia* y la mas sensible *D. pulex*. La sobrevivencia de *A. rectangula* fue mayor en el grupo testigo y fue seguida por el agua "B" pero de un 36% menos del testigo mientras que el agua "C" (tratada) y el agua "A" (cruda) los organismos sobrevivieron un 51% y 81% respectivamente menos que la condición testigo. La sobrevivencia de *C. dubia* en la agua "C" fue 17% menos que en la condición testigo, después siguió el tratamiento de agua "B" con un 24% menos y finalmente el agua "A" con un 35 % menos. *M. macrocopa* alcanzó una mayor sobrevivencia en el agua "B" en la cual la sobrevivencia alcanzó los 16 días, y fue seguida por el agua "C" en cuyo caso fue de tan solo un 12.5% menos, y el agua "A" con un 25% menos, finalmente se encontró la condición testigo con un 31% menos que la condición de agua "B". En cuanto a la especie *D. pulex*, la sobrevivencia mayor fue en la condición testigo la cual alcanzó los 70 días, en cambio las condiciones experimentales tuvieron sus valores muy por debajo de esta, variando entre 1 y 29 días en los tratamientos de agua "A", "B" y "C".(Figura 1) (Anexo 2, 3, 4, 5).

IZT.



U.N.A.M. CAMPUS



**Figura1.** Sobrevivencia de *Alona rectangular*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa*, y *Daphnia pulex*. (Ch=Chlorella; A= Agua cruda, B=Agua de reactor biológico, C=Agua tratada). Valores mostrados de media y error estandar basados en 4 replicas.

## 5.2. Fecundidad

Para las cuatro especies, los valores de fecundidad oscilaron entre 0 y 20 neonatos por hembra. Los valores mas altos y los mas bajos de fecundidad, fueron observados en el tratamiento de agua "A" en *M. macrocopa* y *D. pulex* respectivamente. La especie *A. rectangula* tuvo una fecundidad mayor en la condición de agua "C" hacia el día 5 pues alcanzó los 5 neonatos. A esta condición le siguió el grupo testigo cuyo valor mas alto se presentó con casi 4 neonatos hasta el día 15, mismo día que el agua "B" tuvo su valor mas alto pero con 2 neonatos; finalmente el valor mas pequeño se presentó en la condición de agua "A" con una mínima fecundidad de solo un neonato por día como valor máximo hacia el día 5 (Figura 2) (Anexo 2).

*C. dubia* tuvo la fecundidad mas alta en la condición testigo ya que su máximo valor que llegó a alcanzar fue el día 25 con 7 neonatos, el agua "A" tuvo una fecundidad de alrededor de 4 neonatos los primeros 5 días pero después decayó radicalmente para alcanzar como máximo después un valor de 3 neonatos. En el agua "B" esta especie tuvo una fecundidad constante de aproximadamente 2 a 3 neonatos por día, en el agua "C" tuvo una fecundidad similar a el agua "B" pero con 2 picos a los días 12 y 18 (Figura 2) (Anexo 3).

Para la especie *M. macrocopa* en el grupo testigo se presentó la fecundidad mas baja con un promedio de 10 neonatos alrededor del día 7; en cambio en el agua "A" el máximo valor fue de 20 individuos y antes ya que se presentó el día 4 además de ser la condición con los valores mas altos. En el agua "B" el valor mayor fue de 15 neonatos hacia el día 11; y en el tratamiento de agua "C" el máximo número de neonatos fue de 18 hacia el día 7 (Figura 2) (Anexo 4).

*D. pulex* en el grupo testigo tuvo una fecundidad constante entre 0 y 6 neonatos. En el agua "A" no hubo sobrevivencia, consecuentemente no se observó ninguna reproducción. El agua "B" alcanzó su máximo valor de 9 neonatos el día 24. La fecundidad en el agua "C" fue menor de 1 (Figura 2) (Anexo 5).

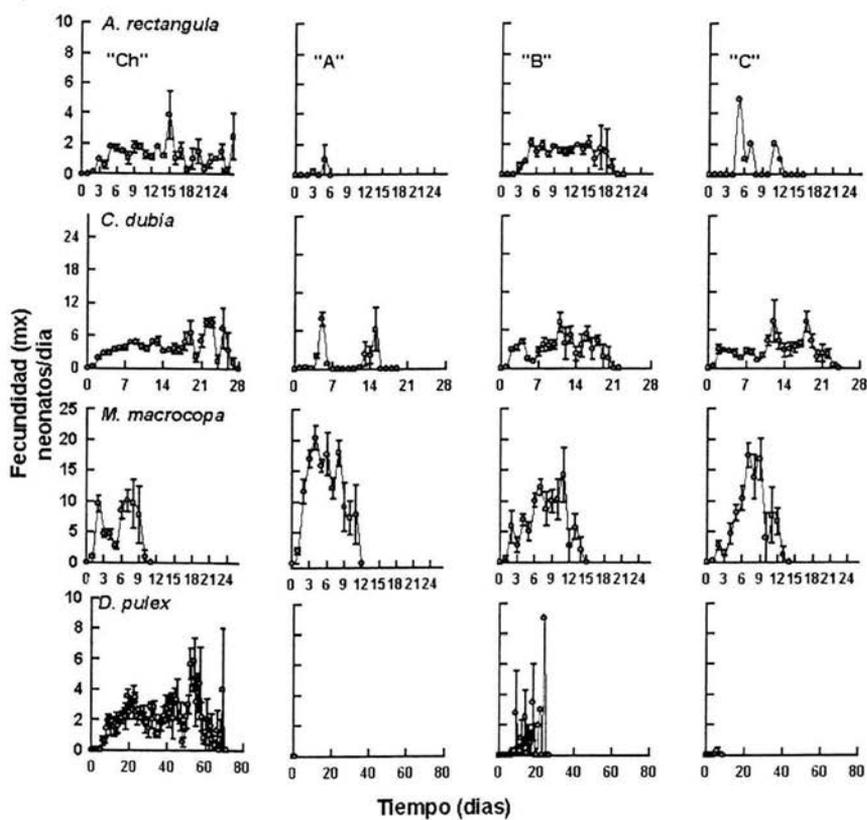
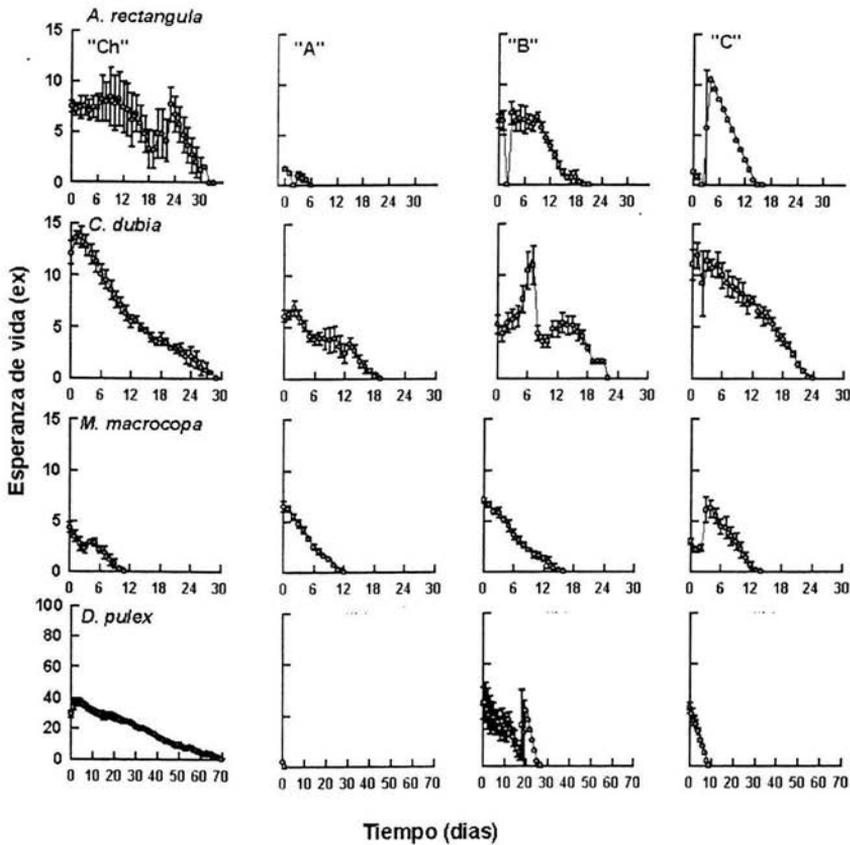


Figura 2 Fecundidad de *Alona rectangularis*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex*. (Ch=Chlorella; A=Agua cruda; B=Agua de reactor biológico; C=Agua tratada) Valores mostrados de media y error estándar basados en 4 replicas.

### 5.3. Esperanza de vida

En general la esperanza de vida de edad específica se presentó mas alta en la condición testigo y mas baja en la condición de agua "A", sin embargo la especie *M. macrocopa* tuvo un comportamiento diferente ya que en ella la esperanza de vida se presentó mayor en el tratamiento de agua "B" y la mas baja fue en la condición testigo. *A. rectangula* en la condición testigo tuvo la mayor esperanza de vida. En el tratamiento de agua "B" la esperanza de vida fue mucho mayor que en el tratamiento de agua "A". En el caso del tratamiento de agua "C", hubo una inicial mortalidad los primeros días, posteriormente los organismos se adaptaron al medio y finalmente hubo una firme declinación en la esperanza de vida (Figura 3) (Anexo 2). *C. dubia* en la condición testigo y en el tratamiento de agua "C" tuvo un comportamiento similar en la esperanza de vida aunque un poco menor en esta última. Sin embargo en el tratamiento de agua "A" la esperanza de vida fue mucho menor. En el agua "B" la esperanza aumentó los primeros días, tuvo una caída drástica y posteriormente se recuperó un poco y entonces disminuyó gradualmente los últimos días (Figura 3) (Anexo 3). *M. macrocopa* en las condiciones de agua "B" y "C" tuvo una esperanza de vida muy similar la cual disminuyó gradualmente con el paso de los días. En el grupo control la esperanza fue menor que en las condiciones de agua "A" y "B" y finalmente en el agua "C" la esperanza de vida fue poca los primeros días para luego alcanzar su máximo valor el día 4 y luego decaer gradualmente (Figura 3) (Anexo 4). La especie *D. pulex* en el grupo testigo tuvo una esperanza de vida muy constante la cual disminuyó gradualmente. En el tratamiento de agua "B" la esperanza disminuyó mas drásticamente que en el grupo testigo, posteriormente aumentó para finalmente decaer rápidamente. En el tratamiento de agua "C" la esperanza de vida fue mínima y en el agua "A" se pudo observar una esperanza de vida de casi cero. (Figura 3) (Anexo 5).

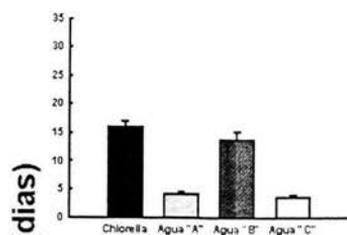


**Figura 3** Esperanza de vida de *Alona rectangularis*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex* (Ch=Chlorella, A=Agua cruda, B=Agua de reactor biológico, C=Agua tratada. Valores mostrados de media y error estándar basados en 4 replicas.

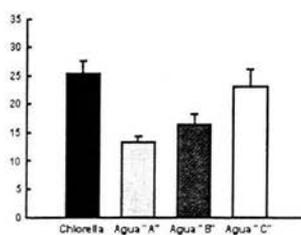
#### **5.4. Promedio de vida.**

El promedio de vida para las especies *A. rectangula*, *C. dubia* y *D. pulex* se pudo observar de manera general con un valor mas alto en la condición testigo pero para la especie *M. macrocopa* el valor mas alto se presentó en la condición de agua "B". Para la especie *A. rectangula* el promedio de vida mas alto se presentó en el grupo testigo ya que alcanzó los 15 días, le siguió el agua "B" con solo un 7% menos, y con valores mas bajos estuvieron el agua "A" y "C" cuyos valores fueron de 70% a 80% menos que la condición testigo respectivamente. La especie *C. dubia* tuvo el promedio de vida mas alto en la condición testigo con 25 días, a este siguió el agua "C" con un 8% menos, después se encontró el agua "B" con un 36% menos y finalmente se encontró el agua "A" con un promedio de vida del 48% menos con respecto al grupo testigo. El promedio de vida para la especie *M. macrocopa* osciló entre 3 y 7, pero a diferencia de las otras especies, sus valores mas altos se presentaron en las condiciones de agua "B" y "C" con valores muy similares; por debajo de ellas se encontró el grupo testigo y en último lugar se encontró el tratamiento de agua "C". En *M. macrocopa* el promedio de vida para los tratamientos de agua "A" y "B" no tuvo diferencias significativas ( $p > 0.05$  prueba de Fisher), sin embargo comparando los 4 tratamientos, si hubo una diferencia significativa ( $< 0.01$ ) (Tabla 1). Para la especie *D. pulex* la condición testigo tuvo un promedio de vida con un valor muy alto a diferencia de las tres condiciones experimentales cuyo valor fue de 30 días, a esta le siguió el agua "B" con un 57% menos, el agua "C" que con un 64% menos que la condición testigo y finalmente se encontró el agua "A" con un mínimo valor de 3 días (Figura 4 ).

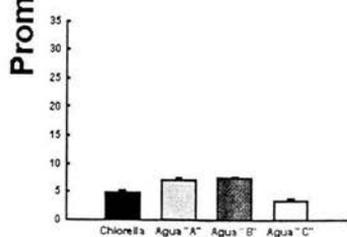
*Alona rectangulara*



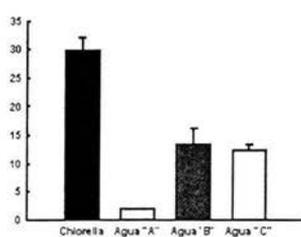
*Ceriodaphnia dubia*



*Moina macrocopa*



*Daphnia pulex*

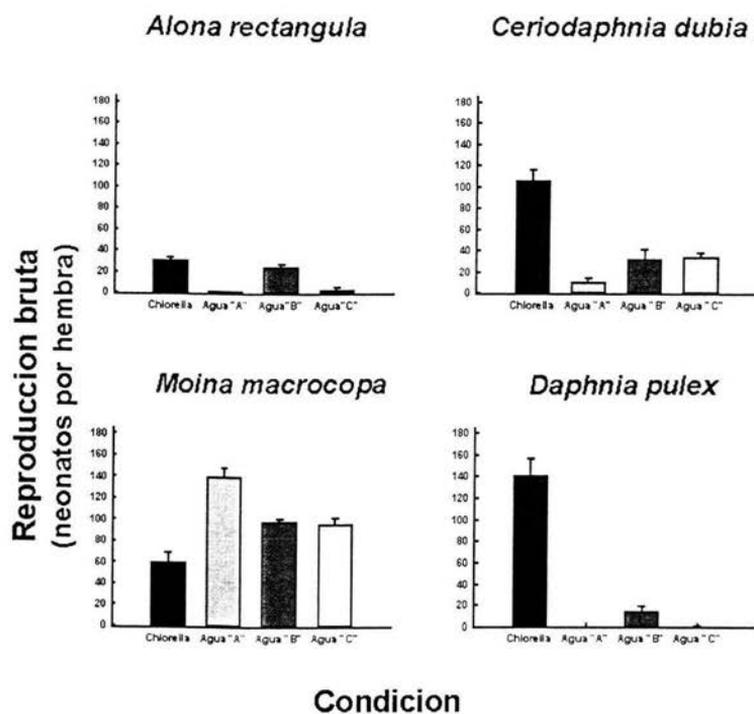


Condicion

Figura 4. Promedio de vida de *Alona rectangulara*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex*.

### **5.5. Reproducción bruta.**

Se pudo observar de forma general que las especies sí pudieron reproducirse en las tres condiciones experimentales además del grupo testigo, con excepción de la especie *D. pulex* ya que fue la única que pudo reproducirse solo en la condición testigo y un poco en la condición de agua "B". La especie *A. rectangula* tuvo la reproducción bruta mas alta en la condición testigo pues alcanzó los 30 neonatos por hembra, seguida por la condición de agua "B" con solo un 20% menos. En el agua "C" y el agua "A" los rangos oscilaron solamente entre 0.7757 y 0 respectivamente (Figura 5) Anexo 2). *C. dubia* tuvo una reproducción bruta muy alta en la condición testigo de 104 neonatos, mientras que las otras tres condiciones fueron mucho mas bajas, el agua "C" y el agua "B" con un 66% y 71% menos respectivamente y finalmente con un 90% menos en relación a la condición testigo, se encontró el agua "A" (Figura 5) (Anexo 3). De todas las especies, *M. macrocopa* tuvo en todas las condiciones la reproducción bruta mas alta y dentro de estas, la condición de agua "A" fue la mas alta con 140 neonatos, a esta le siguió el agua "B" con un 30% menos, después el agua "C" con un 32% menos, y finalmente se encontró el grupo testigo con el 58% menos en relación al agua "A" (Figura 5) (Anexo 4). Para la especie *D. pulex* el valor de reproducción bruta solo fue alto en la condición testigo, mientras que la condición de agua "A" y en la "C" no hubo ninguna reproducción. En la condición de agua "B" aunque si hubo reproducción, su máximo valor fue de solo 14 neonatos. (Figura 5) (Anexo 5).



**Figura 5.** Reproduccion bruta de *Alona rectangularis*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex*.

## 5.6. Reproducción neta.

La especie *A. rectangula* tuvo valores muy bajos en sus cuatro condiciones, sin embargo la mas alta se presentó en el grupo testigo a la cual siguió la condición de agua "B" con un valor muy similar. En cambio las condiciones de agua "A" y agua "C" tuvieron valores de cero (Figura 6) (Anexo 2); en conjunto entre los 4 tratamientos, si hubo diferencias significativas ( $p < 0.001$ ), sin embargo entre el grupo testigo y el tratamiento de agua "B" no hubo diferencias significativas (Tabla 1). La especie *C. dubia* tuvo el valor mas alto en el grupo testigo con 80 neonatos por hembra, seguido por el agua "C" con un 64% menos, el agua "B" con un 73% menos y la reproducción neta mas baja fue para la condición de agua "A" con un 90% menos en relación al grupo testigo (Figura 6) (Anexo 3). La especie *M. macrocopa* tuvo una reproducción neta en el agua "A" de 80 neonatos mientras que el agua "B" tuvo un 50% menos, después el grupo testigo tuvo un 75% menos y al final se encontró el agua "C" con un 87.5% menos con respecto a la condición de agua "A" (Figura 6) (Anexo 4). Para *C. dubia* y *M. macrocopa* las diferencias entre los cuatro tratamientos si fueron significativas ( $p < 0.001$ ) (Tabla 1). *D. pulex* solo tuvo una reproducción neta alta en el grupo testigo cuyo valor fue de 50 neonatos, pues en el agua "A" y "C" los valores fueron de ceros, y solamente el agua "B" tuvo una reproducción un poco mas alta que las otras dos condiciones experimentales (Figura 6) (Anexo 5).

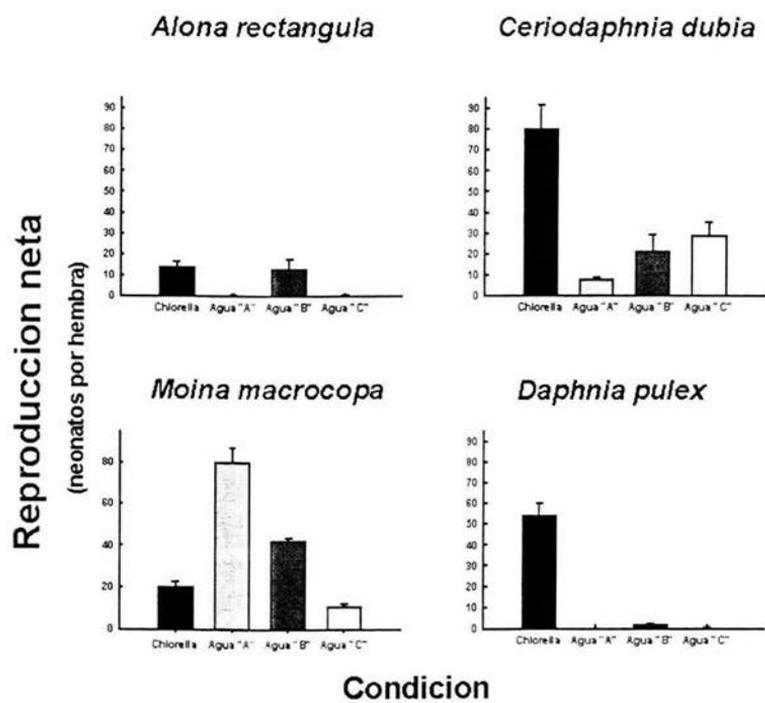


Figura 6. Reproduccion neta de *Alona rectangularis*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex*.

### **5.7 Tiempo generacional**

El tiempo generacional en la especie *A. rectangula* fue mas largo en el grupo testigo con casi 10 días, seguido por el agua "B" con solo un 10% menos, y después con una mayor diferencia siguieron el agua "A" y "C" con diferencias de 90 y 81% menos respectivamente en relación con el grupo testigo. En la especie *C. dubia* no hubo muchas diferencias en el tiempo generacional para los cuatro tratamientos, sin embargo el mas corto se presentó en la condición de agua "A", no obstante estadísticamente si hubo diferencias en conjunto para los cuatro tratamientos al igual que en la especie *M. macrocopa*. (Tabla 1). El tiempo generacional en la especie *M. macrocopa* se presentó con muy pocas diferencias entre las tres condiciones experimentales, presentándose el tiempo mas corto en el grupo testigo. *D. pulex* tuvo un tiempo generacional largo en el grupo control pues fue de 40, con un valor mucho menor siguió el agua "B" con un 67.5% menos, después siguió el agua "C" con un 85% menos y finalmente con un valor de cero se encontró el agua "A". En esta especie las diferencias entre tratamientos fueron significativas ya que los valores para los cuatro tratamientos, fueron muy diferentes ( $p > 0.001$ )(Figura 7). (Tabla 1).

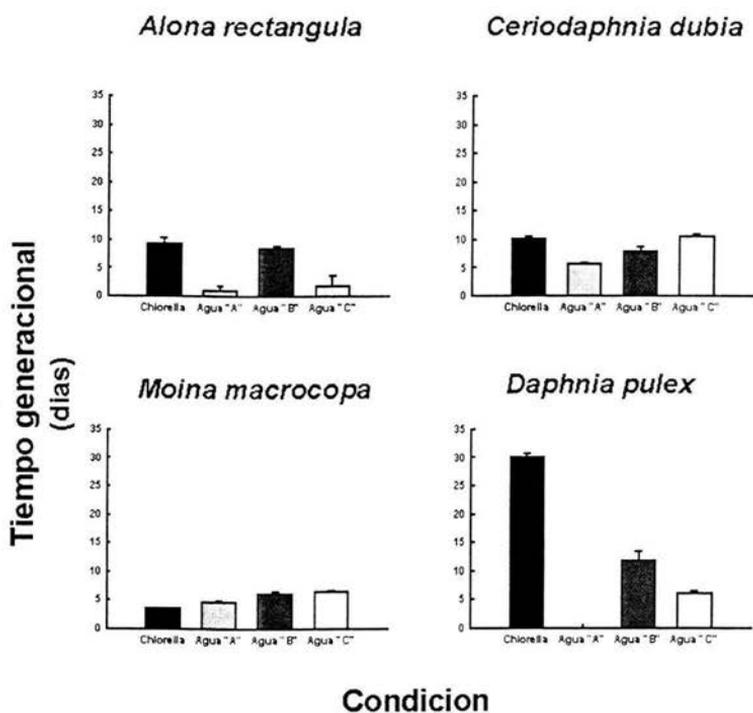


Figura 7. Tiempo generacional de *Alona rectangularis*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex*.

## 5.8 Tasa intrínseca de crecimiento

En la especie *A. rectangula* la tasa intrínseca de crecimiento en el grupo testigo y en la condición de agua "B" se presentó con los mas altos valores, los cuales además fueron muy similares sin grandes diferencias entre ellos, sin embargo en la condición de agua "A" el valor de "r" se presentó de manera negativa con -0.28 al igual que en la condición de agua "C" que fue de -0.0203 (Anexo 2), por lo tanto las diferencias entre los cuatro tratamientos, si fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.001$ ) (Tabla 1). La especie *C. dubia* si tuvo una tasa de crecimiento poblacional positivo en sus cuatro condiciones, el valor mas alto se encontró en el grupo testigo con 0.68 por día, seguida por el agua "B" y "C" con un 26.4% menos; finalmente se encontró la condición de agua "A" con un 62% menos con respecto al grupo testigo (Anexo 3). La especie *M. macrocopa* también tuvo un valor de "r" positivo para sus cuatro condiciones, sin embargo el valor mas alto se presentó en la condición de agua "A" que fue de 1.5 por día, seguida por el grupo testigo con un 18% menos, después siguió la condición de agua "B" con un 35% menos, finalmente se encontró la condición de agua "C" con un 68% menos en relación a la condición de agua "A"(Anexo 4). En ambas especies las diferencias en cuanto a sus tratamientos, se presentaron de manera significativa (Tabla 1). *D. pulex* presentó diferencias significativas entre los cuatro tratamientos ( $P < 0.001$ ), de hecho tuvo únicamente en el grupo testigo un crecimiento poblacional positivo de 0.25, mientras que en la condición de agua "A" no hubo crecimiento poblacional ya que en esta condición no hubo ni sobrevivencia ni reproducción, y en las condiciones de agua "B" y "C" los valores fueron negativos, de -0.06 y -0.23 respectivamente (Anexo 5)(Fig.8). (Tabla 1)

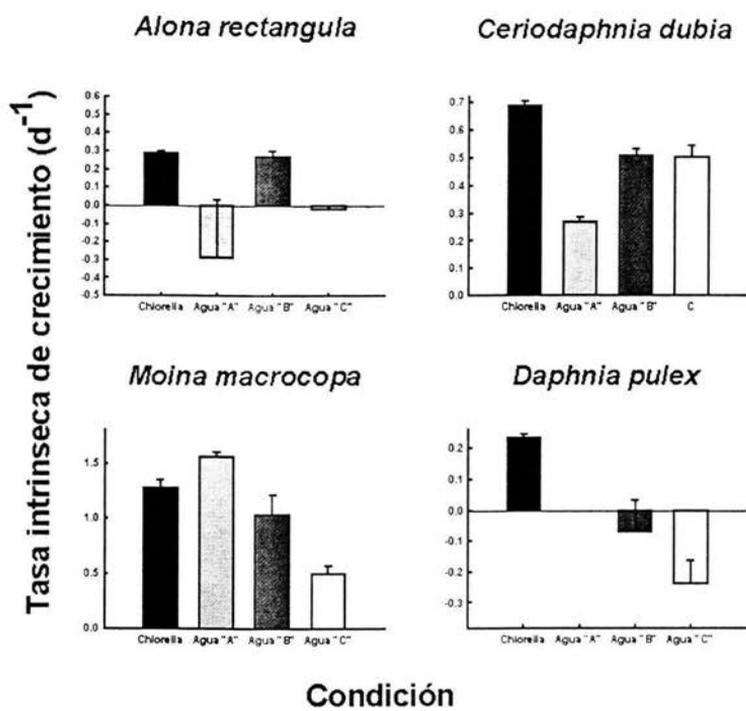


Figura 8. Tasa intrínseca de crecimiento "r" de las especies *Alona rectangulara*, *Ceriodaphnia dubia*, *Moina macrocopa* y *Daphnia pulex*.

**Tabla 1.** Resultados del análisis de varianza (ANOVA) formados por distintas variables de la historia de vida de las cuatro especies tratadas. GL=Grado de libertad; SC =Suma de cuadrados; PC=Promedio de cuadrados; F-Relación=Prueba de Fisher, \*\*\*=P<0.001, \*\*=p<0.01, \*=p<0.05, ns=p>0.05.

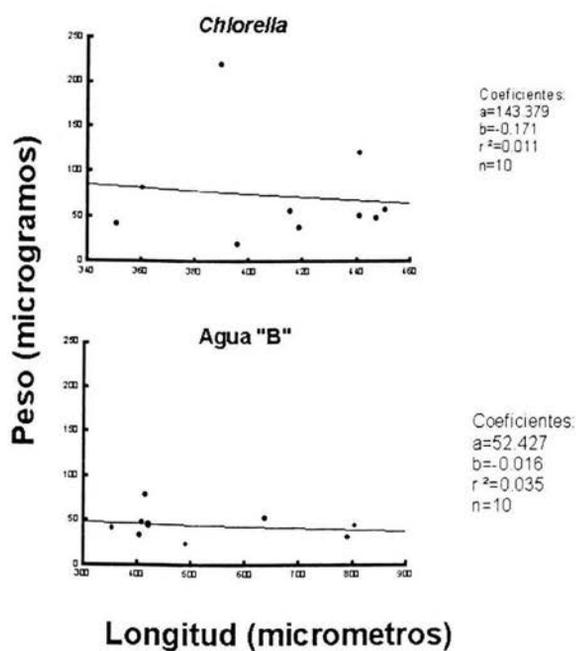
PARAMETRO	GL	SC	PC	F-Relación
<b><i>Alona rectangular</i></b>				
Promedio de vida				
Entre tratamientos	3	489.448	163.15	49.88***
Error	12	39.250	3.27	
Total	15	528.698		
Reproducción neta				
Entre tratamientos	3	696.562	232.19	28.29***
Error	12	98.482	8.21	
Total	15	795.044		
Tiempo generacional				
Entre tratamientos	3	233.326	77.78	14.52***
Error	12	64.259	5.35	
Total	15	297.585		
<b><i>Ceriodaphnia dubia</i></b>				
Promedio de vida				
Entre tratamientos	3	385.583	128.53	7.06***
Error	12	218.334	18.19	
Total	15	603.917		
Reproducción neta				
Entre tratamientos	3	12055.795	4018.60	65.40***
Error	12	737.316	61.44	
Total	15	12793.111		
Tiempo generacional				
Entre tratamientos	3	63.043	21.01	16.09***
Error	12	15.671	1.31	
Total	15	78.713		

<b><i>Moina macrocopa</i></b>				
Promedio de vida				
Entre tratamientos	3	44.023	14.67	23.13***
Error	12	7.612	0.63	
Total	15	51.635		
Reproducción neta				
Entre tratamientos	3	11452.758	3817.59	60.98***
Error	12	751.289	62.61	
Total	15	12204.047		
Tiempo generacional				
Entre tratamientos	3	21.742	7.25	25.86***
Error	12	3.362	0.28	
Total	15	25.104		
<b><i>Daphnia pulex</i></b>				
Promedio de vida				
Entre tratamientos	3	1603.683	534.56	36.10***
Error	12	177.672	14.81	
Total	15	1781.354		
Reproducción neta				
Entre tratamientos	3	8441.819	2813.94	258.78***
Error	12	130.486	10.87	
Total	15	8572.306		
Tiempo generacional				
Entre tratamientos	3	2024.368	674.79	204.32***
Error	12	39.631	3.30	
Total	15	2064.000		

### **5.9 Peso-longitud**

En *A. rectangula* en el grupo testigo pudo observarse una tendencia positiva en cuanto al peso de los organismos y su longitud corporal pues el peso va en relación a la longitud del organismos, es decir, a mayor peso mayor longitud y de la misma manera se presenta esta tendencia en la condición de agua "B"; en las condiciones de agua "A" y "C" los organismos no sobrevivieron mas de 8 días (Fig.9). En *C. dubia* en el grupo testigo a pesar de que no está realizado estadísticamente se observó una tendencia de crecimiento del organismo en relación al peso corporal al igual que en la condición de agua "B", para la condición de agua "A" se observó una relación paralela de peso y longitud, en cambio en el agua "C" se observó una tendencia de crecimiento de tamaño en relación al peso corporal (Fig.10). *M. macrocopa* en el grupo testigo y la condición de agua "C" tuvo una relación de crecimiento en relación al aumento de peso, en cambio en las condiciones de agua "A" y "B" la relación no fue positiva pues los organismos no crecieron en relación al aumento de peso corporal, esto acentuado mas en la condición de agua "B" (Fig.11). *D. pulex* en la condición testigo, en el agua "B" y agua "C" los organismos conforme aumentaban de peso, aumentaban de longitud corporal, mientras que en la condición de agua "A" los organismos no sobrevivieron ni 8 días (Fig.12).

## *Alona rectangularis*



**Figura 9.** Comparaciones estadísticas de peso-longitud de la especie *Alona rectangularis*. Favor de observar la escala de "x".

## *Ceriodaphnia dubia*

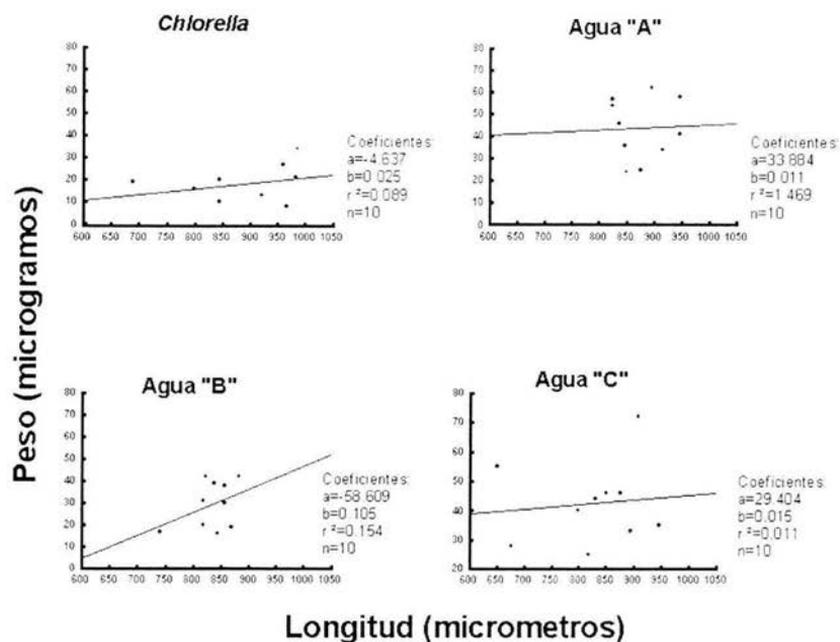


Figura 10 Comparaciones estadísticas peso-longitud de la especie *Ceriodaphnia dubia*.

## *Moina macrocopa*

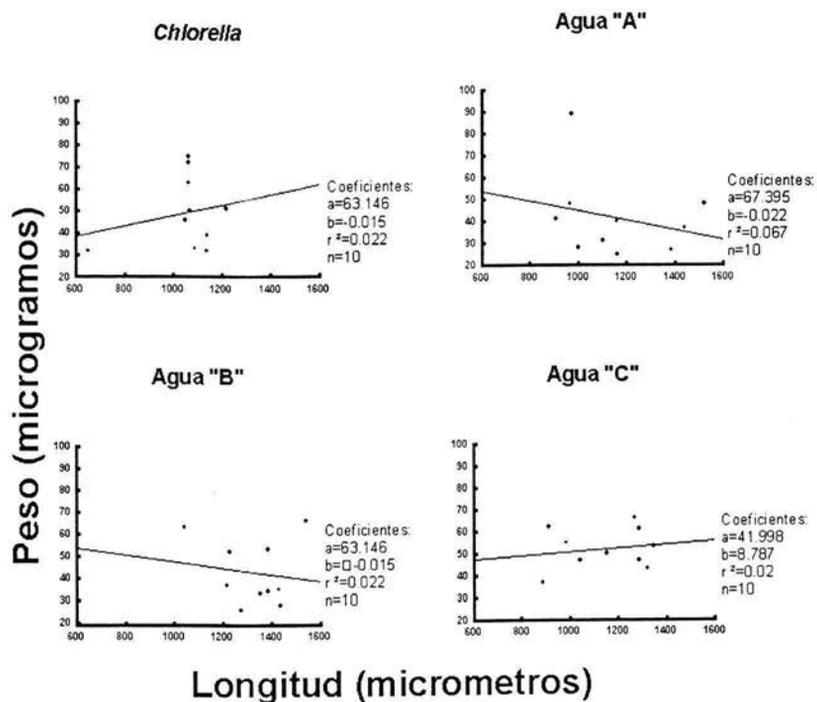


Figura 11. Comparaciones estadísticas peso-longitud de la especie *Moina macrocopa*, solamente en las condiciones en las que la sobrevivencia fue de 8 días o más.

## *Daphnia pulex*

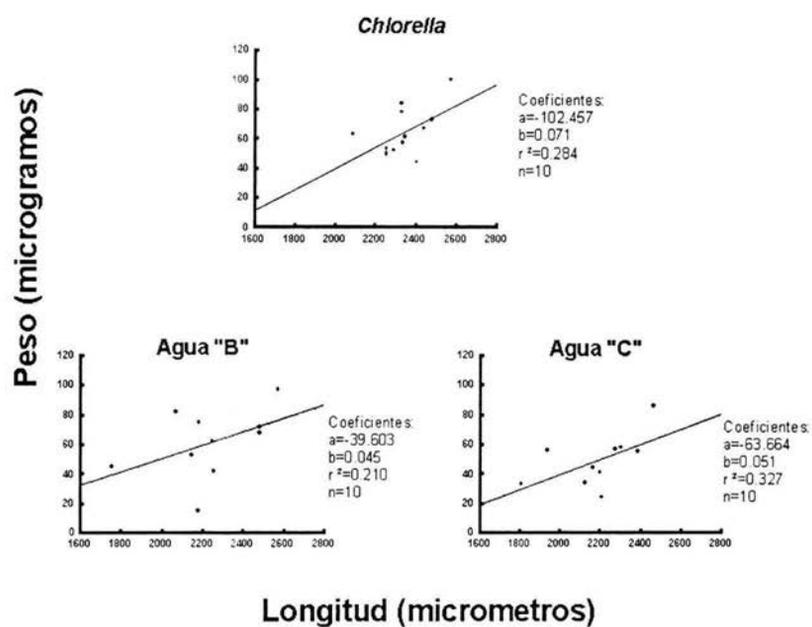


Figura 12. Comparaciones estadísticas peso-longitud de la especie *Daphnia pulex*.

### 5.10 Sólidos suspendidos comestibles

Esta técnica se llevó a cabo para conocer cual de las tres condiciones en las que se encuentra el agua residual, resultó tener mayor cantidad de sólidos suspendidos comestibles. Se pudo observar que de las tres condiciones de agua residual con distinto grado de tratamiento, fue el agua "B" ó del reactor biológico la que presentó mas concentración de sólidos suspendidos que pueden ser comestibles para este tipo de organismos zooplanctónicos, seguida por el agua "A" y por último por el agua "C" la cual tuvo un valor de solo 50 µg.

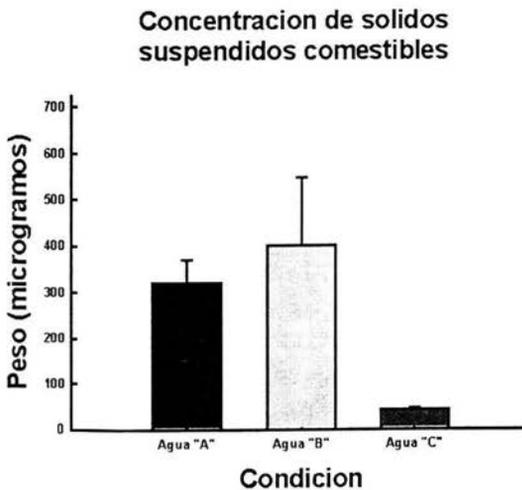


Figura 13. Concentración de solidos suspendidos comestibles (A=Agua cruda, B=Agua de reactor biológico, C=Agua tratada)

### 5.11 Parámetros fisicoquímicos

Se pudo observar que en los parámetros fisicoquímicos de Alcalinidad, Conductividad, pH y Temperatura, los valores en los tres tipos de agua, no tuvieron diferencias drásticas, aunque en la Dureza al calcio y Dureza total las diferencias si fueron un mas notorias (Tabla 2). El parámetro que tuvo mayores diferencias entre los tres tipos de agua, fue la Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), en donde el agua cruda (A) tuvo la mayor carga de materia orgánica por litro de agua, seguida por el agua del reactor biológico (B). Finalmente se encontró el agua de salida (C) la cual como se esperaba, fue la que tuvo menos carga orgánica pues es el agua que ya pasó por un estado de depuración y por lo tanto es debe encontrarse mas limpia que al entrar (A). No obstante como se pudo observar, aunque el agua tipo "A" fue la que mas materia orgánica tuvo, no significa que sea la que contenga mas alimento disponible para organismos como los cladóceros, pues como se pudo saber, el agua del reactor biológico (B) (figura 13) es la que resultó tener la mayor concentración de sólidos suspendidos comestibles. El Oxígeno disuelto no se pudo detectar mediante la técnica de Winkler´s pues debido al procedimiento de esta, no resultó posible hacerlo.

**Tabla 2.** Valores fisicoquímicos de las aguas cruda, de reactor biológico y tratada.

Parámetro	Agua cruda	Agua de reactor biológico	Agua tratada
<b>Alcalinidad</b>	288.5mg/l de CaCO <sub>3</sub> (255 - 320)	288.255mg/l de CaCO <sub>3</sub> (266 - 304)	295.75 mg/l de CaCO <sub>3</sub> (266 - 314)
<b>Conductividad</b>	0.86ms (0.65-1.07)	0.88ms (0.68-1)	0.88ms (0.65-1.04)
<b>Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	213.78mg/l de m.o. (182.12 - 244.74)	171.43mg/l de m.o. (98.65 - 273.19)	46.44mg/l de m.o. (34.65 - 60.71)
<b>Dureza al Calcio</b>	99.93mg/l de dureza como CaCO <sub>3</sub> (96.75 - 105.35)	97.39mg/l de dureza como CaCO <sub>3</sub> (75.66 - 107.5)	118.745 mg/l de dureza como CaCO <sub>3</sub> (100.88 - 146.2)
<b>Dureza total</b>	205.345 mg/l de dureza como CaCO <sub>3</sub> (129 - 253.7)	227.225 mg/l de dureza como CaCO <sub>3</sub> (182.75 - 270.9)	221.81 mg/l de dureza como CaCO <sub>3</sub> (208.55 - 227.9)
<b>PH</b>	6.97 (6.73 - 7.23)	7.07 (6.69 - 7.62)	7.02 (6.55 - 7.57)
<b>Temperatura</b>	19.75°C (19 - 20)	20.5°C (20 - 21)	19.75°C (19 - 20).

## 6. DISCUSIÓN

En el presente estudio se pudo observar que de las 4 especies de cladóceros utilizadas aunque respondieron de diferente forma a cada condición, todas tuvieron en común que su sobrevivencia en la condición de *Chlorella* (testigo) fue mayor pues se utilizó una concentración que por estudios anteriores se sabe que es apta para la sobrevivencia y desarrollo de estas especies ( $1 \times 10^6$  cel.ml) (Nandini & Sarma, 2000), con excepción de la especie *M. macrocopa* la cual tuvo su menor sobrevivencia en esta condición. De hecho en el trabajo de Nandini (1999) se encontró que ciertos géneros de cladóceros en común, con los que se llevó a cabo el presente estudio, se encontraron en una laguna de estabilización de aguas de desecho de manera natural en los últimos tanques, es decir donde el agua ya se encontraba con más fitoplancton y oxígeno disuelto, en cambio en los primeros tanques donde hay más materia orgánica, se encontraron menos cladóceros. En la condición de agua "A" solo las especies *C. dubia* y *M. macrocopa* lograron sobrevivir y aunque no todas las especies responden de la misma manera, puede haber especies que si toleren más carga orgánica en el medio; inclusive en estudios anteriores se observó una respuesta similar, donde miembros del género *Daphnia* a altas concentraciones de alimento declinaba sus sobrevivencia (Nandini *et al.*, 2000) pues entre mayor sea la concentración de alimento, es mayor el esfuerzo, ya que el organismo puede perecer por el hecho de gastar mas energía en la limpieza de sus miembros torácicos, de la que adquiere al consumir el alimento (Porter *et al.*, 1982).

En el agua "B" todas las especies lograron sobrevivir (Figura 1) (Anexo 2,3,4,5) y como se pudo observar, este tipo de agua fue la que tuvo la mayor cantidad de sólidos suspendidos comestibles (figura13) con lo que se confirma que los organismos en este tipo de aguas encontraron suficientes nutrientes que les permitieron sobrevivir. *M. macrocopa* en la condición de agua "C" tuvo un comportamiento de sobrevivencia particular que indicó que los organismos en sus primeros días de vida son incapaces de sobrevivir en el agua "C" y es hasta que ya crecen que pueden tolerar estas condiciones, por lo que se puede sugerir que si el

objetivo es cultivar en este tipo de agua "C" a la especie *M. macrocopa*, no es conveniente poner organismos con pocos días de nacimiento ya que no sobreviven ni pueden contribuir a la depuración de estas aguas.

Así mismo, solo la especie *M. macrocopa* tuvo una fecundidad alta en la condición de agua "A" mientras que las otras especies la tuvieron casi nula. En estudios anteriores de tablas de vida con estas especies, se ha sugerido que miembros del género *Moina* están adaptadas a aguas fangosas, mientras que *Ceriodaphnia* y *Daphnia* no lo están (Dodson, 1985). Sin embargo la especie *C. dubia* si logró tener una fecundidad positiva en las cuatro condiciones, no así la especie *D. pulex* la cual no tuvo ningún valor en la fecundidad para las condiciones de agua "A" y "C". *A. rectangula* y *D. pulex* tuvieron una reproducción neta nula en la condición de agua "A" razón por la cual su tiempo generacional fue casi de cero; en cambio la especie *M. macrocopa* tuvo su más alta reproducción neta superando incluso a *Chlorella* en esta condición lo que significa que esta especie tiene la capacidad de metabolizar una gran cantidad de materia orgánica de los desechos domésticos e industriales (De Pauw *et al.*, 1981, Balasubramanian & Kasturi, 1994), los cuales utilizó como recurso alimenticio. En este estudio pudimos observar que la especie *M. macrocopa* tuvo su primera edad de reproducción a las 24 horas tanto para la condición de *Chlorella* como para la condición de agua "A" hecho que ha sido atribuido a su rápido rango de madurez (Romanovsky, 1985). Sin embargo la fecundidad en el agua "A" alcanzó el máximo valor de 20 neonatos; en cambio con *Chlorella* llegó a los 10 neonatos, por lo tanto en la reproducción bruta y en la reproducción neta los valores para la condición de agua "A" fueron mayores. En el agua "B" se presentó la primera edad de reproducción un poco antes que en la condición de agua "C" pero los valores de reproducción bruta fueron casi iguales en ambas (figura 5). Sin embargo esta diferencia de horas en su primera edad de reproducción, al parecer sí se vio afectada en la reproducción neta, la cual fue más alta en la condición de agua "B" que en la de agua "C" (figura 6). *C. dubia* tuvo su primera edad de reproducción en el agua "B" en el día 8 y en el agua "C" fue casi en el día 6; y aunque la reproducción bruta de ambas es muy similar, la reproducción neta sí

presentó diferencias pues fue mayor en el agua "C" debido a la diferencia de tiempo en la primera edad de reproducción.

Para la especie *D. pulex* los valores reproductivos fueron negativos en agua "A", "B" y "C", y aunque en estudios previos se ha observado que los *Daphnidos* tienen la capacidad de alimentarse de otros recursos como bacterias, protozoarios (Sanders et al., 1989) y detritus (Uhlmann, 1954) los cuales son abundantes en las plantas de estabilización (Patil et al., 1975), en el presente trabajo los resultados mostraron que no todas las especies del género *Daphnia* tienen la misma capacidad de tolerar las aguas residuales. Se puede sugerir que la especie *D. pulex* no es una especie adecuada para cultivar en este tipo de aguas, independientemente del grado de tratamiento. En el estudio llevado a cabo en una serie de estanques de estabilización de aguas del río Yamuna de Nueva Delhi India (Nandini, 2000), se tomaron muestras de esta planta en distintas épocas del año y se encontraron organismos zooplanctónicos como rotíferos, copépodos y cladóceros de los cuales se observaron entre otros géneros, miembros del género *Ceriodaphnia*, *Daphnia* y *Moina* en este tipo de aguas, lo que nos sugiere que hay especies que sí suelen estar presentes en este tipo de aguas, pues tienen la capacidad de crecer eficientemente en ellas. *D. pulex* podría probablemente utilizar este tipo de aguas más eficientemente si éstas fueran diluidas con alga como ha sido mostrado en otras especies de zooplancton por Arévalo Stevenson et al. (1998).

En estudios previos de *A. rectangula* donde se le ha administrado como alimento *Chlorella* se sabe que siempre ha mantenido un crecimiento por debajo de 0.34 (Muro-Cruz et al., 2001), y en el presente este estudio se pudo observar que se adaptó bien al tipo de agua "B" pues su crecimiento fue de 0.26 y fue superado solo por la condición testigo que tuvo un valor de 0.28. Además esta especie tuvo una sobrevivencia, fecundidad y reproducción neta que se mantuvieron similares a la condición de *Chlorella* y aunque no las superó, se puede decir que en el tipo de agua en el que se puede cultivar es en el agua "B". Su tasa intrínseca de crecimiento también fue positiva solamente en la condición de *Chlorella* y agua "B" y aunque son pocos estudios realizados con este género, se sabe que algunos

miembros de *Chydoridae* son capaces de crecer con partículas de materia orgánica (Robertson, 1990) por lo tanto para esta especie la cantidad de nutrientes adecuados para que pueda crecer, se encuentran en este tipo de agua "B", ó en *Chlorella* (Muro-Cruz *et al.*, 2001). El mismo hecho se observó en el trabajo realizado por Aguilera-Lara (2001) en el cual observó que *A. rectangula* también tuvo una densidad poblacional superior en el agua de reactor biológico que en el agua "A" ó "C" y la cual fue además similar a la de *Chlorella vulgaris*. En cambio, la especie *C. dubia* tuvo una tasa intrínseca de crecimiento positiva en las 4 condiciones por lo tanto se puede decir que es una especie que se aclimató bien a este tipo de aguas al igual que *M. macrocopa* aunque esta última se aclimató mejor a mayor carga orgánica que las otras especies. Otros estudios se han llevado a cabo con otras dietas y a diferentes concentraciones con estas especies (Anexo 1) y se ha observado que sí pueden adaptarse a distintos tipos de dietas aunque siempre el valor de "r" para *C. dubia* y *A. rectangula* se ha mostrado mayor cuando las concentraciones no son las más altas, es por eso que quizá en el presente trabajo el valor de "r" no fue más alto en el agua "A" (Anexo 2 y 3), pues para estas especies a altas concentraciones de materia orgánica, generalmente la alimentación y la conversión eficiente, decrece (Downing & Rigler, 1984).

En el presente estudio se pudo observar que la especie que tuvo el valor de "r" más alto (1.2750), fue *M. macrocopa* (Anexo 4). *D. pulex* solamente tuvo un valor de "r" positivo en la condición de *Chlorella* ya que en las condiciones experimentales este valor fue negativo pues tampoco tuvo una sobrevivencia, ni reproducción altos; valores similares se presentaron en el trabajo de crecimiento poblacional de estas mismas especies en donde *D. pulex* fue la especie que menos densidad poblacional tuvo (Aguilera-Lara, 2001) .

La tasa intrínseca de crecimiento obtenida para las especies *C. dubia* y *M. macrocopa* se presentó más alta en todas las condiciones en comparación con las otras especies, con lo que se pudo confirmar el hecho de que los desperdicios de aguas residuales sí pueden utilizarse para la producción de zooplancton (Sreenivasan, 1980; Roche,1998). *M. macrocopa* tuvo tasas más altas que *C. dubia*,

respuesta similar se pudo observar en el estudio realizado con diferentes especies de cladóceros a diferentes concentraciones de alimento (*Chlorella vulgaris*), en donde también la especie *M. macrocopa* presentó los valores de "r" más altos (0.602), en comparación con otras especies de cladóceros, entre ellos un miembro del género *Ceriodaphnia* (0.167) (Nandini & Sarma, 2000). Para *A. rectangula* los valores fueron nulos en el agua "A" y "C" y en el grupo testigo fueron similares a los obtenidos por (Muro-Cruz *et al*; 2001) con la misma alga.

De hecho en el agua "B" las 4 especies tuvieron un valor de "r" positivo, lo que indica que este tipo de agua fue el más apto en cuanto al contenido alimenticio (figura 13); en cambio el agua "A" aunque tiene una gran carga de materia orgánica, no es la más apta, pues no todos los elementos que se encuentran en ella son disponibles como alimento para organismos como los cladóceros (figura 13) ya que factores fisicoquímicos como el oxígeno disponible pueden interferir para su adaptación; respuesta similar se pudo ver en el trabajo de Arévalo Stevenson *et al*, (1998) en donde observó que algunas especies de organismos zooplanctónicos como los rotíferos a concentraciones de alimento muy altas, no pudieron mantener por muchos días su población. El agua "C" definitivamente no resultó tener una cantidad apropiada de sólidos comestibles (figura 13), quizá porque este tipo de agua se encuentra en la etapa casi final (previa a la cloración que es la última) de tratamiento y tiene menor cantidad de alimento disponible para los organismos. En este caso estos resultados confirmaron que las condiciones globales alimenticias en *Chlorella* para las 4 especies fueron similares. En la condición de agua "A" solo la especie *C. dubia* tuvo una relación en la que se mantuvo el tamaño con el peso, en el agua "B" *C. dubia* y *D. pulex* tuvieron una relación positiva de crecimiento y peso y en el agua "C" a excepción de *A. rectangula* la relación fue positiva por lo que se puede decir que en ellas el crecimiento de los organismos tuvo relación de acuerdo al peso; estudios similares con *Daphnidos* (Cauchie *et al.*, 2000) tanto *in situ* como en el laboratorio mostraron que a pesar de diferencias ambientales, estos organismos mantuvieron similares sus relaciones de peso y longitud.

## 7.CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

- *Alona rectangulara* no fue capaz de sobrevivir en el agua cruda, pero sí en el agua del reactor biológico y en la tratada; se puede decir que es una especie que puede aprovechar este tipo de aguas y crecer en ellas.
- *Ceriodaphnia dubia* resultó ser una especie que puede aprovechar las aguas residuales en cualquier grado de tratamiento de tal forma que pueda sobrevivir y reproducirse bien.
- *Moina macrocopa* al igual que la anterior también puede sobrevivir en las 3 condiciones de aguas residuales y además a diferencia de las otras, resultó ser la especie con mayor adaptación a una mayor carga de materia orgánica como la que tiene el agua "A".
- *Daphnia pulex* no resultó ser una especie adecuada para cultivar en estos tipos de aguas pues no tuvo ni sobrevivencia ni tasa de crecimiento intrínseco positiva que indique que se puedan reproducir organismos de esta especie en estos tipos de aguas.
- Debido a que en las plantas de tratamiento las aguas residuales no tienen un uso previo al proceso total de tratamiento, estas pueden reutilizarse al cultivar los organismos zooplanctónicos como algunas especies de cladóceros.
- Al cultivar estas especies en este tipo de aguas, estos organismos pueden participar de forma activa en la depuración de este tipo de aguas al disminuir su carga de materia orgánica ya que su alimentación se basa en bacterias, algas y detritus.
- Al poder cultivarse estas especies en aguas residuales, estas especies de cladóceros pueden posteriormente ser utilizados en acuicultura como alimento para larvas de peces comestibles y peces de ornato sin que esto requiera una gran inversión monetaria, sobre todo en países donde los recursos económicos son bajos aunque para este último propósito se requiera realizar mas estudios para que estos peces estén libres de patógenos, así como aumentar la calidad nutricional.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Aguilera-Lara, D. 2000. Dinámica poblacional de cuatro especies seleccionadas de cladóceros (Cladóceros:Crustacea) realizada en aguas residuales urbanas parcialmente tratadas. Tesis Biol.en preparación. FES-I UNAM. México.
- Anónimo. 1990. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. Manual de tratamiento de Aguas Negras. Limusa. Noriega.
- Anónimo. 1985. Methods of measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. U.S. Environment Protection Agency, EPA/600/4-85/013.
- Arévalo-Stevenson. R.A., Sarma, S.S.S., Nandini, S. 1998. Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera:Brachionidae) in waste water from food-processing industry in México. Rev Biol. Trop. 43(6):595-600.
- Balasubramanian, P.R. & Kasturi, B.R. 1994. Utilization of anaerobically dgested cattle during slurry for the culture of zooplankton. *Daphnia similes* Claus (Crustacea:Cladocera). Asian Fisheries Science.7:67-76.
- Barnés R. 1985. Zoología de los invertebrados. Editorial Interamericana Mc Graw-Hill.
- Borowitzka, M.A. & Borowitzka, L.J. 1988. Micro-algal biotechnology. 1-480. (Cambridge University Press, London).
- Carpenter, S.R., Kitchell, J.F. & Hodgson, J.R. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. BioScience. 35:634-639.
- Cauchie, H.M., Thys, I., Hoffmann, L., Thome, J.P. 2000. *In situ* laboratory estimations of length-weight regression and growth rate of *Daphnia magna* (Branchiopoda, Anomopoda) from and aerated waste stabilization pond. Hidrobiología. 421:47-59.
- Cauchie, H.M., Hoffmann, H., Thome, J.P. 2000. Metazooplankton dynamics and secondary production of *Daphnia magna* (Crustacea) in aerated waste stabilization pond. In press.
- Cross, P., Strauss, M. (1985). Utilization of escreta in agriculture and aquaculture. Part I: Existing practices and beliefs. Part II: Pathogen survival. Centro Internacional de Referencia para la Gestión de Desechos, Duebendorf, Suiza.

- Daborn, G.R., Hayward J.A. & Quinney, T.E. 1978. Studies on *Daphnia pulex*, Leydig in sewage oxidation ponds. Can. J. Zool. 56:1392-1401.
- De la Fuente, F.J. 1994. Zoología de los Artrópodos. Editorial Interamericana. 1ª edición. Mc Graw-Hill.
- De Pauw, N., Laureys, P., Morales, J. 1981. Mass cultivation of *Daphnia magna*. Straus on ricebran. Aquaculture. 25:141-152.
- De Pauw, N & Persoone, G. 1988. Micro-algae for aquaculture. En, Borowitzka M.A. y Borowitzka L.J. (eds). Micro-algal biotechnology. Cambridge University Press, London. pp 197-221
- Dodson, S.I. 1985. *Daphnia (Cetodaphnia) brooksi* (Crustacea:Cladocera), a new species from eastern Utah. Hydrobiologia.126:75-79.
- Dodson, S.I., Frey, D.G. 1991. Cladocera and other *Branchiopoda*. Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates. Thorp, H.J., Covich, P.A. editors. Academic Press, Inc. USA.
- Downing, J.A. & Rigler, F.H. 1984. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters. Blackwell Scientific. Oxford. p.501
- Gray, N.F. 1989. Biology of wastewater treatment. Oxford Science publications. Oxford University press. USA.14pp.
- Hama, T.O. & Miyachi, S. 1988. *Chlorella* En Borowitzka, M.A. & Borowitzka, L.J. (eds). Micro-algal biotechnology. Cambridge University Press. London. Inglaterra.48:145-159.
- Hernández, G.H., Fardeau, M.L., Patel, B.K.C., Macarie H., Garcia, J.L., Ollivier B. 2000. *Desulfovibrio mexicanus* sp. Nov., a Sulfate-reducing Bacterium Isolated from an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor Treating Cheese Wastewaters. Anaerobe. 6:305-312.
- Hobbie, J.E., Daley, R., Jasper, S. 1977. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. Applied and Environmental Microbiology. 33:1225-1228.
- Korpelainen, H. 1986. The effects of temperature and photoperiod on life history parameters of *Daphnia magna* (Crustacea: Cladocera). Freshwater. Biol. 16:615-620.
- Laws, E. 1993. Aquatic Pollution. John Wiley and Sons. Inc (eds) 2ª edición.125-147 pp.

- Mara, D.D., Alabaster, G.P., Pearson, H.W., & Mills, S.W. 1992. Waste stabilization ponds. A design manual for Eastern Africa. Lagoon Technology International Ltd., Leeds, England:121 pp.
- Maskew, G.F., Charles, J.G., Alexander, D.O. 1993. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Grupo Noriega editores. Limusa.
- Metcalf & Eddy Inc. 1985. Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 2ª edición. Editorial Labor S.A.
- Middlebrooks, E.J., Middlebrooks, C.H., Reynolds, J.H., Watters, G.Z., Reed, S.C. & George., D.B. 1982. Wastewater stabilization lagoon design, performance and upgrading. McMillan Publishing Co., New York, USA. 356pp.
- Mitchell B.D. & Williams W.D. 1982. Factors influencing the seasonal occurrence and abundance of the zooplankton in two waste stabilization ponds. Aust. J. Mar. Freshwater . Res. 33:989-997.
- Muro-Cruz, G., Nandini, S., 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. Accepted for publication in Journal of Freshwater Ecology 2001.
- Myrand, B. & De la Noue, J. 1982. Croissance individuelle et dynamique de population de *Daphnia magna* en culture dans les eaux uses traitees. Hydrobiología. 97:167-177.
- Nandini, S. 1999. Variations in physical and chemical parameters and plankton community structure in a series of sewage-stabilization ponds. Rev. Biol. Trop. 47 (Supl 1): 149-156.
- Nandini, S & Sarma, S.S.S. 2000. Lifetable demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. Hydrobiologia 435:117-126.
- Nandini, S., Sarma, S.S.S., Ramírez-García P. 2000. Life table demography and population growth of *Daphnia laevis* (Cladocera, Anomopoda) under different densities of *Chlorella vulgaris* and *Microcystis aeruginosa*. Crustaceana 73(10):1273-1286.
- Nandini, S & Sarma, S.S.S. 2001. Competition between *Moina macrocopa* and *Ceriodaphnia dubia*: a life table demography study. Accepted for publication in International Rev. Hydrobiology 2001.

- Nauwerck, A. 1963. Die Beziehungen Zwischen Zooplankton and Phytoplankton in See Erken. Symbolae Botanicae Upsalienses. 17.
- Patil, H.S., Dodakundi, G.B., Rodgi, S.S. 1975. Sucesión in zoo-and phytoplankton in a sewage stabilization pond. Hydrobiologia 47:253-264.
- Pedroza, R. 1985. Estudio de la degradación biológica de los efluentes de la nixtamalización. Tesis de maestría. Universidad Iberoamericana. México D.F. México. p75.
- Pennak, R.W. 1978. Fresh-water invertebrates of the USA. 2<sup>ª</sup> edition. USA.
- Pianka, E.R. 1988. Evolutionary ecology. Harper and Row Publishers Inc. 468pp.
- Porter, K.G., Pace, M.L., Battey, J.F. 1979. Ciliate protozoans as links in freshwater planktonic food webs. Nature. 277:563-565.
- Porter, K.G., Gerritsen, J., Orcutt, J.D.Jr. 1982. The effect of food concentration on swimming patterns, feeding behaviour, ingestion, assimilation and respiration by *Daphnia*. Limnol. Oceanography. 27:935-949.
- Reed, S.C., Crites, R.W. & Middlebrooks, E.J. 1995. Natural systems for waste management and treatment. Mc Graw.Hill International, London, U.K.448pp.
- Robertson, A.L. 1990. Population dynamics of Chydoridae and Macrothricidae (Cladocera: Crustacea) from the River Thames, U.K. Freshwater Biol. 24:375-389.
- Rocha, O. 1983. The influence of food-temperature combinations on the duration of development, body size, growth and fecundity of *Daphnia* species. Doctoral thesis. University of London.
- Roche K F. 1995. Growth the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas in dairy waste stabilization ponds. Wat. Res. Vol. 29. No. 10. 2255-2260.
- Roche K F. 1998. Growth potential of *Daphnia magna* Straus in the water of dairy waste stabilization ponds. Wat Res. Vol. 32 No.4.
- Romanovsky, Y.E. 1985. Food limitation and life history strategies in cladoceran crustaceans. Ergebn. Limnol. 21:363-372.
- Sanders, R.W., Porter, K.G., Bennett, S.J., De Biase, A.E. 1989. Seasonal patterns of bacterivory by flagellates, ciliates, rotifers and cladocerans in a freshwater planktonic community. Limnol. Oceanography 34:673-687.

- Séller, W. & Muller, H. 1985. Seasonal variability in the relationship between body length individual dry weight as related to food abundance and clutch size in two coexisting *Daphnia* species. J. Plankton Res. 7:1-18.
- Seoanez, C.M. 1995. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Colección Ingeniería medioambiental. Ediciones Mundi-prensa. Madrid- España.
- Shapiro, J. 1980. The importance of trophic-level interactions to the abundance and species composition of algae. In Barica, J. and Mur, L.R. (eds), Hypereutrophic Ecosystems. Dr W.Junk Publishing Co., The Hague, Netherlands, pp.105-115.
- Sreenivasan, A. 1980. Fish production in some hypertrophic ecosystems in South India. Barica, J., and Mun, L.R. (eds) Hypertrophic ecosystems. Developments in Hydrobiology. Vol.2 Junk Publishers. The Netherlands. pp 271-277.
- Stockner, J.G. & Porter, K.G. 1988. Microbial food webs in freshwater planktonic ecosystems. In Carpenter, S.R. (ed), *Complex Interactions in Lake Communities*. Springer-Verlag. New York 69-83.
- Tezuka, S.T. 1971. The midsummer dynamics of two *Daphnia* species in Wintergreen Lake. Michigan. Ecology. 60:165-179.
- Uhlmann, D. 1954. Zur Kenntnis der natürlichen Nahrung von *Daphnia magna* und *Daphnia pulex*. Z. Fischerei Hilfswiss. N.F 3:449-478.
- Vega-Quintero, S.M. 1996. Caracterización y análisis bromatológico de una cepa monoalgal: *Chlorella vulgaris* Beijerinck colectada de la atmósfera con posible uso en la acuicultura. Tesis Biol.. ENEP-I UNAM. México.46pp.
- Wetzel, R., Likens, G. 1979. Limnological analyses. W.B. Saunders Company, E.U. 168-169pp.
- [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)
- [www.cepis-ops-oms.org](http://www.cepis-ops-oms.org)

## 9. ANEXOS

Anexo 1. Tabla comparativa de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional de diferentes trabajo relacionados con las densidad y tipo de alimento.

Anexo 2. Tabla de vida de la especie *A. rectangula* en las cuatro condiciones.

Anexo 3. Tabla de vida de la especie *C. dubia* en las cuatro condiciones.

Anexo 4. Tabla de vida de la especie *M. macrocopa* en las cuatro condiciones.

Anexo 4. Tabla de vida de la especie *D. pulex* en las cuatro condiciones.

## Anexo 1

**Tabla 1.** Tabla comparativa de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional de diferentes trabajo relacionados con las densidad y tipo de alimento (para datos del presente trabajo ver también Anexo 7)

Taxa	Autor	Variable	"r"
<i>Daphnia prvara</i>	Pace, M; et al. 1983.	Densidad alimenticia	
		1-μm filtrado (OMF)	
		invierno	-----
		primavera	-0.046
		verano	-0.013
		Agua de lago (LW)	
		Invierno	0.086
		primavera	0.235
		verano	0.335
		Agua de lago enriquecida	
		Invierno	0.122
		Primavera	0.365
		Verano	0.377
<i>Daphnia ambigua</i>	American Society of Limnology and Oceanography, Inc. 1990	<i>Chilomonas, sp</i>	----
		<i>Ankistrodesmus</i>	0.28
		<i>falcatus</i>	0.385
		<i>A. falcatus + Chlorella vulgaris</i>	

<b><i>Moina macrocopa</i></b>	Nandini;Sarma,2000	<i>Chlorella</i>	
		0.5x10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup>	0.602
		1.5x10 <sup>6</sup>	0.546
<b><i>Moina macrocopa</i></b>	Presente trabajo	<i>Chlorella</i>	1.2750
		Agua "A"	1.5575
		Agua "B"	1.0385
		Agua "C"	0.5010
<b><i>Pleuroxus aduncus</i></b>	Nandini;Sarma,2000	<i>Chlorella</i>	
		0.5x10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup>	0.149
		1.5x10 <sup>6</sup>	0.1239
		4.5X10 <sup>6</sup>	-0.091
<b><i>Simocephalus vetulus</i></b>	Nandini;Sarma,2000	<i>Chlorella</i>	
		0.5x10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup>	0.279
		1.5x10 <sup>6</sup>	0.122
		4.5X10 <sup>6</sup>	0.155
<b><i>Daphnia magna</i></b>	Cauchie, et al. 2000	Agua efluente de origen doméstico ( <i>in situ</i> )	0.960 (r <sup>2</sup> )
		Fase de mas algas, primavera (a)	0.964
		Fase de agua clara (b)	0.984
		Verano ©	0.990
		Otoño tardío (d)	0.964
		Agua fría (e)	
		Cultivos de laboratorio (misma temperatura que <i>in situ</i> , alimento de <i>D.ehrenbergianum</i> y carbón a 6mg C1 <sup>-1</sup> )	0.979
		(a)	0.952
		(b)	0.969
		©	0.965
(d)	0.964		
<b><i>Daphnia pulex</i></b>	Presente trabajo	<i>Chlorella</i>	0.2363
		Agua "A"	0.0000
		Agua "B"	0.0689
		Agua "C"	0.2375
<b><i>Ceriodaphnia cornuta</i></b>	Nandini; Sarma;2000	0.5X10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup>	0.167
		1.5x10 <sup>6</sup>	0.234

		4.5x10 <sup>6</sup>	0.246
<b><i>Moina macrocopa</i></b>	Nandini; Sarma;2000	0.5X10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup> 1.5x10 <sup>6</sup> 4.5x10 <sup>6</sup>	0.602 0.546 0.539
<b><i>Pleuroxus aduncus</i></b>	Nandini; Sarma;2000	0.5X10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup> 1.5x10 <sup>6</sup> 4.5x10 <sup>6</sup>	0.149 0.1239 -0.091
<b><i>Simocephalus vetulus</i></b>	Nandini; Sarma;2000	0.5X10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup> 1.5x10 <sup>6</sup> 4.5x10 <sup>6</sup>	0.279 0.122 0.155
<b><i>Alona rectangularis</i></b>	Muro-Cruz, Nandini; 2001	0.5X10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup> 2x10 <sup>6</sup>	0.34 0.31
<b><i>Macrothrix triserialis</i></b>	Muro-Cruz, Nandini; 2001	0.5X10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup> 2x10 <sup>6</sup>	0.25 0.26
<b><i>Ceriodaphnia dubia</i></b>	Presente trabajo	<i>Chlorella</i> <i>Agua "A"</i> <i>Agua "B"</i> <i>Agua "C"</i>	0.6872 0.2690 0.5093 0.5053
<b><i>Ceriodaphnia dubia</i> (control)</b>	Nandini;Sarma,2001	<i>Chlorella</i> 0.5x10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup> 1.5x10 <sup>6</sup>	1.42 0.30
<b><i>Ceriodaphnia dubia y</i> <i>Moina macrocopa</i></b>	Nandini;Sarma,2001	0.5x10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup> 1.5x10 <sup>6</sup>	1.15 0.48
<b><i>Moina Macrocopa</i> (control)</b>	Nandini;Sarma,2001	0.5x10 <sup>6</sup> cel.ml <sup>2</sup> 1.5x10 <sup>6</sup>	4.30 4.11

## Anexo 2

Tabla de vida de *A. rectangula* en la condición de *Chlorella*.

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.5242	7.5125±0.5238	30.6775±3.1721	14.0250±1.2072	0.2878±0.0101
1.8250±0.0854	0.0000±0.2500	7.2280±0.6458			
1.6000±0.1581	0.1462±0.7071	7.4005±1.1587			
1.3250±0.0479	0.9728±0.7638	7.5511±0.9395			
1.2250±0.0629	0.5682±0.3333	7.1461±1.0273			
1.0250±0.0854	1.7977±0.4410	7.4701±1.1011			
0.9250±0.1109	1.6879±0.0000	7.3909±1.3642			
0.7750±0.1315	1.5076±0.5000	8.2653±2.2639			
0.6750±0.1250	1.0435±0.2500	7.9548±1.9442			
0.6000±0.1291	1.7524±1.5000	8.5048±2.8785			
0.5500±0.1258	1.8056±1.0000	7.8333±2.7129			
0.4250±0.0479	1.2708±0.2500	8.3083±2.6554			
0.4000±0.0408	1.1292±0.0000	7.4708±2.5521			
0.3500±0.0289	1.8125±0.0000	7.2083±2.6197			
0.3500±0.0289	1.2083±0.0000	6.2083±2.6197			
0.2250±0.0750	3.8750±0.0000	6.8333±1.8105			
0.2250±0.0750	1.0417±0.0000	5.8333±1.8105			
0.2250±0.0750	1.5625±0.5242	4.8333±1.8105			
0.2000±0.0913	0.2500±0.2500	3.3333±1.9826			
0.1750±0.0750	1.0000±0.7071	3.2500±1.8813			
0.2000±0.0577	1.5000±0.7638	4.8889±2.4577			
0.1333±0.0667	0.3333±0.3333	4.8333±2.4552			
0.1333±0.0667	0.8333±0.4410	4.1667±2.1279			
0.1500±0.0500	1.0000±0.0000	7.7500±1.7500			
0.1500±0.0500	1.5000±0.5000	6.7500±1.7500			
0.1500±0.0500	0.2500±0.2500	5.7500±1.7500			
0.1500±0.0500	2.5000±1.5000	4.7500±1.7500			
0.1500±0.0500	1.0000±1.0000	3.7500±1.7500			
0.1500±0.0500	0.2500±0.2500	2.7500±1.7500			
0.1000±0.0000	2.0000±0.0000	2.0000±1.5000			
0.0500±0.0500	0.0000±0.0000	1.2500±1.2500			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	1.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *A. rectangula* en la condición de agua "A" (cruda).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	1.6375±0.1675	0.6875±0.6875	0.1250±0.1250	-0.2858±0.3156
1.3500±0.0866	0.0000±0.0000	1.1743±0.1992			
0.5500±0.1323	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			
0.2000±0.0816	0.1875±0.1875	0.9375±0.4130			
0.1667±0.1202	0.0000±0.0000	0.7500±0.4330			
0.1000±0.0000	1.0000±1.0000	0.5000±0.0000			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *A. rectangula* en la condición de agua "B" (reactor biológico).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	6.3375±0.7016	24.2925±3.2148	12.7000±2.5804	0.2665±0.0362
1.7000±0.0707	0.0000±0.0000	6.4199±0.9509			
1.3250±0.1436	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			
1.1750±0.1750	0.5560±0.2227	7.1346±1.1711			
1.1250±0.1652	0.8692±0.0999	6.3443±1.0608			
0.9250±0.1436	2.0959±0.2931	6.6478±1.3245			
0.8500±0.1848	1.5103±0.3280	6.4609±1.3952			
0.6500±0.1190	1.9167±0.3362	6.2917±0.6969			
0.6000±0.1472	1.3333±0.2041	6.0917±0.7725			
0.4750±0.1377	1.8333±0.0962	6.7292±0.4828			
0.4750±0.1377	1.5521±0.1811	5.7292±0.4828			
0.4750±0.1377	1.5104±0.2502	4.7292±0.4828			
0.4500±0.1190	1.6012±0.2189	3.8810±0.5082			
0.4250±0.1109	1.9143±0.0508	2.9893±0.4269			
0.4250±0.1109	1.6667±0.3333	1.9893±0.4269			
0.3250±0.0946	2.1250±0.3811	1.2917±0.3359			
0.1750±0.0854	1.0625±0.4828	0.6875±0.2772			
0.0500±0.0289	1.7500±1.4361	0.7500±0.5951			
0.0500±0.0500	1.5000±1.5000	0.7500±0.7500			
0.0500±0.0500	0.5000±0.5000	0.2500±0.2500			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *A. rectangula* en la condición de agua "C" (tratada).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	1.2875±0.1519	2.7500±2.7500	0.2750±0.2750	-0.0203±0.0203
1.2000±0.1581	0.0000±0.0000	0.8563±0.3160			
0.0750±0.0479	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			
0.0500±0.0500	0.0000±0.0000	5.7500±5.7500			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	10.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	5.0000±0.0000	9.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	1.0000±0.0000	8.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	2.0000±0.0000	7.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	6.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	5.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	4.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	2.0000±0.0000	3.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	1.0000±0.0000	2.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	1.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	0.5000±0.0000			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

### Anexo 3

Tabla de vida de *C. dubia* en la condición de *Chlorella*.

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	12.1625±1.1333	104.5025±5.7597	80.0500±5.7297	0.6872±0.0178
1.6500±0.1190	0.1795±0.0821	13.5694±0.6261			
1.5250±0.1109	1.8980±0.2774	13.6929±1.0134			
1.5000±0.0913	2.7993±0.3335	12.8719±0.9677			
1.4750±0.0750	2.7922±0.3987	12.0575±0.9542			
1.4500±0.0645	3.3898±0.2935	11.2690±1.0557			
1.4750±0.0750	3.7134±0.3318	10.0731±0.9604			
1.4000±0.0707	3.8964±0.5268	9.5554±0.9143			
1.4000±0.0707	4.7238±0.1199	8.5554±0.9143			
1.3750±0.0946	4.7894±0.3480	7.6785±0.7966			
1.3000±0.1080	4.0582±0.5739	7.0862±0.7538			
1.2500±0.1190	3.6322±0.5071	6.3417±0.7001			
1.2000±0.1354	4.8856±0.3666	5.5745±0.5881			
1.0000±0.1683	5.0197±0.9165	5.6871±0.3267			
0.9500±0.1555	3.1936±0.3328	4.9455±0.4122			
0.8250±0.1493	3.3409±0.2401	4.6484±0.3289			
0.7500±0.1190	3.5417±0.9208	4.0243±0.4605			
0.6500±0.1190	3.3304±0.7169	3.5982±0.4127			
0.5500±0.1555	4.9330±1.7030	3.8720±0.6087			
0.4250±0.1250	6.6036±2.1652	3.5429±0.3337			
0.3500±0.0866	2.0375±0.9045	2.9625±0.2173			
0.2500±0.0645	5.0833±1.1087	2.8958±0.4755			
0.1750±0.0479	8.4167±0.7120	2.8333±0.6236			
0.1500±0.0289	8.5000±1.0206	2.1250±0.6884			
0.0750±0.0250	1.2500±1.2500	2.1250±0.9437			
0.1000±1.075e <sup>-9</sup>	7.3333±3.7118	1.8333±0.8819			
0.0667±0.0333	3.3333±3.3333	1.0000±0.7638			
0.0500±0.0500	1.0000±1.0000	0.7500±0.7500			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	0.5000±0.0000			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *C. dubia* en la condición de agua "A" (cruda).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	6.1250±0.5673	9.8000±2.2075	7.5500±0.6035	0.2690±0.0177
1.6500±0.0957	0.1007±0.0660	6.2981±0.5052			
1.3000±0.1080	0.1286±0.0498	6.9495±0.7604			
1.2750±0.1109	0.0345±0.0200	6.0393±0.6768			
1.2250±0.1315	1.0440±0.2117	5.2226±0.5127			
1.2250±0.1315	3.9798±0.5398	4.2226±0.5127			
1.0500±0.1190	0.3934±0.0784	3.8162±0.5127			
0.7750±0.0629	0.0000±0.0000	3.9306±0.6188			
0.6250±0.1031	0.0000±0.0000	3.9250±0.9903			
0.5000±0.0913	0.0000±0.0000	3.7946±1.2262			
0.3500±0.0645	0.0000±0.0000	3.9125±1.2073			
0.3000±0.0707	0.0000±0.0000	3.1875±1.0674			
0.2500±0.0866	0.0833±0.0833	2.4792±0.9319			
0.2667±0.0882	1.1667±0.9280	3.4167±0.5833			
0.2333±0.0667	1.1111±0.6759	2.7222±0.6186			
0.2333±0.0667	3.1111±1.7356	1.7222±0.6186			
0.1000±0.0577	0.0000±0.0000	1.1667±0.6009			
0.1500±0.0500	0.0000±0.0000	0.7500±0.2500			
0.0500±0.0500	0.0000±0.0000	0.2500±0.2500			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *C. dubia* en la condición de agua "B" (reactor biológico).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	5.2536±0.9010	32.0275±4.5022	21.1750±3.9731	0.5093±0.0249
1.6750±0.0750	0.1194±0.0543	4.3664±0.7489			
1.5250±0.0629	1.4820±0.1880	5.4425±0.9334			
1.5000±0.0408	1.6485±0.2397	5.7543±0.9869			
1.3250±0.0854	2.0955±0.1818	6.0934±1.0450			
1.2500±0.0957	0.7837±0.1663	7.7342±1.3265			
1.0000±0.2121	0.5406±0.0757	10.4865±1.7985			
0.8750±0.1652	1.3043±0.3761	11.0287±1.8915			
0.6000±0.1826	1.8625±0.5757	4.4115±0.7566			
0.5750±0.1652	1.8403±0.4083	3.6076±0.6187			
0.5750±0.1652	1.8681±0.3924	3.6076±0.6187			
0.4500±0.1190	3.6190±0.7700	4.8228±0.8271			
0.4500±0.1190	1.9524±1.2639	4.8228±0.8271			
0.4250±0.1031	2.6250±0.7018	5.4307±0.9314			
0.4000±0.0913	1.1250±0.5154	5.1904±0.8902			
0.3750±0.0854	1.7917±0.9062	5.2088±0.8933			
0.3500±0.1041	2.7292±0.5827	4.4973±0.7713			
0.3000±0.1225	1.5417±0.8803	4.0556±0.6956			
0.3000±0.1000	2.2000±0.4163	2.9343±0.3000			
0.2667±0.0667	0.9167±0.9167	1.6301±0.1667			
0.2667±0.0667	0.8333±0.8333	1.6301±0.1667			
0.0667±0.0333	0.0000±0.0000	1.6301±0.1667			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *C. dubia* en la condición de agua "C" (tratada).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	11.0750±1.4597	34.0700±1.8527	28.5500±3.5305	0.5053±0.0399
1.6750±0.0750	0.1507±0.0202	11.9955±1.2510			
1.6250±0.0854	1.5008±0.3261	9.2467±3.1746			
1.4750±0.1315	1.3923±0.1042	11.4325±0.9799			
1.4250±0.1315	1.3557±0.0460	10.7834±0.8480			
1.2750±0.1031	1.1508±0.3090	11.0415±1.2844			
1.2750±0.1031	0.7946±0.1179	10.0415±1.2844			
1.2500±0.1190	1.3641±0.2331	9.2551±1.2464			
1.1500±0.1190	1.2572±0.2544	8.9164±0.9968			
1.0750±0.1315	0.6271±0.0652	8.5946±1.1298			
1.0000±0.1291	1.0140±0.1892	8.2249±1.1321			
1.0000±0.1581	2.1668±0.4387	7.1907±0.8794			
0.8500±0.1936	3.6942±1.6575	7.5821±0.3989			
0.8500±0.1848	2.1477±0.6448	6.6034±0.6264			
0.7750±0.1436	1.4125±0.5621	6.1071±0.9052			
0.6500±0.1323	1.5071±0.5192	6.0107±0.5850			
0.6250±0.1436	1.6732±0.4143	5.3357±0.6169			
0.6250±0.1436	1.9500±0.2466	4.3357±0.6169			
0.5500±0.1323	3.6806±0.8128	3.8194±0.5445			
0.5000±0.1472	2.1611±0.5280	3.2444±0.3516			
0.4750±0.1493	0.9306±0.4425	2.3819±0.3044			
0.4750±0.1493	1.1667±0.6872	1.3819±0.3044			
0.3750±0.1797	1.0972±0.3688	0.6944±0.1944			
0.1750±0.1750	0.2143±0.2143	0.1250±0.1250			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

#### Anexo 4

Tabla de vida de *M. macrocopa* en la condición de *Chlorella*.

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
1.0000±0.0000	0.0000±0.0000	4.3125±0.5064	59.7300±9.2574	19.9125±2.7241	1.2750±0.0685
0.9750±0.0144	0.9750±0.2543	3.4275±0.5690			
0.9000±0.0289	9.5825±1.3227	2.7025±0.6684			
0.6750±0.0777	4.7675±0.5779	2.2775±0.5489			
0.3750±0.1362	4.6375±0.8645	2.8275±0.1586			
0.3125±0.1533	2.7900±0.5237	2.8400±0.3859			
0.2750±0.1436	8.4625±1.4014	2.0975±0.3246			
0.1875±0.0898	10.1225±1.7822	1.8325±0.6236			
0.0625±0.0239	9.6250±3.9337	1.1250±0.5543			
0.0250±0.0144	7.7500±4.5894	0.7500±0.4330			
0.0250±0.0144	1.0000±1.0000	0.2500±0.1443			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *M. macrocopa* en la condición de agua "A" (cruda).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
1.0000±0.0000	0.0000±0.0000	6.5125±0.4901	139.6950±7.9107	79.9625±7.0288	1.5575±0.0459
0.8875±0.0427	2.0900±0.5911	6.2450±0.2528			
0.8375±0.0473	11.7525±1.9441	5.4500±0.3265			
0.8125±0.0427	17.0550±1.4356	4.7475±0.3906			
0.7375±0.0427	20.3900±1.9712	4.1475±0.3078			
0.7000±0.0540	15.8850±1.0177	3.3300±0.1984			
0.6625±0.0657	17.7125±3.4791	2.5175±0.2474			
0.5250±0.0595	12.2050±1.6966	2.0400±0.2676			
0.3875±0.0826	17.9500±2.0498	1.6025±0.0620			
0.2625±0.0747	9.1925±4.0400	1.2400±0.0958			
0.1500±0.0289	7.4375±2.7279	0.6875±0.1197			
0.0250±0.0144	8.0000±4.7784	0.2500±0.1443			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *M. macrocopa* en la condición de agua "B" (reactor biológico).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
1.0000±0.0000	0.0000±0.0000	7.0375±0.2258	97.3050±3.4611	41.9375±1.5115	1.0385±0.1778
0.9250±0.0144	0.6800±0.4224	6.5675±0.2571			
0.8750±0.0323	5.8375±2.6287	5.9225±0.2553			
0.7625±0.0591	2.8275±1.2649	5.8150±0.5110			
0.7125±0.0554	6.9075±1.0049	5.1275±0.3086			
0.6750±0.0722	5.0900±1.4752	4.4850±0.5597			
0.6375±0.0554	10.1100±1.1897	3.6550±0.4752			
0.5500±0.0354	12.1875±1.3430	3.0900±0.4005			
0.4500±0.0408	8.6400±2.7440	2.6075±0.2785			
0.3625±0.0515	10.0075±1.8845	2.1125±0.1342			
0.2875±0.0554	10.2575±3.2413	1.6800±0.3287			
0.1625±0.0427	14.2275±4.3971	1.5625±0.3590			
0.0750±0.0144	2.7500±2.7500	1.2500±0.3227			
0.0375±0.0125	5.7500±2.0966	0.8750±0.5543			
0.0125±0.0125	2.0000±2.0000	0.3750±0.3750			
0.0125±0.0125	0.0000±0.0000	0.1250±0.1250			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *M. macrocopa* en la condición de agua "C" (tratada).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
1.0000±0.0000	0.0000±0.0000	2.9375±0.2947			
0.9125±0.0239	0.2075±0.1561	2.1500±0.2788			
0.5250±0.0595	2.7450±0.7115	2.3500±0.2992			
0.1750±0.0479	1.5825±0.4483	6.0650±1.2328			
0.1375±0.0427	4.6900±1.7200	6.1825±0.8634			
0.1250±0.0323	8.0825±1.3090	5.4575±0.7655			
0.1250±0.0323	10.4150±2.0389	4.4575±0.7655			
0.1000±0.0204	17.4150±1.9180	4.3325±1.0415			
0.0875±0.0125	13.8750±3.5961	3.5000±0.9129			
0.0750±0.0144	16.7500±3.4004	3.0000±0.8660			
0.0500±0.0204	4.0000±4.0000	2.1250±0.7465			
0.0500±0.0204	7.6250±4.5432	1.3750±0.5154			
0.0500±0.0204	6.6250±2.2302	0.6250±0.3146			
0.0250±0.0250	1.2500±1.2500	0.1250±0.1250			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

## Anexo 5

Tabla de vida de *D. pulex* en la condición de *Chlorella*.

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
1.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	29.4500 <sup>±</sup> 2.2401	140.0358 <sup>±</sup> 16.2962	54.0000 <sup>±</sup> 3.1308	0.2363 <sup>±</sup> 9.8011e <sup>-3</sup>
0.8500 <sup>±</sup> 0.0456	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	33.4273 <sup>±</sup> 0.8535			
0.7500 <sup>±</sup> 0.0736	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	37.2196 <sup>±</sup> 1.1304			
0.7250 <sup>±</sup> 0.0878	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	37.8783 <sup>±</sup> 1.9248			
0.7250 <sup>±</sup> 0.0878	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	36.8783 <sup>±</sup> 1.9248			
0.7125 <sup>±</sup> 0.0800	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	36.3407 <sup>±</sup> 1.5485			
0.7125 <sup>±</sup> 0.0800	0.6056 <sup>±</sup> 0.2909	35.3407 <sup>±</sup> 1.5485			
0.7125 <sup>±</sup> 0.0800	0.5895 <sup>±</sup> 0.1395	34.3407 <sup>±</sup> 1.5485			
0.7125 <sup>±</sup> 0.0800	1.4299 <sup>±</sup> 0.5488	33.3407 <sup>±</sup> 1.5485			
0.7125 <sup>±</sup> 0.0800	2.0463 <sup>±</sup> 0.2523	32.3407 <sup>±</sup> 1.5485			
0.7125 <sup>±</sup> 0.0800	1.5320 <sup>±</sup> 0.5889	31.3407 <sup>±</sup> 1.5485			
0.7000 <sup>±</sup> 0.0736	1.8594 <sup>±</sup> 0.3127	30.7672 <sup>±</sup> 1.2535			
0.7000 <sup>±</sup> 0.0736	1.5076 <sup>±</sup> 0.6237	29.7672 <sup>±</sup> 1.2535			
0.6875 <sup>±</sup> 0.0800	1.7356 <sup>±</sup> 0.7147	29.4906 <sup>±</sup> 1.8255			
0.6750 <sup>±</sup> 0.0878	1.5914 <sup>±</sup> 0.4601	29.3338 <sup>±</sup> 2.5896			
0.6750 <sup>±</sup> 0.0878	2.1599 <sup>±</sup> 0.3334	28.3338 <sup>±</sup> 2.5896			
0.6250 <sup>±</sup> 0.0661	2.1327 <sup>±</sup> 0.4356	29.0971 <sup>±</sup> 1.9924			
0.6125 <sup>±</sup> 0.0657	2.3804 <sup>±</sup> 0.3951	28.6917 <sup>±</sup> 2.0736			
0.5875 <sup>±</sup> 0.0554	2.1932 <sup>±</sup> 0.8768	28.7674 <sup>±</sup> 2.0855			
0.5750 <sup>±</sup> 0.0595	3.5409 <sup>±</sup> 0.4573	28.3924 <sup>±</sup> 1.8381			
0.5750 <sup>±</sup> 0.0595	2.5182 <sup>±</sup> 0.5164	27.3924 <sup>±</sup> 1.8381			
0.5750 <sup>±</sup> 0.0595	3.1576 <sup>±</sup> 0.3618	26.3924 <sup>±</sup> 1.8381			
0.5500 <sup>±</sup> 0.0540	3.1461 <sup>±</sup> 1.0815	26.4539 <sup>±</sup> 1.4228			
0.5500 <sup>±</sup> 0.0540	3.4620 <sup>±</sup> 0.2865	25.4539 <sup>±</sup> 1.4228			
0.5500 <sup>±</sup> 0.0540	2.2256 <sup>±</sup> 0.5660	24.4539 <sup>±</sup> 1.4228			
0.5250 <sup>±</sup> 0.0323	2.6691 <sup>±</sup> 0.2234	24.2813 <sup>±</sup> 0.6702			
0.5000 <sup>±</sup> 0.0289	2.1616 <sup>±</sup> 0.1733	24.4823 <sup>±</sup> 1.0127			
0.4875 <sup>±</sup> 0.0239	2.6571 <sup>±</sup> 0.3086	24.0619 <sup>±</sup> 1.0257			
0.4750 <sup>±</sup> 0.0144	1.8083 <sup>±</sup> 0.6678	23.6278 <sup>±</sup> 1.0115			
0.4750 <sup>±</sup> 0.0144	1.8444 <sup>±</sup> 0.3009	22.6278 <sup>±</sup> 1.0115			
0.4750 <sup>±</sup> 0.0144	1.4167 <sup>±</sup> 0.5759	21.6278 <sup>±</sup> 1.0115			
0.4750 <sup>±</sup> 0.0144	2.9167 <sup>±</sup> 0.2137	20.6278 <sup>±</sup> 1.0115			
0.4750 <sup>±</sup> 0.0144	2.0278 <sup>±</sup> 0.5973	19.6278 <sup>±</sup> 1.0115			
0.4500 <sup>±</sup> 0.0354	2.7897 <sup>±</sup> 0.4664	19.7865 <sup>±</sup> 0.3484			
0.4250 <sup>±</sup> 0.0250	1.0754 <sup>±</sup> 0.2772	19.8254 <sup>±</sup> 0.2766			
0.4250 <sup>±</sup> 0.0250	1.0754 <sup>±</sup> 0.2353	18.8254 <sup>±</sup> 0.2766			
0.4125 <sup>±</sup> 0.0239	1.8140 <sup>±</sup> 0.5228	18.4191 <sup>±</sup> 0.8343			
0.4125 <sup>±</sup> 0.0239	1.7490 <sup>±</sup> 0.4624	17.4191 <sup>±</sup> 0.8343			
0.4125 <sup>±</sup> 0.0239	2.2867 <sup>±</sup> 0.5856	16.4191 <sup>±</sup> 0.8343			
0.4000 <sup>±</sup> 0.0204	2.8626 <sup>±</sup> 0.7881	15.8844 <sup>±</sup> 0.7700			
0.4000 <sup>±</sup> 0.0204	2.7589 <sup>±</sup> 0.8856	14.8844 <sup>±</sup> 0.7700			
0.4000 <sup>±</sup> 0.0204	2.4653 <sup>±</sup> 1.0045	13.8844 <sup>±</sup> 0.7700			
0.3875 <sup>±</sup> 0.0125	2.8661 <sup>±</sup> 0.8848	13.2768 <sup>±</sup> 0.7281			
0.3750 <sup>±</sup> 0.0250	2.1146 <sup>±</sup> 1.3492	12.7292 <sup>±</sup> 0.3947			
0.3750 <sup>±</sup> 0.0250	3.5521 <sup>±</sup> 0.5247	11.7292 <sup>±</sup> 0.3947			
0.3500 <sup>±</sup> 0.0204	3.3333 <sup>±</sup> 1.3001	11.5104 <sup>±</sup> 0.4573			
0.3375 <sup>±</sup> 0.0239	2.0580 <sup>±</sup> 0.3119	10.9807 <sup>±</sup> 0.7187			
0.3250 <sup>±</sup> 0.0250	2.2083 <sup>±</sup> 0.9583	10.4271 <sup>±</sup> 0.8862			
0.3250 <sup>±</sup> 0.0250	0.5417 <sup>±</sup> 0.2995	9.4271 <sup>±</sup> 0.8862			
0.3125 <sup>±</sup> 0.0315	1.5583 <sup>±</sup> 0.3187	8.7604 <sup>±</sup> 0.6279			
0.2625 <sup>±</sup> 0.0375	2.2054 <sup>±</sup> 0.7833	9.6071 <sup>±</sup> 1.2349			
0.2625 <sup>±</sup> 0.0375	3.0030 <sup>±</sup> 0.6042	8.6071 <sup>±</sup> 1.2349			

0.2625 <sup>±</sup> 0.0375	5.6607 <sup>±</sup> 1.0136	7.6071 <sup>±</sup> 1.2349			
0.2375 <sup>±</sup> 0.0239	4.0458 <sup>±</sup> 0.2401	7.1500 <sup>±</sup> 1.1009			
0.2000 <sup>±</sup> 0.0204	5.8833 <sup>±</sup> 1.5428	7.2333 <sup>±</sup> 0.7947			
0.1625 <sup>±</sup> 0.0239	3.2083 <sup>±</sup> 1.6546	7.8542 <sup>±</sup> 0.5656			
0.1500 <sup>±</sup> 0.0204	3.7708 <sup>±</sup> 1.2880	7.3542 <sup>±</sup> 0.3442			
0.1500 <sup>±</sup> 0.0204	4.4167 <sup>±</sup> 2.3575	6.3542 <sup>±</sup> 0.3442			
0.1500 <sup>±</sup> 0.0204	2.2292 <sup>±</sup> 0.9449	5.3542 <sup>±</sup> 0.3442			
0.1500 <sup>±</sup> 0.0204	0.7917 <sup>±</sup> 0.3146	4.3542 <sup>±</sup> 0.3442			
0.1250 <sup>±</sup> 0.0250	1.1875 <sup>±</sup> 0.7996	4.4375 <sup>±</sup> 0.9375			
0.1125 <sup>±</sup> 0.0125	2.0833 <sup>±</sup> 1.2937	3.6667 <sup>±</sup> 0.8660			
0.1000 <sup>±</sup> 0.0204	1.0000 <sup>±</sup> 1.0000	2.9167 <sup>±</sup> 0.6719			
0.0625 <sup>±</sup> 0.0125	1.6250 <sup>±</sup> 0.7465	3.8750 <sup>±</sup> 1.5992			
0.0375 <sup>±</sup> 0.0125	0.5000 <sup>±</sup> 0.5000	3.3750 <sup>±</sup> 1.3901			
0.0500 <sup>±</sup> 5.3770e <sup>-10</sup>	0.3333 <sup>±</sup> 0.3333	3.5000 <sup>±</sup> 1.1547			
0.0500 <sup>±</sup> 5.3770e <sup>-10</sup>	1.3333 <sup>±</sup> 1.3333	2.5000 <sup>±</sup> 1.1547			
0.0333 <sup>±</sup> 0.0167	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	1.6667 <sup>±</sup> 1.0138			
0.0333 <sup>±</sup> 0.0167	1.0000 <sup>±</sup> 1.0000	1.0000 <sup>±</sup> 0.7638			
0.0250 <sup>±</sup> 0.0250	4.0000 <sup>±</sup> 4.0000	0.7500 <sup>±</sup> 0.7500			
0.0250 <sup>±</sup> 0.0250	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.2500 <sup>±</sup> 0.2500			
0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000			

Tabla de vida de *D. pulex* en la condición de agua "A" (cruda).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.5000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000
0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000	0.0000 <sup>±</sup> 0.0000			

IZT.

Tabla de vida de *D. pulex* en la condición de agua "B" (reactor biológico).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	6.1625±1.4824	14.3071±4.6328	1.2750±0.5142	-0.0689±0.1027
1.7000±0.0408	0.0000±0.0000	6.2480±1.9164			
1.6000±0.0913	0.0000±0.0000	5.5804±2.0259			
1.4000±0.1291	0.0000±0.0000	5.0044±1.8674			
1.1500±0.2661	0.0000±0.0000	4.7868±1.5746			
0.8750±0.2250	0.0000±0.0000	4.8250±1.3499			
0.7750±0.2496	0.0000±0.0000	4.2982±1.2200			
0.6250±0.2658	0.3036±0.2376	4.3250±1.1280			
0.5750±0.2496	0.3019±0.1080	3.6583±1.1631			
0.4500±0.2598	2.8125±2.7298	4.3125±1.3593			
0.3750±0.2496	0.5303±0.2094	3.8750±1.3130			
0.3500±0.2533	0.3409±0.2358	3.6250±1.2311			
0.3333±0.1856	1.1667±1.1667	4.5952±0.6615			
0.3333±0.1856	0.6905±0.4371	3.5952±0.6615			
0.3000±0.1528	2.5000±1.8028	2.8333±0.8819			
0.2667±0.1667	0.1667±0.1667	2.5000±1.0000			
0.2333±0.1856	1.0000±1.0000	1.6667±0.8333			
0.1667±0.1202	0.8333±0.8333	1.3333±0.7265			
0.1000±0.0000	3.5000±2.5000	4.0000±3.5000			
0.0500±0.0500	0.0000±0.0000	3.2500±3.2500			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	5.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	2.0000±0.0000	4.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	3.0000±0.0000	3.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	2.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	9.0000±0.0000	1.5000±0.0000			
0.1000±0.0000	0.0000±0.0000	0.5000±0.0000			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			

Tabla de vida de *D. pulex* en la condición de agua "C" (tratada).

lx	mx	ex	R. bruta	R. neta	r
2.0000±0.0000	0.0000±0.0000	5.6750±0.4994	0.7757±0.3536	0.2375±0.0688	-0.2375±0.0756
1.8250±0.0629	0.0000±0.0000	5.1654±0.5158			
1.7250±0.0479	0.0000±0.0000	4.4063±0.4482			
1.4500±0.1041	0.0000±0.0000	4.1246±0.3819			
1.3500±0.1555	0.0000±0.0000	3.4103±0.3242			
1.3000±0.1958	0.0625±0.0625	2.5353±0.2118			
1.0750±0.1931	0.3394±0.1552	1.9942±0.0327			
0.9000±0.1683	0.0682±0.0682	1.2966±0.0161			
0.7250±0.1436	0.0556±0.0556	0.5000±0.0000			
0.0000±0.0000	0.0000±0.0000	0.0000±0.0000			



U.N.A.M. CAMPUS