



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

F.E.S. - IZTACALA

**TABLA DE VIDA DEMOGRÁFICA Y CRECIMIENTO
POBLACIONAL DE ESPECIES DE ROTÍFEROS
SELECCIONADAS (ROTIFERA) EN AGUAS DE DESECHO
URBANO CON ÉNFASIS EN CALIDAD NUTRICIONAL**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

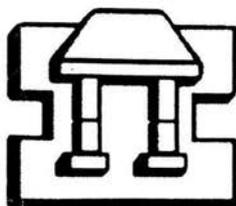
BIÓLOGO

PRESENTA

HUGO ENRIQUE TRUJILLO HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. S.S.S. SARMA

LOS REYES IZTACALA, 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

DEDICATORIA



Este un logro que dedico a Dios, por darme la sabiduría, paciencia y sensatez para tomar decisiones y elegir el camino correcto.

A mi padre Pedro por enseñarme con el ejemplo a ser un hombre de bien y por demostrarme día con día que solo con esfuerzo se realizan los sueños.

A mi madre María Concepción, por sus desvelos, por preocuparse por mí, por darme fuerza cuando he estado a punto de claudicar, por apoyarme incondicionalmente, siempre y de una manera que una vida no me bastará para devolver parte de todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos Pedro, Sandro, Juan Carlos, Claudio, Arturo y Paoló, por la confianza que han puesto en mí, por sus palabras de aliento que me han dado fuerzas para seguir adelante y que aunque a veces discutimos, son un pilar insustituible en mi vida y por quienes doy la vida entera.

A mis padrinos David y Esperanza por creer en mí y brindarme su confianza.

A Mariana Hernández Valdés por su amistad incomparable e incondicional, por su apoyo en momentos difíciles, haciéndome ver el verdadero valor de la vida y de mí mismo, y aunque a veces diferimos en puntos de vista siempre llegamos a un acuerdo.

Y a todas las personas que han compartido conmigo momentos especiales... Elisa O. S. (Ely) por su amistad, confianza y apoyo; Nancy P. H, por ser una gran amiga de toda la vida; Pilar P. P (Pily) por hacerme ver el mundo de una manera diferente; Lilibiana Y. P. por su apoyo... y a todos los "Juanos" y "no Juanos"; Mireya F. P. (Mire), José Luis Z. (Flaco), Edgar O. (Payaso), Eufrosina (Eu), Carmen (Carmencilla), Manuel A. (Mamoel), Eduardo Q. (Lalo Sarigüeyo), Sara L. (Sarigüeya), Oscar P. (Oskarino), Karina G. (Kari), Andrés (El Engaño), Octavio R. (Orgasmatrón), Valentín M. (Tin-tin), Noé De La R.(Joél), Rigoberto R. (Rigo), Bernardo, H. N. (Berna), Eduardo M. (Lalo), Marco, (Marcobacter), Carlos R. (Silva), Arturo G. (Eladio), Marco Antonio C. (Lacrastruita) Javier R. Sonia Yenisel V. V. y Fabiola L. (Faby)...a quienes dedico esta meta que es mi primer sueño realizado, por brindarme su amistad y confianza, porque han sido, son y serán parte importante en mi vida...

¡¡GRACIAS!!!

AGRADECIMIENTOS.

Deseo brindar mi sincero agradecimiento al profesor José Luis Gama Flores que con gran sentido del humor me ayudó a descubrir las habilidades que todos tenemos y que sólo es cuestión de pulirlas, además de su apoyo en la elaboración del presente; asimismo, también agradezco al profesor Mario A. Fernández por su paciencia para encontrar el sentido exacto de las oraciones del mismo. Por último agradezco al profesor Sergio Cházaro por la revisión y sugerencias para la mejora de este.

También agradezco el apoyo, así como las facilidades proporcionadas por el Dr. Pedro Ramírez García, a la profesora Esperanza Robles Valderrama, por su incondicional apoyo, a la profesora Guadalupe Sainz Morales por el tiempo dedicado a la enseñanza de técnicas y a la profesora Ma. Elena Martínez Pérez por la atención dedicada para el desarrollo de las pruebas físico-químicas.

Y por las facilidades otorgadas por el Ing. Ramón Jerónimo para el muestreo de las aguas en la planta tratadora "Aguas tratadas de Iztacalco S. A de C. V, así como los datos proporcionados por el Ing. Miguel González.

Para finalizar quiero brindar mi más sincero y afectuoso agradecimiento a toda la gente que se desempeña en el laboratorio de Zoología Acuática, en especial al Dr. S. S. S. Sarma por la confianza brindada y por su valiosa ayuda y dirección del presente trabajo, asimismo como a la Dra. Nandini Sarma por sus observaciones siempre oportunas, y por decir las palabras precisas en el momento exacto, además, de que gracias a ellos pude realizar mi primer sueño...por eso... a todos y a cada uno...

!!!MIL GRACIAS!!!

INDICE

1. Resumen	1
2. Introducción	2-8
2.1 Aguas residuales	2
2.1.1 Tratamientos	2-4
2.1.2 Composición biológica	4
2.2 Generalidades de los rotíferos	4-5
2.2.1 Aparato digestivo	5-6
2.2.2 Locomoción	6-7
2.2.3 Órganos sensoriales	7
2.2.4 Reproducción	7-8
2.2.5 Importancia	8
3. Justificación	8-9
4. Objetivos	9-10
4.1 Objetivo general	9
4.2 Objetivos particulares	9-10
5. Hipótesis	10
6. Antecedentes	10-13
7. Material y métodos	13-16
7.1 Muestras	13
7.2 Organismos	13-14
7.2.1 Alga (<i>Chlorella vulgaris</i>)	13-14
7.2.2 Rotíferos	14
7.3 Diseño experimental	14-16
8. Resultados	16-41
8.1 Parámetros físico-químicos	16
8.2 Crecimiento poblacional	16-27
8.3 Tabla de vida demográfica de <i>Brachionus rubens</i>	27-34
8.4 Crecimiento poblacional y calidad alimenticia de <i>Asplanchna sieboldi</i>	34-41

9. Discusión	42-49
10 Conclusiones	49
11. Referencias	50-53
12. Apéndices	54-55
12.1 Apéndice 1	54
12.2 Apéndice 2	54
12.3 Apéndice 3	54
12.4 Apéndice 4	55

1. RESUMEN

Toda comunidad, especialmente las de las grandes ciudades requieren y reciben grandes cantidades de agua para muchos fines que, desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, instituciones, centros comerciales, establecimientos industriales y las aguas subterráneas que puedan agregarse. Actualmente se utilizan diferentes métodos para remover todas las materias de desecho del agua que las transporta, entre estos métodos encontramos: el tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o cloración. Las aguas negras contienen materia orgánica y organismos vivos microscópicos que mantienen la actividad biológica, entre esta gama de organismos encontramos a los rotíferos, los cuales son capaces de tolerar gran variedad de condiciones ecológicas y de ayudar a depurar el agua por alimentarse de detritos orgánicos y de organismos. Dado lo anterior se utilizaron cuatro especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus patulus*, *Brachionus rubens* y *Asplanchna sieboldi*) para realizar estudios de crecimiento poblacional y tabla de vida demográfica de uno de ellos (*Brachionus rubens*), en alga (*Chlorella vulgaris*) y en aguas de desecho urbano clasificadas como C (aguas tratadas), B (aguas de reactor biológico) y A (aguas crudas). En el estudio de crecimiento poblacional, solo *Brachionus rubens* presentó un alto crecimiento (205 ± 22 ind. ml^{-1}) en aguas de desecho de tipo A, mismo que fue más alto que el obtenido por el grupo testigo (83 ± 5 ind. ml^{-1}) y los tratamientos C y B. En tanto que en el estudio de tabla de vida demográfica de *B. rubens*, la duración de vida fue alta en el testigo (8 ± 0.3 días) pero, en el tratamiento de tipo A esta duración fue sumamente baja (2 ± 0.1 días). La tasa de reproducción bruta y la tasa de reproducción neta decrecieron desde control hasta el tratamiento A. La tasa de crecimiento poblacional derivada de la tabla de vida fue de 0.8 ± 0.04 por día en el testigo, pero los valores fueron bajos en los tratamientos B y A. Por lo tanto, el presente estudio demuestra que el crecimiento poblacional de ciertas especies de rotíferos en aguas de desecho crudas o parcialmente tratadas es factible.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Aguas residuales

En las grandes ciudades, el uso de agua en grandes cantidades es diverso desde su consumo directo, pasando por limpieza, riego, generación de energía eléctrica, procesos industriales y eliminación de desechos domésticos (Fair, *et al.* 1997) siendo estas últimas a las que comúnmente conocemos como aguas negras, es decir, aquellas que han sido contaminadas por diversos usos (ANÓN. 1990). Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, instituciones públicas, centros comerciales, junto con los provenientes de los establecimientos industriales y las aguas subterráneas, superficiales y pluviales que puedan agregarse (Metcalf & Eddy, 1985; ANÓN. 1990). Las aguas negras generalmente son líquidos turbios que contienen sólidos en suspensión, algunos entran en solución y otros de éstos se encuentran o llegan a estar finamente divididos (ANÓN. 1990; Fair, *et al.* 1997). El agua residual no tratada estancada durante un lapso de tiempo inicia la descomposición de la materia orgánica que contiene, desarrollando un olor desagradable y materia sólida aparece flotando en la superficie o en todo el líquido (Metcalf & Eddy, 1985; ANÓN. 1990).

2.1.1 Tratamientos

Las aguas residuales recogidas en pueblos y ciudades deben ser conducidas, finalmente, a cuerpos de agua receptores o a la misma tierra. Aunque la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempos antiguos, la recogida de aguas residuales tiene su primer precedente en el siglo XIX, empezando su tratamiento sistemático a finales de este y principios del siglo XX. Actualmente se utilizan diferentes métodos para desplazar todas las materias de desecho del agua que las transporta. Por ejemplo, los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas son conocidos como operaciones unitarias. Aquellos en que la eliminación de los contaminantes se consigue mediante reacciones

químicas o biológicas se conocen como procesos unitarios. Tanto operaciones y procesos unitarios se conjuntan para constituir lo que se conoce como tratamientos primario, secundario y terciario (o avanzado) (Metcalf & Eddy, 1985). En las plantas para el tratamiento de estas aguas son comunes los procesos como: 1) *tratamiento preliminar*, que sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes de tratamiento. Los dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados a eliminar los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites y grasas, para lo cual son necesarios dispositivos como: 1) rejas de barras; 2) desmenuzadores, ya sea molinos, cortadoras o trituradoras, 3) desarenadores y 4) tanques de preaeración. Además de los anteriores, en ocasiones se realiza la cloración en el tratamiento preliminar ya que por ser considerado un método independiente puede ser utilizado en cualquier etapa de un tratamiento; 2) *tratamiento primario*; que consiste en separar o eliminar la mayoría de los sólidos suspendidos de las aguas negras, o sea de un 40 a un 60 por ciento, mediante el proceso físico de asentamientos 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, o sea un total de 80 a 90 por ciento de los sólidos suspendidos (ANÓN. 1990).

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las aguas negras para que puedan sedimentarse los sólidos. Por consiguiente, a estos dispositivos se les puede distinguir bajo el nombre de tanques de sedimentación, mismos que pueden dividirse en cuatro grupos generales: 1) tanques sépticos; 2) tanques de doble acción; 3) tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos; 4) clarificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de lodos; 3) *tratamiento secundario*; este tratamiento es un proceso biológico que depende principalmente de los organismos tanto aerobios como anaerobios (Ramalho, 1993), para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos estables. Los dispositivos utilizados en este tratamiento pueden dividirse en los siguientes grupos: 1) filtros goteadores

con tanques de sedimentación secundaria; 2) tanques de aeración: a) lodos activados con tanques de sedimentación simple y b) aeración por contacto; 3) filtros de arena intermitentes y 4) estanques de estabilización; y 4) *tratamiento terciario o cloración*; que puede emplearse para diversos propósitos en todas las etapas de un tratamiento de aguas negras, como por ejemplo: 1) en la destrucción de organismos patógenos; 2) en la prevención de la descomposición de las aguas negras para controlar el mal olor y para la protección de la estructura de la planta; 3) como auxiliar en la operación de la planta para: la sedimentación, en los filtros goteadores y el abultamiento de los lodos activados (ANÓN. 1990).

2.1.2 Composición biológica

Las aguas negras contienen gran cantidad de materia orgánica y organismos microscópicos que son los que mantienen la actividad biológica, produciendo fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica (Seoánes, *et al* 1995). Son la parte viva natural de la materia orgánica que se encuentra en estas aguas y su presencia es de suma importancia por ser uno de los motivos para el tratamiento de las aguas negras (ANÓN. 1990). Estos organismos pueden ser: 1) plantas acuáticas como: espermatofitas, briofitas, pteridofitas, talofitas (Fair, *et al*. 1993); 2) bacterias como: *Salmonella paratyphi*, *Salmonella typhi*, *Schistosoma* spp, *Shigella* spp., *Vibrio cholerae* y otras más de los géneros, *Escherichia* y *Aerobacter* (Metcalf & Eddy, 1984), por mencionar algunas; 3) virus como: adenovirus, enterovirus, virus de la hepatitis A, reovirus, rotavirus (Seoánes, *et al* 1995); y 4) animales acuáticos como: protozoarios, moluscos, artrópodos, anélidos, nematodos, platelmintos y rotíferos (Fair, *et al*, 1993), siendo estos últimos parte fundamental de este estudio.

2.2 Generalidades de los rotíferos

De los rotíferos hay unas 2000 especies descritas procedentes de lagos, pantanos, charcas y corrientes quietas de agua dulce (aproximadamente un 95 %) y de todas las regiones litorales marinas, así como de medios semiterrestres,

zanjas lodosas, en los canales de las calles, en los charcos de los corrales e incluso entre los musgos y líquenes (Storer, *et al*, 1975; Meglitsch, 1978; Marshall, 1980; Barth, 1982;)

Los rotíferos son organismos que miden de 0.1 y 1 mm de largo (Barnes, 1987). Estos organismos son solitarios libres nadadores que flotan en el agua, mientras que otros se fijan al fondo o a otros animales y tienden a formar colonias (Ville *et al* 1970; Barnes, 1987). El cuerpo por lo general es transparente, aunque algunos rotíferos pueden ser verdes, anaranjados, rojos o color marrón por la coloración de su aparato digestivo, presenta simetría bilateral, es insegmentado y acelomado (Marshall, 1980; Barnes, 1987) que se divide en una corta región anterior o cabeza, un grueso tronco que integra la mayor parte del cuerpo, y un pie terminal, que a menudo termina en dos dedos alargados (Storer, *et al*, 1975; Grassé, *et al*, 1976; Barnes, 1982). En la región anterior o cabeza presentan un disco trocal anterior denominado corona que está provisto de cilios, mismos que baten metacrónicamente produciendo un efecto de remolino que arrastra agua, que contiene oxígeno y alimento, además, este batimiento da la apariencia de una rueda y de aquí el nombre rotíferos, es decir, "portadores de ruedas" (Storer, *et al*, 1975; Meglitsch, 1978; Marshall, 1980). La pared del cuerpo está constituida por cutícula que puede ser anillada u ornamentada, epidermis y bandas de músculos subepidérmicos longitudinales y circulares (Marshall, 1980; Barnes, 1982). La escleroproteína cuticular cubre la superficie del cuerpo y forma la lórica, que es semejante a la quitina (Storer, *et al*, 1975), las espinas y otras estructuras superficiales. La epidermis sincitial contiene un número constante de núcleos, formando cojines epidérmicos que contienen uno o varios núcleos, mientras que la epidermis modificada de la corona contiene los sistemas de raíces ciliares y unos grandes cojines epidérmicos llamados matriz de la corona (Meglitsch, 1978)

2.2.1. Aparato digestivo

Presentan una cavidad bucal o boca que suele estar rodeada por parte de la corona y que se abre y se cierra, mediante un esfínter y músculos dilatadores. Las

especies depredadoras suelen tener músculos dilatadores orales (Meglitsch, 1978) y la boca conduce a la faringe, o mástax, cámara musculosa redondeada, tapizada por cutícula, o bien hay un tubo bucal ciliado entre ambas estructuras, como en los consumidores de materia suspendida (Marshall, 1980; Barnes, 1982). Las paredes internas tienen engrosamientos cuticulares que forman este complejo aparato mandibular o *trophi* que típicamente, está constituido por siete partes interconectadas: el *fulcrum* impar; los *rami*, *unci* y *manubria*, pares. *Fulcrum* y *rami* se denominan a menudo *incus*, los *unci* y *manubria* son designados mediante el nombre de *malleus* (máleos) (Grassé, *et al*, 1976; Meglitsch, 1978). El mástax o las paredes musculares de la faringe sirven para la captura y al mover los máleos hacia atrás y hacia delante sobre el uncus, de esta manera los pequeños organismos tomados como alimento son microtrititados (Marshall, 1980; Barnes, 1987). La estructura de las mandíbulas está adaptada según el tipo de alimento utilizado y las costumbres alimenticias. Los tipos de mandíbulas de los rotíferos son: 1) maleado: sirve para atrapar comida; 2) virgado: sirve para agujerear a la presa; 3) cardado: utilizado para succionar; 4) forcipado: es utilizado para atraer la presa hacia la faringe; 5) incudado: mandíbula prensil, que después de evaginarse mete la presa a la boca; 6) ramado: utilizado para moler; 7) maleorramado: también es utilizado para moler; 7) uncinado: se utiliza para lacerar organismos o detritus atrapados en el mástax; y 8) fulcrado (Meglitsch, 1978).

2.2.2 Locomoción

Los rotíferos planctónicos se mueven a través del agua por el batimiento de los cilios de la corona (Lutz, 1986), mientras que los no planctónicos presentan movimientos reptantes que son producidos por el pie. Por ejemplo, en los rotíferos pertenecientes al grupo de los bdeloideos la corona se retrae cuando el animal rept a y el pie se adhiere al sustrato con las secreciones adhesivas producidas por unas glándulas denominadas glándulas pedales, enseguida el animal estira su cuerpo, fija el rostro y desprende el pie para desplazarlo hacia delante y volver a afianzarse al sustrato. Durante la natación, que sólo se efectúa a cortas distancias, la corona se extiende y el pie se retrae. Algunas especies de rotíferos sésiles se

fijan a la vegetación y exhiben una notable selectividad, no solo en cuanto a la planta o el alga a la cual se fijan, sino también en lo que se refiere al sitio de fijación de la planta (Barnes, 1987).

2.2.3 Órganos sensoriales

El encéfalo u órgano retrocerebral (Barth, 1982) consta de una masa ganglionar bilobulada en posición dorsal respecto a la boca y a la faringe (Marshall, 1980). De él surge un número variable de nervios que inervan el aparato rotatorio, la pared corporal y otras partes del cuerpo. Existe, además, un ganglio epifaringeo, un ganglio en la pared del mástax y otro genital o caudal (Grassé, 1976). Los órganos de los sentidos constan de cerdas sensoriales en diversas partes de la corona ciliada, dos fosas ciliadas y uno o dos ocelos cerebrales, dos antenas o ambos tipos. Dichos ocelos son simples cálices pigmentados que constan de una o dos células fotorreceptoras más una célula secundaria roja. El ocelo permite al animal orientarse respecto a la luz e interviene en la regulación fótica de la reproducción (Barnes, 1987).

2.2.4 Reproducción

Los rotíferos presentan sexos separados (Russell-Hunter, 1979), y la mayor parte de la reproducción es por partenogénesis (Ville, 1970); los machos son más pequeños que las hembras (Lutz, 1986) y ciertas estructuras, como la cloaca, están degeneradas o ausentes en aquellos (Barnes, 1987). Las hembras poseen un único y gran ovario (Marshall, 1980) y en diferentes estaciones suelen producir dos clases de huevos, amíctico o de verano y míctico o de invierno. Los primeros tienen una cubierta delgada, no pueden ser fecundados y se convierte por partenogénesis en una hembra amíctica; en aguas favorables pueden producirse una serie de generaciones de esta manera ya que durante la maduración no hay meiosis típica y los huevos son diploides. Cuando ocurre algún cambio en las condiciones ambientales, todavía no precisado con exactitud, se origina una generación en que las hembras son morfológicamente diferentes y ponen huevos

haploides que también poseen cascarón delgado y que si no son fecundados, se desarrollan en machos por partenogénesis, pero que si son fecundados secretan cascarones gruesos y resistentes como los quistes de los protozoos. Estos necesitan un periodo de reposo y pueden permanecer en vida latente durante largos periodos de tiempo, pueden sobrevivir a la desecación y a la congelación, y pueden ser arrastrados por el viento o transportados en las patas o plumas de las aves hasta un medio favorable (Storer, 1975, Barnes, 1987).

2.2.5 Importancia

Cabe mencionar que gracias a sus grandes cualidades ecológicas estos organismos pueden ser utilizados en la evaluación de calidad del agua sin someterla a los laboriosos procedimientos de análisis fisico-químicos. La presencia de los rotíferos puede ser fisiológicamente importante en las aguas de desecho, ya que pueden ser responsables de la reducción de lojos orgánicos (Arora, 1961).

Las aguas residuales serán el mayor problema con que se enfrentará la humanidad en los próximos años, ya que éstas aguas producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen, además de que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilarlas. La capacidad de autodepuración de una masa de agua es siempre limitada, mientras que el vertido de residuos a ella no tiene freno en el momento actual. Es decir, el volumen de aguas residuales depuradas no alcanza en ningún país el nivel que debería tener hasta compensar la diferencia que existe con la capacidad de autodepuración de los ríos (Seoánes, *et al*, 1995).

3. JUSTIFICACIÓN

El agua dulce para consumo humano es sumamente limitada, por lo que en una ciudad, como la Cd. de México, se hace indispensable su tratamiento para su recirculación. Estas aguas contienen gran cantidad de energía proveniente de toda

la materia orgánica que ahí se concentra, la cual no puede ser aprovechada mediante los métodos convencionales de tratamiento; sino que para ello se pueden utilizar organismos como los rotíferos que debido a su alta tasa de metabolismo estos organismos pueden utilizar la energía de dichas aguas (Mazari-Hiriart *et al.*, 2000) además de que juegan un papel importante en la determinación de la estructura de una comunidad acuática y son mediadores en el flujo de energía de los ecosistemas de agua dulce (Pechenik, 1991) aunado a que son buenos indicadores de saprobios (contaminación orgánica manifestada por DBO₅, oxígeno disuelto presente y comunidades específicas de organismos indicadores). Los rotíferos son organismos aeróbicos que indican la situación dentro de la limnosaprobidad, no dentro de la eusaprobidad (aguas industriales y alcantarillado en estado anaeróbico). Ellas se presentan en plantas de purificación, donde las aguas de desecho son tratadas biológicamente, además de ser aireadas (biofiltros, lodos activados y/o estanques de estabilización). Frecuentemente las investigaciones de aguas de desagüe y contaminadas son hechas por personas no familiarizadas con los rotíferos, de modo que raramente se descubren determinaciones de rotíferos en la literatura de tratamientos biológicos. Los rotíferos de lodos activados han sido estudiados en detalle por Godeanu (1966) en Rumania, Klimowics (1977) en Polonia, Doohan (1975) En Gran Bretaña y Sudzuki (1981) en Japón, sin embargo, en México se tienen pocos reportes de estudios de rotíferos en este tipo de aguas.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Evaluar el crecimiento poblacional de especies de rotíferos seleccionadas utilizando como alimento aguas de desecho urbano.

4.2 Objetivos particulares

- Estimar el crecimiento poblacional de cuatro especies de rotíferos: *Brachionus calyciflorus*; *Brachionus patulus*; *Brachionus rubens* y *Asplanchna sieboldi*, en

aguas de las tres fases del tratamiento de una planta tratadora de aguas negras

- Establecer la tasa de crecimiento poblacional de las cuatro especies
- Cuantificar la abundancia máxima de las cuatro especies.
- Establecer el tiempo de abundancia máxima para las cuatro especies
- Establecer la tabla de vida de *Brachionus rubens* utilizando agua de desecho urbano
- Determinar la calidad como alimento de *Brachionus rubens* utilizando el depredador *Asplanchna sieboldi* como organismo de bioensayo.

5. HIPÓTESIS

El crecimiento poblacional de los rotíferos será diferente, dependiendo de la especie y de acuerdo a la fase de tratamiento de agua de desecho utilizada.

6. ANTECEDENTES

Roche (1994) estudió de Junio de 1992 a Octubre de 1993 el crecimiento de *Brachionus calyciflorus* en las aguas efluentes de una lechería, en donde los efluentes resultan de la producción de mantequilla, queso, crema y leche en polvo, encontrando que en los estanques de estabilización de esa lechería, por parte del fitoplancton predominaron los Chlorococcales en su mayoría solitarios, aunque ocasionalmente formaban grupos o cadenas. La mayoría de esas células fueron identificadas como una o más especies de *Chlorella*. También encontró un gran número de Protozoarios, mientras que por parte de los metazoarios predominó *Brachionus calyciflorus* con relativamente pequeños números de *B. angularis*. Las densidades de verano/otoño fueron en cierto modo altas durante 1992 comparadas con las de 1993.

Ortiz y Sáenz (1997) estudiaron los efectos de materia orgánica y la distribución de coliformes fecales en la bahía de Chetumal que se localiza en la península de

Yucatán en es estado de Quintana Roo, México. La temperatura, pH, sólidos totales disueltos y conductividad fueron determinados en el sitio de muestreo, mientras que el oxígeno disuelto fue medido *in situ* con un oxímetro, llegando a la conclusión de que el área más contaminada es la más utilizada por el público, ya sea para recreación o para actividades de pesca, que, eventualmente puede resultar en un problema de salud pública. Aunado a que las concentraciones de coliformes fecales están sobre el límite establecido por la Legislación Mexicana.

Roche (1998) estudió el crecimiento potencial de *Daphnia magna* en aguas de estanques de estabilización de residuos de una lechería, encontrando que tanto el tamaño del cuerpo y la reproducción varían de una temporada a otra, además de que este tipo de agua es un medio que puede ser aprovechado para el crecimiento de *D. magna*.

Stevenson *et al* (1998) estudiaron el crecimiento de *Brachionus calyciflorus* en aguas de desecho de la industria de la masa y la tortilla, en donde para estimar el crecimiento de *B. calyciflorus* escogieron cinco concentraciones de agua de desecho; es decir, 2, 4, 8, 16 y 32%. Llegando a la conclusión de que *B. calyciflorus* crece de manera óptima solo cuando los desechos son diluidos

Nandini, (1999) estudió las variaciones de los parámetros físico-químicos como: temperatura, pH, oxígeno disuelto, fósforo reactivo soluble, fósforo total, nitrógeno como nitrato y clorofila- α ; así como la estructura de la comunidad planctónica de varias lagunas de estabilización de aguas residuales urbanas en Nueva Delhi; encontrando que las concentraciones de los nutrientes entre los diferentes cuerpos de agua no presentan diferencias significativas. Mientras que para las comunidades planctónicas se observaron poblaciones masivas de *Euglena*, *Pandorina*, *Spirulina* y *Oscillatoria*; y las especies de rotíferos encontradas fueron *Brachionus calyciflorus*, *Hexarthra mira* y *Filinia longiseta*; mientras que cladóceros y copépodos estuvieron representados principalmente por *Moina macrocopa* y *Mesocyclops thermocyclooides*, respectivamente

Cauchie, *et al* (2000) compararon las estimaciones *in situ* versus laboratorio de regresión de longitud-peso e índice de crecimiento de *Daphnia magna* en un aereador de un estanque estabilizador de desechos en Luxemburgo, donde encontraron que la biomasa obtenida *in situ* fue sumamente significativa en comparación con la producida en el laboratorio, esto debido a la alta biomasa de los organismos que se encontraron *in situ*.

Hernández, *et al.* (2000) estudiaron la bacteria reductora de sulfatos *Desulfovibrio mexicanus* sp. aislada de las aguas de desecho de una fábrica productora de quesos en México. Dicha bacteria fue relacionada filogenéticamente con *D. aminophilus* que fue aislada de las aguas de desecho de una lechería en Colombia, descubriendo que ambas reducen tiosulfato, sulfato, sulfito y sulfuro elemental y se limitan a utilizar sustratos clásicos de energía por ejemplo: lactato, piruvato e hidrógeno.

Fahim, *et al* (2001) realizaron la evaluación de diversos métodos (como demanda bioquímica de oxígeno (BOD), demanda química de oxígeno (COD), sólidos suspendidos totales, entre otros) para el tratamiento de aguas de desecho de una planta procesadora de pescado en Egipto, llegando a la conclusión de que de éstas aguas se puede controlar su uso en aplicaciones de riego o en proyectos de silvicultura cerca del desierto o en áreas alrededor de la fábrica.

Sarma *et al* (2001) compararon el crecimiento poblacional de dos especies de rotíferos, *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus* desarrollados en *Chlorella vulgaris*, en la levadura de cerveza *Saccharomyces cerevisiae* y en la mezcla de ambas en proporciones iguales, encontrando que *B. patulus* alcanzó las mayores densidades con cualquier alimento en comparación con *B. calyciflorus*. La dieta de *Chlorella* sola promovió el mayor crecimiento poblacional para ambas especies en relación con la dieta de levadura sola.

Sarma & Nandini (2001) estudiaron la tabla de vida demográfica y el crecimiento poblacional de *Brachionus variabilis* Hempel, 1986 en relación con las densidades

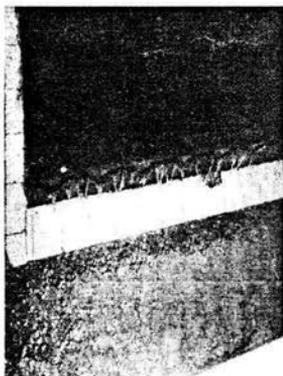
de *Chlorella vulgaris*, observando que la densidad de alimento tiene un efecto significativo en la esperanza de vida, en el índice reproductivo, índice neto de reproducción, tiempo generacional, e índice de crecimiento poblacional.

7. MATERIAL Y MÉTODOS

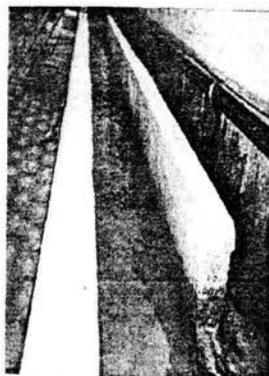
7.1 Muestras

La obtención de las muestras se realizó en la planta tratadora de aguas negras: Aguas tratadas de Iztacalco S. A de C.V. "ATISA" (ver apéndice 1)

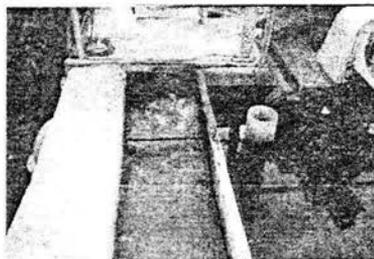
Se tomaron aproximadamente 2000 ml de agua de cada una de las tres fases de tratamiento cada tercer día por la mañana (entre las 8:00 y 10:00 a.m). Una vez en el laboratorio, las muestras se utilizaron inmediatamente y se mantuvieron a una temperatura de 8°C, para disminuir la actividad microbiana.



Tanque C
(Agua tratada)



Tanque B (Reactor
biológico)



Tanque A (Agua cruda)

7.2 Organismos

7.2.1 Alga (*Chlorella vulgaris*)

Para alimentar las poblaciones de rotíferos de cultivo, se utilizó el alga verde *Chlorella vulgaris*, misma que se cultivó de manera masiva en medio Basal Bold

(ver apéndice 2), preparado con agua destilada, enriquecida con 0.5 gr de bicarbonato de sodio. Se utilizaron recipientes de plástico de 2000 ml de capacidad, mismos que fueron colocados bajo luz artificial constante. La cosecha se realizó una vez que el alga se encontró en su mayor densidad, se apartaron las botellas de la luz y se dejaron sedimentar a una temperatura de 8°C; posteriormente, se decantó el contenido de cada una de las botellas hasta dejarlo lo más concentrado posible. Se procedió a hacer la cuantificación mediante el uso de la cámara de Neubauer para establecer la densidad a utilizar.

7.2.2 Rotíferos

Los organismos utilizados se aislaron de diferentes cuerpos de agua, es decir; *Brachionus patulus* fue aislado de la Presa Santa Elena en el Estado de México. *Brachionus calyciflorus* fue aislado del lago de Xochimilco. *Brachionus rubens* fue aislado de un diminuto cuerpo de agua en la colonia Aragón en el Estado de México; y el depredador *Asplanchna sieboldi* fue aislado de una granja de cultivo en Tezontepec en el Estado de Hidalgo

Los rotíferos utilizados se cultivaron masivamente utilizando como medio la solución fisiológica "EPA " (ver apéndice 3).

7.3 Diseño experimental

Las muestras de agua de las tres fases de tratamiento de la planta tratadora de aguas negras: Aguas tratadas de Iztacalco S. A de C.V. "ATISA"; constituyeron los siguientes tratamientos: agua influente (agua directa de drenaje o cruda) marcada con la letra "A", agua del reactor biológico marcada con la letra "B" y agua efluente (agua tratada) identificada con la letra "C" y el testigo lo comprendió medio EPA con alga a una concentración de 1×10^6 cél. ml⁻¹.

Se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento. Cada experimento con las diferentes especies se inició colocando una población inicial de 50 individuos por

vaso, el cual tuvo 50 ml de medio EPA y una densidad de alga de 1×10^6 cél. ml⁻¹; o aguas de la planta tratadora C, B o A.. La población se contó diariamente revisando todo el volumen, posteriormente, cuando la población se duplicó se hicieron alícuotas por triplicado de 1 ml, los conteos se realizaron hasta que la población declinó de manera evidente.

Para la tabla de vida demográfica de *Brachionus rubens*, el diseño experimental básicamente fue el mismo. Se colocaron de manera inicial una cohorte de 20 neonatos en vasos de plástico que contenían 20 ml de cada una de las condiciones experimentales mencionadas anteriormente. Al día siguiente, los neonatos fueron desechados y los individuos (adultos) pertenecientes a la cohorte original transferidos a medio nuevo (ya sea *Chlorella*, agua de tipo C, B o A). El experimento finalizó una vez que murió el último individuo de la cohorte original de todos los tratamientos de cada una de las réplicas.

Para establecer la calidad alimenticia de *B. rubens* se procedió a hacer lo siguiente: se empleó el mismo diseño antes mencionado, utilizando organismos crecidos durante 5 días en cada uno de los diferentes tratamientos, los cuales se inocularon en 20 ml con una población inicial de 80 individuos (*B. rubens*). Tanto individuos como medio se reemplazaron diariamente. Cada réplica contuvo además dos rotíferos depredadores *Asplanchna sieboldi* que fueron contados diariamente y transferidos al medio nuevo. Los conteos se realizaron hasta que la población declinó en su crecimiento de manera evidente. Una vez terminado el experimento, los individuos de *Asplanchna sieboldi* restantes de cada tratamiento se fijaron en formol para su posterior revisión de medidas de longitud.

Las medidas de *Asplanchna sieboldi* se obtuvieron mediante el microscopio de cámara lúcida Nikon Alphaphot3, con un objetivo de 10x, 11.

La fórmula para estimar la tasa de crecimiento poblacional fue la siguiente:

$r = (\ln N_t - \ln N_0)/t$ donde: r = tasa de crecimiento poblacional; N_0 = densidad inicial; N_t = densidad final (ind. ml⁻¹) (en relación con t) t = tiempo en días

El método estadístico utilizado fue el análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor para las variables como: abundancia máxima, día de abundancia máxima y tasa de crecimiento poblacional. Para establecer diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba de Fisher (Sokal y Rohlf, 1981)

8. RESULTADOS

8.1 Parámetros físico-químicos

Algunos aspectos físico-químicos de las aguas de los tres estanques utilizados (C agua tratada, B reactor biológico y A aguas crudas) se mencionan en el apéndice 4.

Como podemos observar en la tabla de parámetros físico-químicos, los valores de dureza total, dureza de Ca, alcalinidad, pH, temperatura y conductividad se mantuvieron constantes en los diferentes tipos de agua, lo que sugiere que posiblemente la población no fue afectada por los parámetros antes mencionados; aunque cabe mencionar que el único parámetro que varió en gran medida fue la DBO₅, misma que posiblemente pudo alterar a las poblaciones en gran medida.

8.2 Crecimiento poblacional

Los resultados que a continuación se muestran indican que las aguas de desecho, ya sea crudas o parcialmente tratadas afectan a las poblaciones de rotíferos de manera evidente y con alta significancia estadística en casi todos los parámetros observados.

Las curvas de crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus*, utilizando *Chlorella* y aguas de desecho de tipo C (agua tratada), B (reactor biológico) y A (agua cruda), se presentan en la figura 1. *Brachionus calyciflorus*, el testigo exhibió una tendencia de fase inicial, fase exponencial, fase estacionaria y fase de

declinación, durante el periodo experimental; sin embargo, para las poblaciones de *Brachionus calyciflorus* de C, B y A, estos patrones no son evidentes; entre las aguas de desecho, el agua cruda fue muy inapropiada para el crecimiento de esta especie, en donde los individuos de prueba fueron eliminados después del día 2.

Las curvas de crecimiento poblacional de *Brachionus patulus*, bajo diferentes tratamientos se presentan en la figura 2. A *Brachionus patulus* le tomó tres semanas para terminar un ciclo poblacional; durante la primer semana, el crecimiento poblacional de *Brachionus patulus*, en el testigo fue lento, en donde la fase exponencial empezó alrededor del día 8 hasta el día 20; sin embargo, las poblaciones de los tratamientos C, B y A crecieron muy poco durante el periodo experimental. Los organismos de *Brachionus patulus* crecidos en aguas de tipo A, no sobrevivieron después del día 2. La tendencia de crecimiento de *Brachionus patulus* utilizando aguas de tipo C y B fueron similares, pero mucho más bajo que testigo.

Las curvas de crecimiento poblacional de *Brachionus rubens*, bajo diferentes tratamientos se presentan en la figura 3; en el testigo, *Brachionus rubens* creció de manera lenta, así como en agua de tratamiento de tipo C, pero en agua de tipo B creció poco durante el periodo experimental; sin embargo, los rotíferos de agua de tipo A crecieron mucho más que el testigo.

De acuerdo a la tendencia de crecimiento poblacional, los valores de abundancia máxima de *Brachionus calyciflorus* varió en un 100 % entre el tratamiento con agua de desecho A, en donde solo se mantuvo la densidad inicial en todas las réplicas con respecto a *Chlorella*. Las densidades de *Brachionus calyciflorus*, usando como tratamientos las aguas de desecho B y C fueron similares entre ellos, pero con una diferencia de 3/4 más inferiores con relación al grupo testigo (figura 4). El análisis de varianza de datos de abundancia máxima, reveló que las diferencias entre tratamientos fueron altamente significativas (tabla 1 $p < 0.001$, prueba de F).

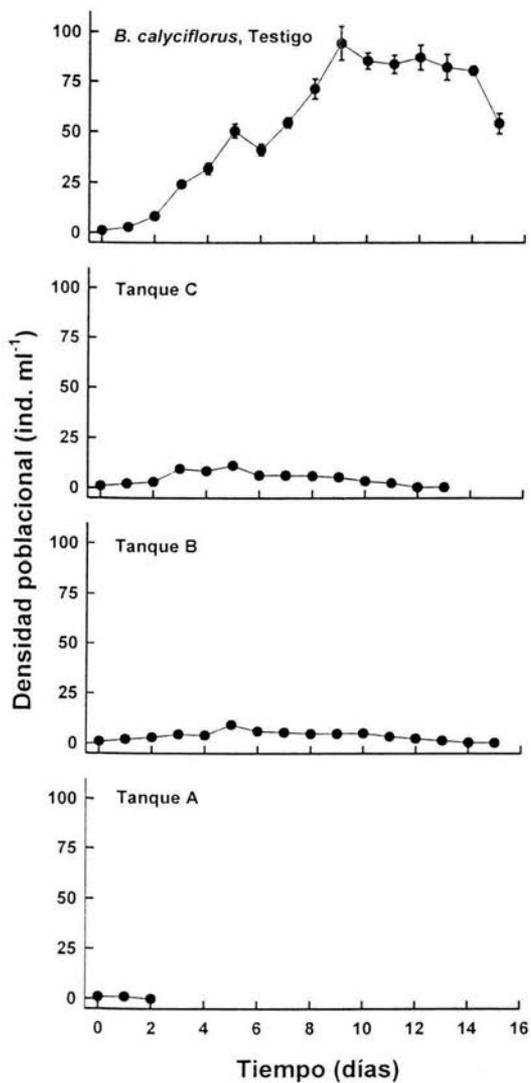


Figura 1. Curvas de crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus*, en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.



U.N.A.M. CAMPUS

IZT.

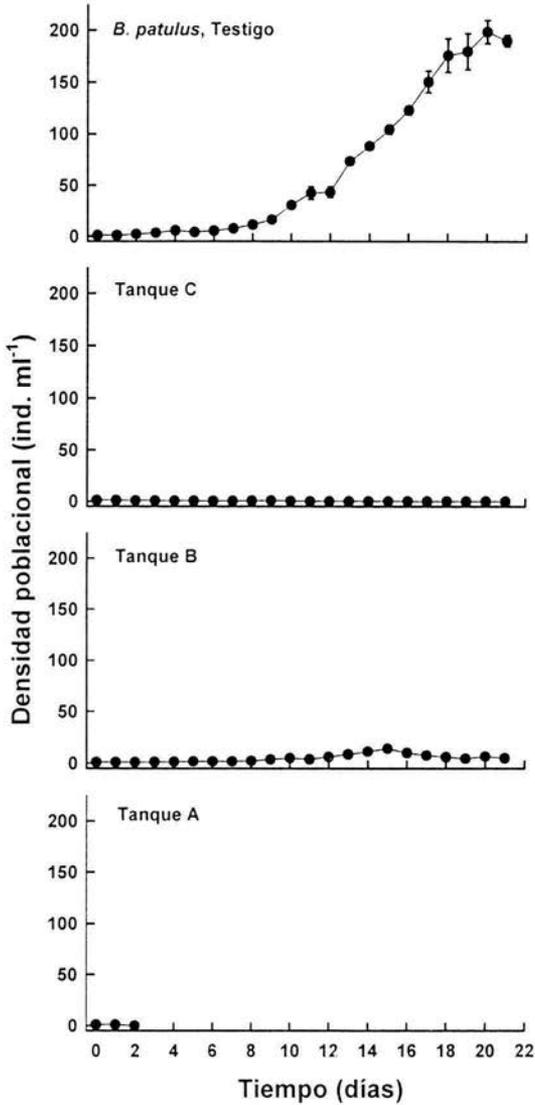


Figura 2. Curvas de crecimiento poblacional de *Brachionus patulus*, en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

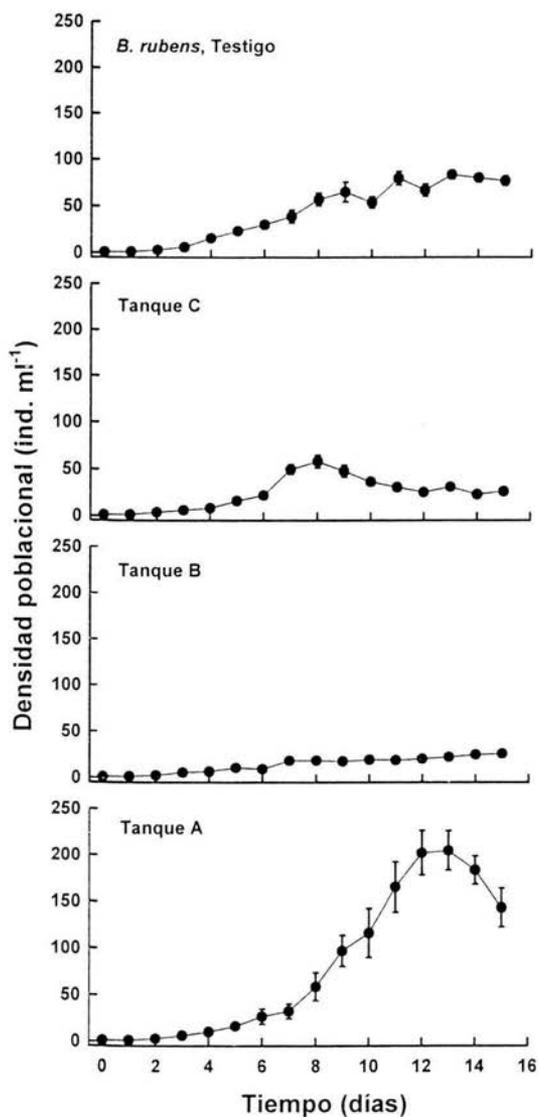


Figura 3. Curvas de crecimiento poblacional de *Brachionus rubens*, en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

Tomando como base las curvas de crecimiento poblacional, *Brachionus patulus*, alcanzó una abundancia mayor de 204 ± 10 ind ml^{-1} en testigo pero, en el tratamiento de C y A estos individuos no alcanzan más que la densidad inicial. En aguas de tratamiento B hubo una poca abundancia (14 ± 1 ind ml^{-1}) (figura 4); estadísticamente, los valores de abundancia máxima fueron significativos entre diferentes tipos de alimento (tabla 1 $p < 0.001$, prueba de F).

Los valores de abundancia máxima de *Brachionus rubens* presentados en la figura 4; en testigo, alcanzaron una densidad de 89 ± 6 ind ml^{-1} pero, en el tratamiento C y B dichos valores son bajos (30 y 60%, respectivamente). *Brachionus rubens* bajo aguas de tipo A, alcanzó más del doble del control. Estadísticamente, las diferencias en las abundancias máximas bajo diferentes tratamientos fueron altamente significativas (tabla 1 $p < 0.001$, prueba de F).

El análisis de varianza reveló que las diferencias entre tipos de alimento, con respecto a la abundancia máxima fueron menos significativas, en relación con las otras especies (tabla 1 $p < 0.01$, prueba de F).

Los datos de día de abundancia máxima de *Brachionus calyciflorus* se presentan en la figura 5. A *Brachionus calyciflorus* le tomó más del doble de tiempo (10 ± 1 día) en el testigo alcanzar su abundancia máxima en comparación con los tratamientos C y B, para los que dicho valor fue semejante. Los datos de abundancia máxima de *Brachionus calyciflorus* utilizando aguas de tipo A no se puede presentar por ausencia de crecimiento poblacional. Un análisis de varianza reveló diferencias significativas entre diferentes tipos de alimento con respecto al día de abundancia (tabla 2 $p < 0.001$, prueba de F).

El día de abundancia máxima de *Brachionus patulus* indica que no hay un patrón definitivo; sin embargo, en el control toma más tiempo (alrededor del día 19 ± 0.7 días) para alcanzar una abundancia máxima. Los organismos con tratamiento de agua de tipo B alcanzaron la abundancia máxima el día 15 y los

organismos bajo el tratamiento de tipo C la abundancia máxima se presentó el día 4 ± 2 días. Estadísticamente estos valores fueron significativos (tabla 2 $p < 0.001$, prueba de F).

Tabla 1. Resultados de análisis de varianza. Gl grado de libertad, Sc suma de cuadrado, Pc Promedio de cuadrado, F-relación (Fisher), *** = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$, * = $p < 0.05$, ns = no significativo ($p > 0.05$)

Parámetros	gl	sc	pc	F-relación
<i>B. calyciflorus</i>				
Abundancia máxima				
Tipo de alimento	3	26635.176	8878.39	375.8***
Error	12	283.469	23.62	
<i>B. patulus</i>				
Abundancia máxima				
Tipo de alimento	3	118479.078	39493.03	376.47***
Error	12	1258.844	104.90	
<i>B. rubens</i>				
Abundancia máxima				
Tipo de alimento	3	78347.172	26115.72	37.68***
Error	12	8317.703	693.14	

Los valores de día de abundancia máxima de *Brachionus rubens* se presentan en la figura 5; en este caso tampoco hay un patrón definitivo, pero, estadísticamente fueron significativos (tabla 2 $p < 0.001$, prueba de F), En general *Brachionus rubens* alcanzó una abundancia máxima en todos los tratamientos entre los 8 y 14 días

La tasa de crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus* varió de 0 (con aguas de tipo A) hasta 0.3 ± 0.005 por día⁻¹ en el testigo; la tasa de crecimiento de *Brachionus calyciflorus* bajo aguas de tratamiento C fue intermedia en relación con los demás tratamientos (figura 6).

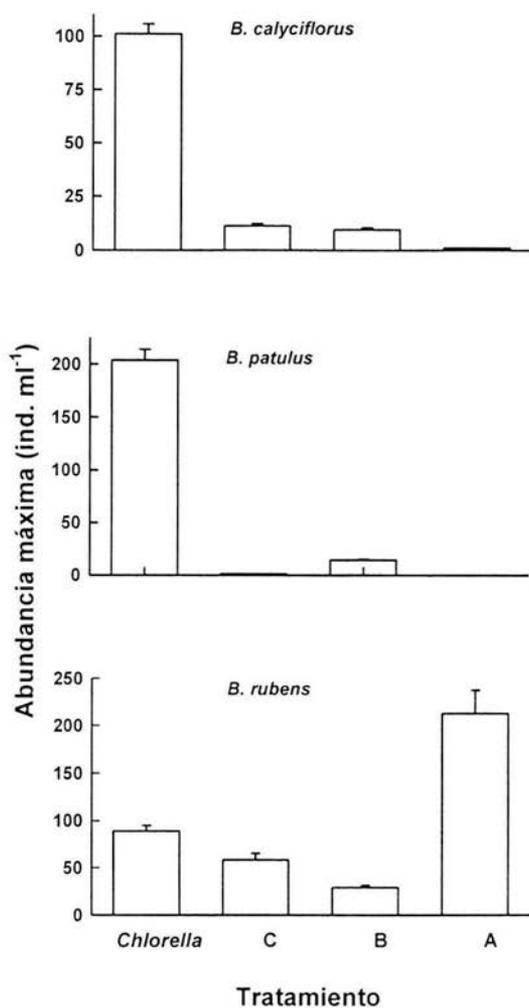


Figura 4. Datos de abundancia máxima de 3 especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus patulus* y *Brachionus rubens*) en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

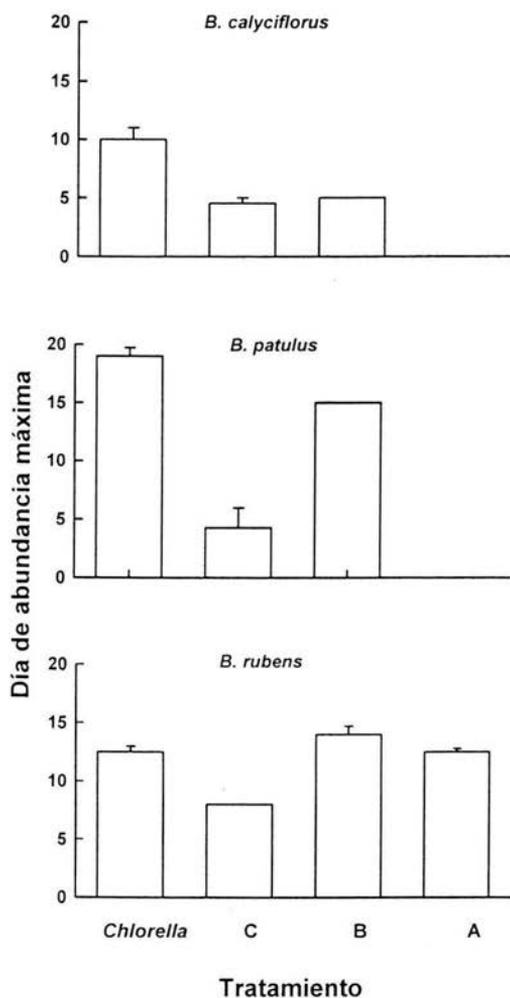


Figura 5. Datos de día de abundancia máxima de 3 especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus patulus* y *Brachionus rubens*) en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

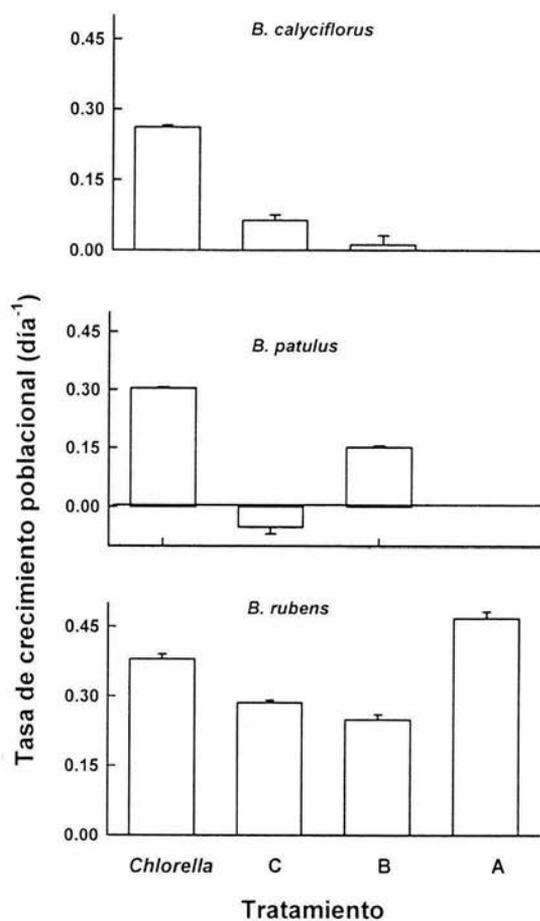


Figura 6. Datos de tasa de crecimiento de 3 especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*, *Brachionus patulus* y *Brachionus rubens*) en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

El análisis de varianza indicó que las diferencias con respecto al valor de r fueron significativas (tabla 3 $p < 0.001$, prueba de F)

La tasa de crecimiento poblacional de *Brachionus patulus* bajo diferentes tratamientos es presentada en la figura 6. En el testigo, *Brachionus patulus*, obtuvo un valor de 0.3 ± 0.002 por día, lo cuál es el doble del tratamiento con agua de tipo B. Los valores de r fueron negativos bajo tratamiento C, las diferencias entre ellos fueron estadísticamente significativas (tabla 3 $p < 0.001$, prueba de F).

Tabla 2. Resultados de análisis de varianza. Gl grado de libertad, Sc suma de cuadrado, Pc Promedio de cuadrado, F-relación (Fisher), *** = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$, * = $p < 0.05$, ns = no significativo ($p > 0.05$)

Parámetros	gl	sc	pc	F-relación
<i>B. calyciflorus</i>				
Día de abundancia máxima				
Tipo de alimento	3	164.750	54.92	43.93***
Error	12	15.000	1.25	
<i>B. patulus</i>				
Día de abundancia máxima				
Tipo de alimento	3	869.500	289.83	83.81***
Error	12	41.500	3.46	
<i>B. rubens</i>				
Día de abundancia máxima				
Tipo de alimento	3	72.750	24.25	32.33***
Error	12	9.000	0.75	

Brachionus rubens, tuvo una alta tasa de crecimiento poblacional, misma que fue alrededor de 0.5 ± 0.01 por día bajo tratamiento A, lo cual es más altamente observado en el estudio; el testigo de *Brachionus rubens* tiene un valor de r 20% menor que el del tratamiento A, dichos valores bajaron en los tratamiento B y C. El análisis de varianza indicó que las diferencias entre los tipos de alimento son estadísticamente significativas (tabla 3 $p < 0.001$, prueba de F).

Tabla 3. Resultados de análisis de varianza. Gl grado de libertad, Sc suma de cuadrado, Pc Promedio de cuadrado, F-relación (Fisher), *** = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$, * = $p < 0.05$, ns = no significativo ($p > 0.05$)

Parámetros	gl	sc	Pc	F-relación
<i>B. calyciflorus</i>				
Tasa de crecimiento				
Tipo de alimento	2	0.135	0.07	93.80***
Error	9	0.006	0.00	
<i>B. patulus</i>				
Tasa de crecimiento				
Tipo de alimento	2	0.256	0.13	309.54***
Error	9	0.04	0.00	
<i>B. rubens</i>				
Tasa de crecimiento				
Tipo de alimento	3	0.115	0.04	78.52***
Error	12	0.006	0.00	

8.3 Tabla de vida demográfica de *Brachionus rubens*

Los resultados obtenidos en el estudio de tabla de vida demográfica indican que las aguas de desecho, crudas o con previo tratamiento afectan de manera

estadísticamente significativa los diversos parámetros que componen dicha tabla, a excepción del tiempo generacional.

Los datos de esperanza de edad específica de *Brachionus rubens* bajo cuatro diferentes tratamientos se presentan en la figura 7. En el testigo, así como en los tratamientos C y B hay una tendencia de decremento de edad específica con respecto al tiempo; pero en el tratamiento A durante los primeros 2 días el valor de esperanza de vida baja, habiendo un aumento y finalmente se exhibe una tendencia semejante al testigo. En los tratamientos con aguas de tipo C y B, la esperanza de vida fue baja en relación con los otros dos tratamientos.

Las curvas de sobrevivencia de edad específica que se presentan en la figura 8; en donde en los primeros 4 días se observa poca mortalidad en el testigo, observándose poca sobrevivencia con respecto a los tratamientos C y B, prolongándose un poco más en aguas de tipo A.

La fecundidad de *Brachionus rubens*, con respecto a diferentes edades se presenta en la figura 9. En general en el testigo, la fecundidad exhibió una mayor duración que los otros tratamientos. Los organismos bajo tratamiento de tipo C exhibieron un patrón de fecundidad semejante a una curva de distribución normal en comparación con los organismos bajo tratamiento B; los rotíferos bajo tratamiento de agua de tipo A tuvieron una fecundidad de largo tiempo.

La distribución de edad estable de *Brachionus rubens*; bajo diferentes tratamientos se presentan en la figura 10. Las curvas de distribución fueron semejantes en el testigo y tanque C, pero sumamente diferentes en los tratamientos B y A. Algunos parámetros derivados de la tabla de vida demográfica de *Brachionus rubens*, bajo diferentes tratamientos se presentan en la tabla 4. En general, el promedio de vida y esperanza de vida de nacimiento decrece desde control a través de tanque C B y A. La alta duración de vida fue en el testigo (8 ± 0.3 días) pero en el tratamiento de tipo A (2 ± 0.1 días) esta duración fue sumamente baja.

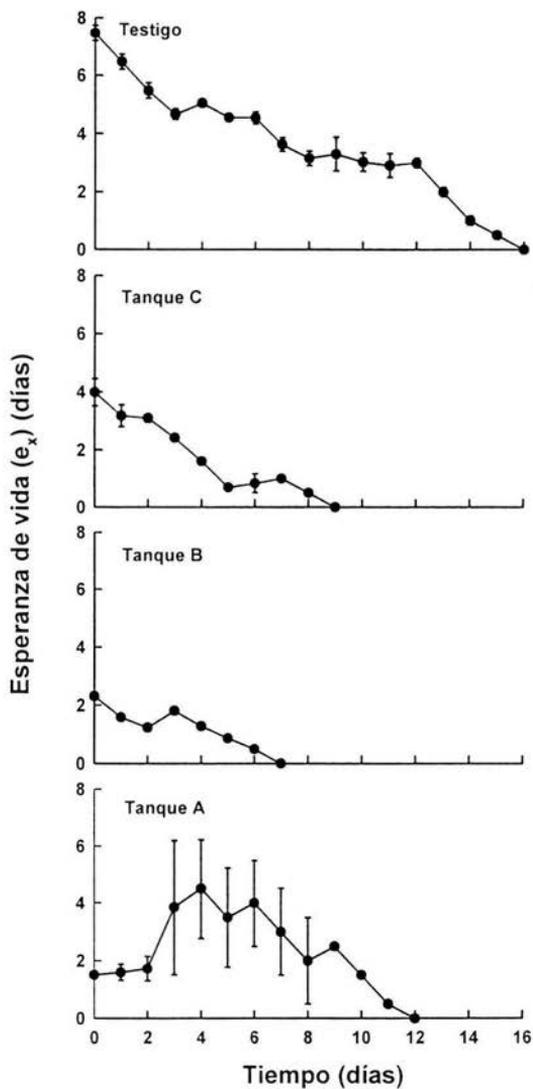


Figura 7. Curvas de esperanza de vida edad específica de *Brachionus rubens* en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

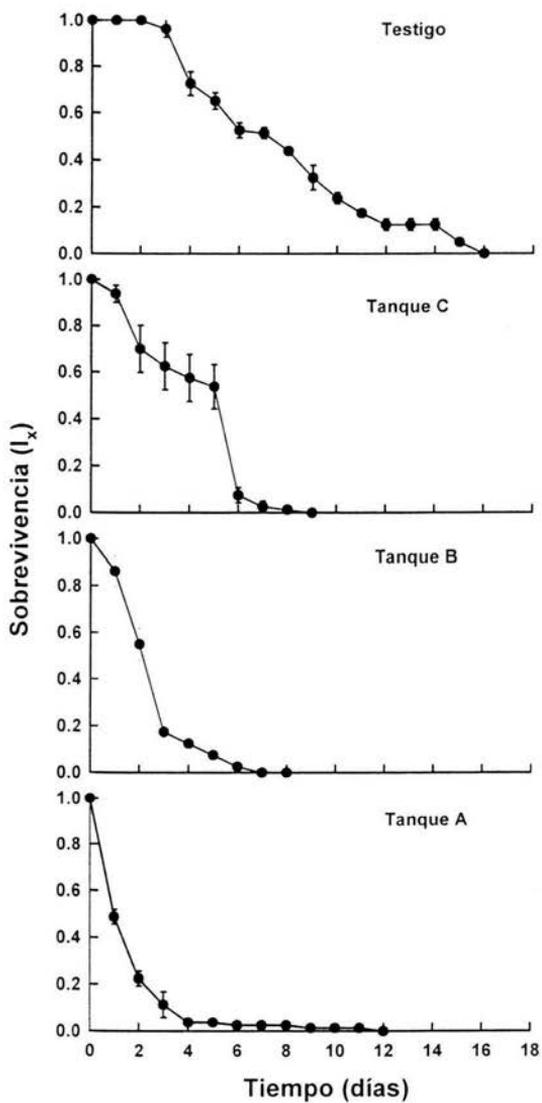


Figura 8. Curvas de sobrevivencia de *Brachionus rubens* en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

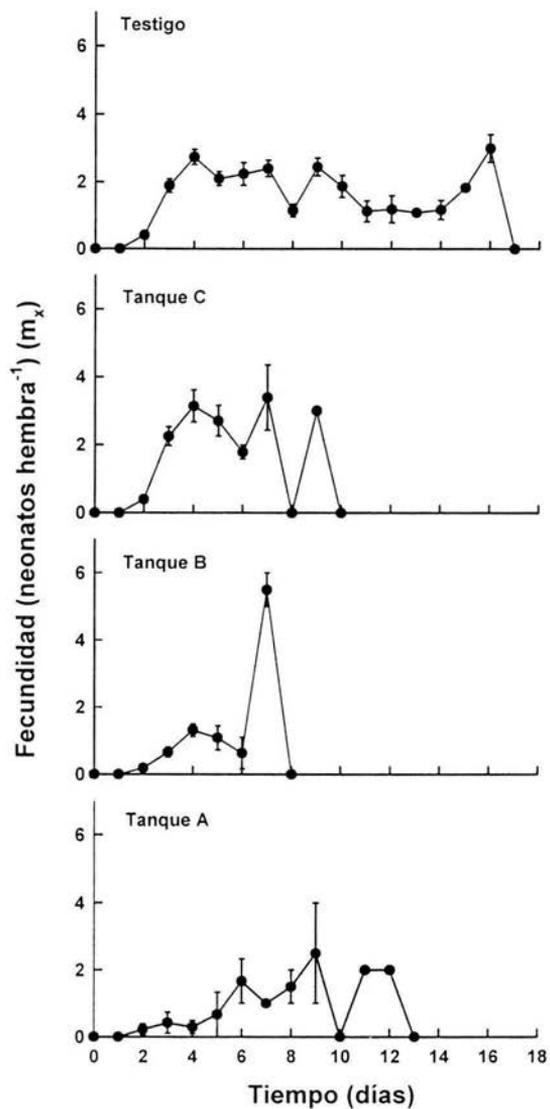


Figura 9. Curvas de fecundidad de *Brachionus rubens* en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

La tasa de reproducción bruta y la tasa de reproducción neta decrecieron desde control hasta el tratamiento A. El alto valor de reproducción neta fue de 13 ± 0.4 neonatos por hembra en el testigo, mientras que casi 1 ± 0.3 neonatos por hembra en tratamiento de tipo A. La tasa de crecimiento poblacional derivada de la tabla de vida fue de 0.8 ± 0.04 por día en el testigo, pero los valores fueron negativos en los tratamientos B y A. Todos los parámetros indicados en la tabla 4 exhibieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tabla 5 $p < 0.001$, prueba de F).

Tabla 4. Variables de historia de vida de *B. rubens* bajo tratamientos de agua de desecho de tanque C, B, A y testigo (alga). Variables mencionadas son: promedio de vida (días), esperanza de vida (días), tasa de reproducción bruta (neonatos hembra⁻¹), tasa de reproducción neta (neonatos hembra⁻¹), tiempo generacional (días) y tasa de crecimiento poblacional (día⁻¹).

Prom. de vida	Esp. de vida	Tasa de rep. bruta	Tasa de rep. Neta	Tiempo generacional	Tasa de crec. pob.
Testigo					
7.97±	7.47±	26.63±	12.57±	5.17±	0.76±
0.27	0.27	0.49	0.44	0.19	0.04
Trat. C					
4.48±	3.99±	13.55±	6.35±	3.28±	0.65±
0.46	0.47	0.53	0.70	0.07	0.04
Trat. B					
2.81±	2.31±	6.61±	1.05±	2.93±	-0.0008±
0.17	0.17	1.71	0.21	0.14	0.07
Trat. A					
2.01±	1.51±	6.10±	0.52±	3.87±	-0.44±
0.13	0.13	2.55	0.25	0.83	0.32

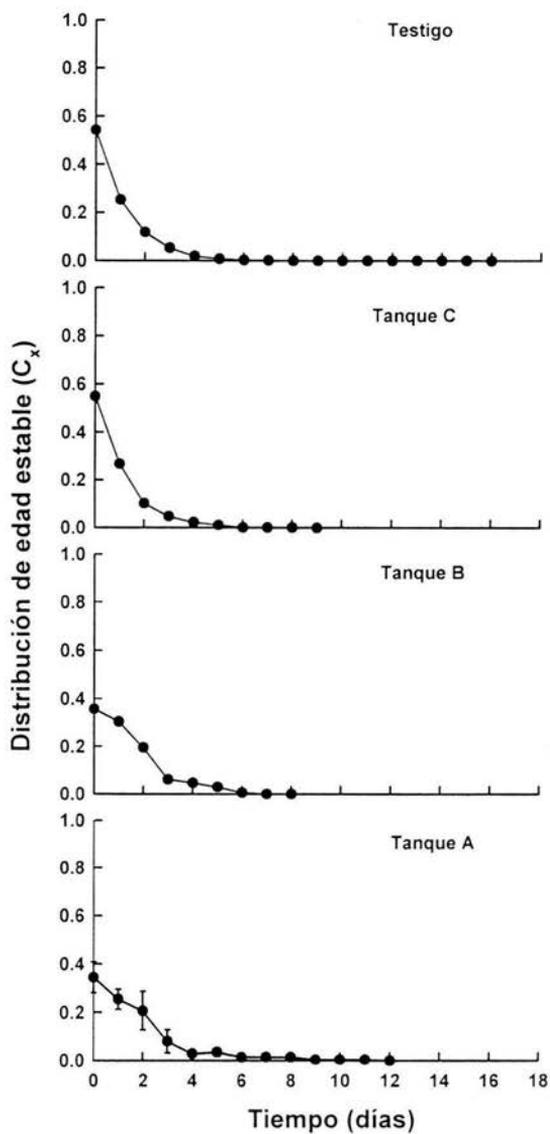


Figura 10. Curvas de distribución de edad estable de *Brachionus rubens* en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

Tabla 5. Resultados de análisis de varianza. Gl grado de libertad, Sc suma de cuadrado, Pc Promedio de cuadrado, F-relación (Fisher), *** = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$, * = $p < 0.05$.

Parámetros	gl	sc	pc	F-relación
<i>B. rubens</i>				
Promedio de vida				
Tipo de alimento	3	83.937	27.98	83.25***
Error	12	4.033	0.34	
Esperanza de vida				
Tipo de alimento	3	83.937	27.98	83.25***
Error	12	4.033		
Reproducción bruta				
Tipo de alimento	3	1097.514	365.84	36.70***
Error	12	119.625	9.97	
Reproducción neta				
Tipo de alimento	3	379.075	126.36	159.19***
Error	12	9.525	0.79	
Tiempo generacional				
Tipo de alimento	3	11.606	3.87	5.06*
Error	12	9.168	0.76	

8.5 Crecimiento poblacional y calidad alimenticia de *Asplanchna sieboldi*

Las curvas de crecimiento poblacional del depredador *Asplanchna sieboldi*, usando *Brachionus rubens* como presa, mismos que fueron cultivados utilizando cuatro diferentes tipos de alimento, se presentan en la figura 11. El crecimiento poblacional de *Asplanchna sieboldi* fue semejante en testigo y en aguas de tipo C; sin embargo, utilizando *Brachionus rubens* cultivados en agua de tipo B, *Asplanchna sieboldi* presentó un crecimiento durante los primeros cuatro días, después se mantuvo estable. *Asplanchna sieboldi* que tuvo por presa *Brachionus rubens* crecidos en aguas de tipo A, creció más lento que los demás tratamientos, aunque su densidad fue mayor.

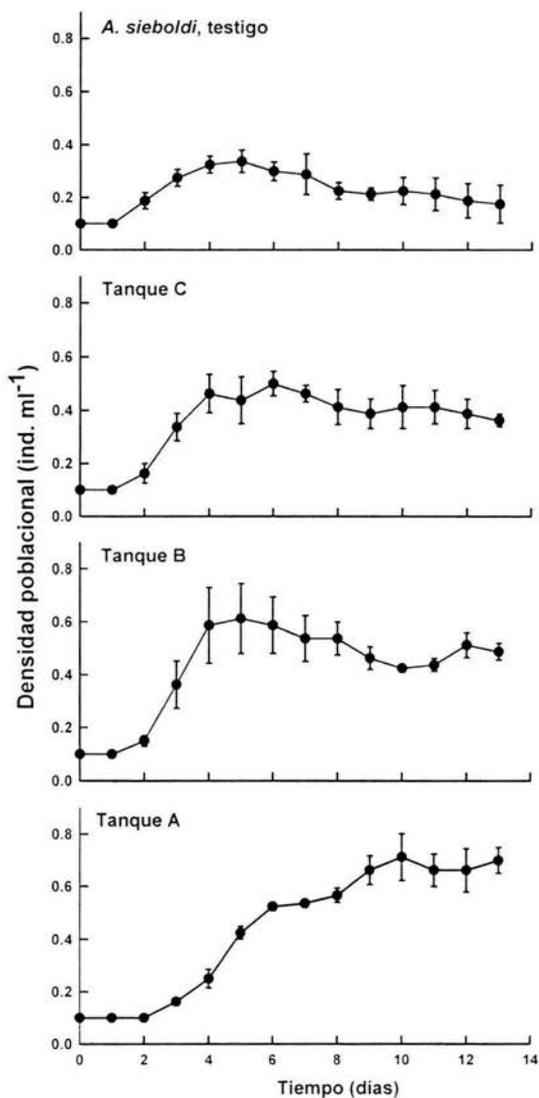


Figura 11. Curvas de crecimiento poblacional de *Asplanchna sieboldi*, con presas (*Brachionus rubens*) cultivadas en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

Abundancia máxima de *Asplanchna sieboldi*

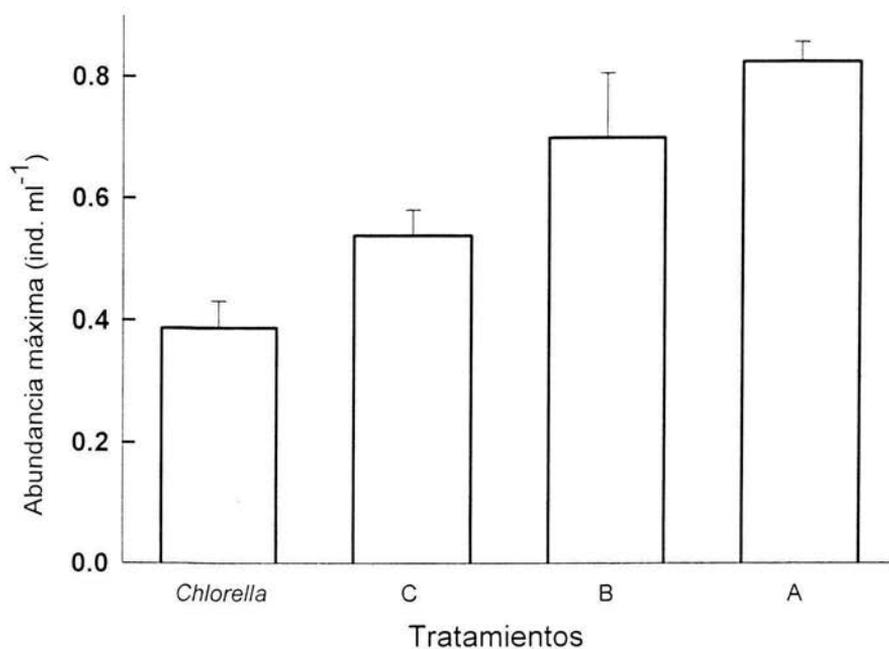


Figura 12. Datos de abundancia máxima de *Asplanchna sieboldi* con presas (*Brachionus rubens*) cultivadas en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

De acuerdo con las curvas de crecimiento de *Asplanchna sieboldi*, exhibió una tendencia de abundancia máxima que alcanzó la más alta abundancia con presa cultivada en agua cruda, decreciendo en aquellos medios con presas cultivadas bajo tratamientos C, B y testigo. El alto valor de abundancia máxima de *Asplanchna sieboldi* encontrado en este estudio es de alrededor de 0.71 ± 0.09 ind ml^{-1} con tratamiento A (figura 12), inversa con respecto del tipo de alimento. El análisis de varianza reveló que las diferencias entre tipos de alimento, con respecto a la abundancia máxima fueron poco significativas (tabla 6 $p < 0.01$, prueba de F).

Tabla 6. Resultados de análisis de varianza. Gl grado de libertad, Sc suma de cuadrado, Pc Promedio de cuadrado, F-relación (Fisher), *** = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$, * = $p < 0.05$, ns = no significativo ($p > 0.05$)

Parámetros	gl	sc	pc	F-relación
<i>Asplanchna sieboldi</i>				
Abundancia máxima				
Tipo de alimento	3	0.436	0.15	9.12**
Error	12	0.191	0.02	

Los datos de día de abundancia de *Asplanchna sieboldi*, se presentan en la figura 13. A *Asplanchna sieboldi* le tomó más tiempo para alcanzar el día de abundancia máxima. En el tratamiento A en comparación con los otros tratamientos, incluyendo el testigo. Estadísticamente, las diferencias entre ellos fueron no significativos (tabla 7 $p > 0.05$, prueba de F).

Tabla 7. Resultados de análisis de varianza. Gl grado de libertad, Sc suma de cuadrado, Pc Promedio de cuadrado, F-relación (Fisher), *** = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$, * = $p < 0.05$, ns = no significativo ($p > 0.05$)

Parámetros	gl	sc	Pc	F-relación
<i>Asplanchna sieboldi</i>				
Día de abundancia máxima				
Tipo de alimento	3	61.250	20.42	2.77 ns
Error	12	88.500	7.38	

Día de abundancia máxima de *A. sieboldi*

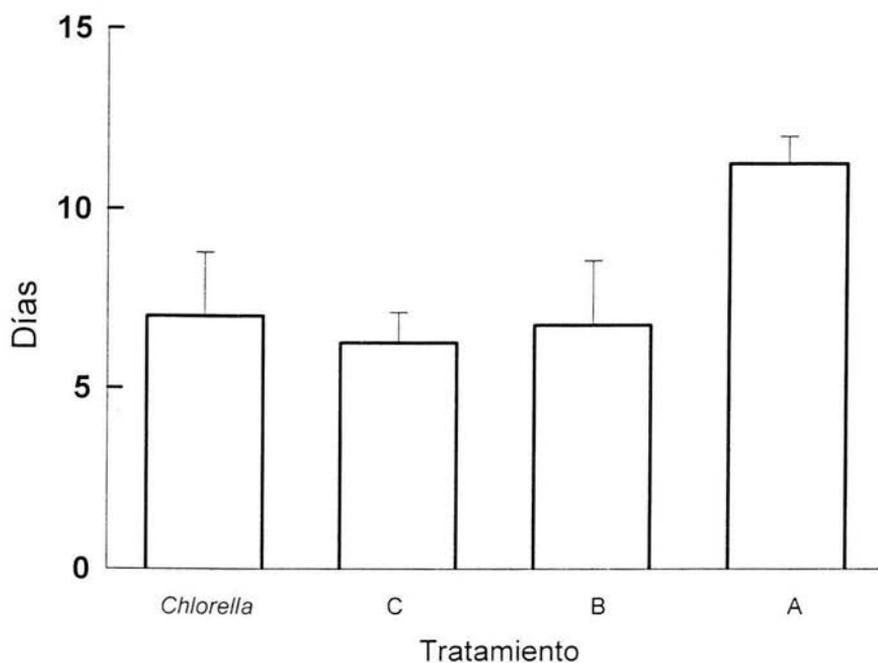


Figura 13. Datos de día de abundancia máxima de *Asplanchna sieboldi* con presas (*Brachionus rubens*) cultivadas en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

Tasa de crecimiento poblacional de *Asplanchna sieboldi*

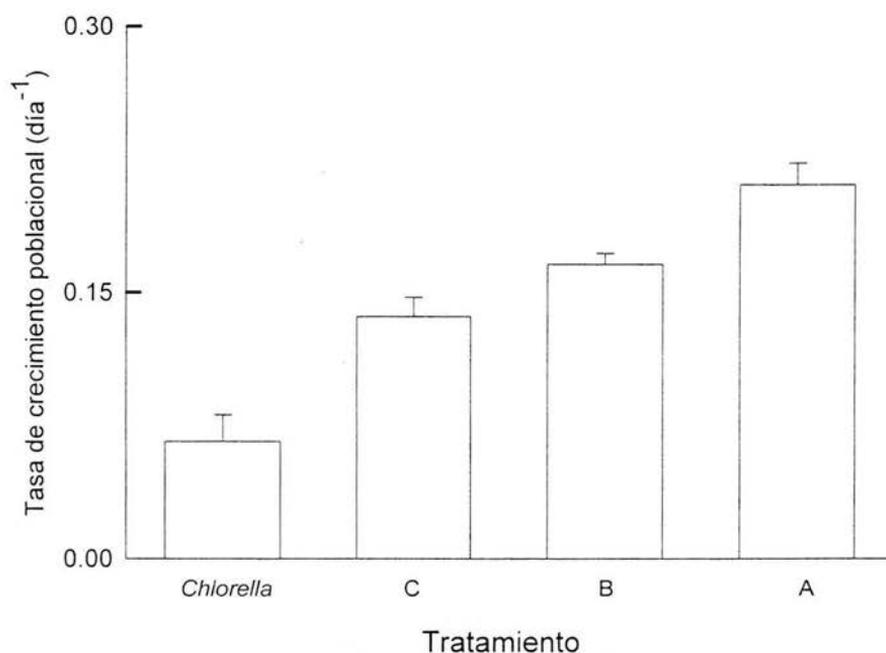


Figura 14. Datos de tasa de crecimiento poblacional de *Asplanchna sieboldi* con presas (*Brachionus rubens*) cultivadas en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

De acuerdo a la abundancia máxima *Asplanchna sieboldi* exhibió una tendencia de tasa de crecimiento poblacional, en donde los valores mayores (0.20 ± 0.01) fueron con tratamiento A; disminuyendo un 70% en el grupo testigo (figura 14). Las diferencias entre ellos, estadísticamente fue significativa (tabla 8 $p < 0.001$, prueba de F).

Tabla 8. Resultados de análisis de varianza. Gl grado de libertad, Sc suma de cuadrado, Pc Promedio de cuadrado, F-relación (Fisher), *** = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$, * = $p < 0.05$, ns = no significativo ($p > 0.05$)

Parámetros	gl	sc	Pc	F-relación
<i>A. sieboldi</i>				
Tasa de crecimiento				
Tipo de alimento	3	0.044	0.01	27.88***
Error	12	0.006	0.00	

El tamaño del depredador *Asplanchna sieboldi*, bajo diferentes tratamientos osciló en un rango de 861 ± 41 hasta 1154 ± 40 μm (figura 15). Los individuos adultos de mayor talla se encontraron en medios con presa *Brachionus rubens* cultivada en aguas de tipo A; y los individuos de pequeño tamaño fueron aquellos que tuvieron por presa *Brachionus rubens* cultivados en aguas de tipo C. En aquellos en los que la presa se cultivó en *Chlorella* la longitud promedio de individuos adultos fue 8% inferior a la de los individuos con presas cultivadas en aguas de tipo A. Las diferencias entre ellos fueron significativas (tabla 9 $p < 0.001$, prueba de F).

Tabla 9. Resultados de análisis de varianza. Gl grado de libertad, Sc suma de cuadrado, Pc Promedio de cuadrado, F-relación (Fisher), *** = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$, * = $p < 0.05$, ns = no significativo ($p > 0.05$)

Parámetros	gl	Sc	pc	F-relación
<i>A. sieboldi</i>				
Longitud				
Tipo de alimento	3	255842.000	85280.67	9.20***
Error	16	148330.000	9270.63	

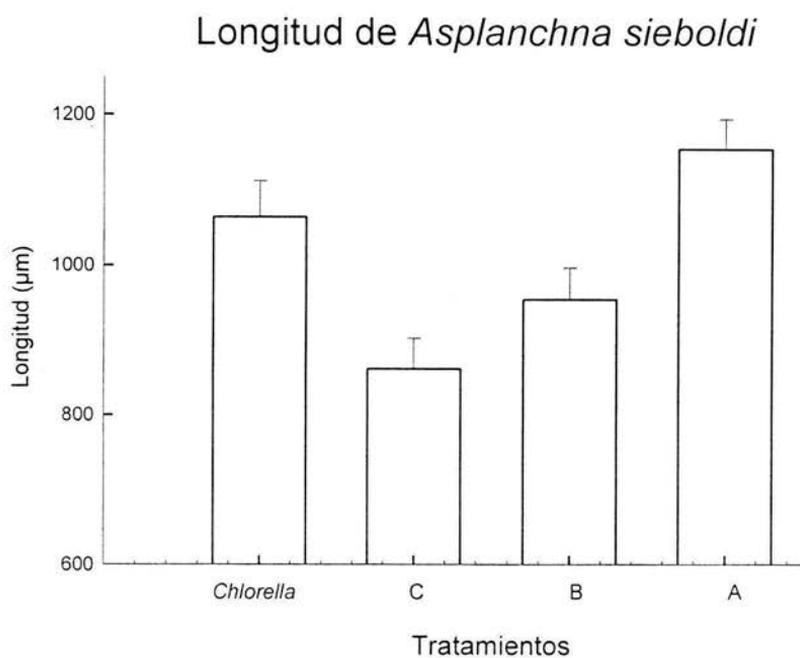


Figura 15. Datos de longitud de *Asplanchna sieboldi* con presas (*Brachionus rubens*) cultivadas en *Chlorella*, agua tratada (tanque C), agua del reactor biológico (tanque B) y agua cruda (tanque A), presentando valores promedio y barras de error estándar de cuatro réplicas por tratamiento.

9. DISCUSIÓN

Este estudio demostró que las aguas de desecho urbano de la Cd. de México pueden ser utilizadas para el crecimiento de los rotíferos. Es posible que no todas las especies de rotíferos hayan podido crecer en las aguas de desecho indicadas, debido a la relativa sensibilidad del zooplancton. En un estudio anterior, Stevenson *et al.*, (1998), mostraron que las aguas de desecho de la industria procesadora de alimento (agua de nejayote) pueden ser utilizadas eficientemente en el cultivo del rotífero *Brachionus calyciflorus* con, o sin adición de alga. En dicho estudio se tuvo la necesidad de diluir el agua de desecho antes de ser utilizada como alimento para rotíferos. Lo anterior sugiere que las aguas de desecho no se pueden utilizar directamente como alimento para zooplancton, debido posiblemente a la presencia de una alta concentración de materia orgánica en forma suspendida y disuelta. En el presente estudio, las aguas de desecho de los tanques C, B y A presentan diferentes niveles de tratamiento, incluyendo la remoción y la disolución de ciertas sustancias, además de la eliminación de muchos desechos suspendidos a través de la sedimentación. Esto permitió que la mayoría de las especies de zooplancton utilizadas, sobreviviera parcialmente en aguas de desecho del tanque B y C. En aguas del tanque A, solo *Brachionus rubens* pudo crecer.

Entre las diferentes técnicas de campo de cultivo de rotíferos; para su uso como alimento para larvas de peces y crustáceos; el uso de los desechos orgánicos, tanto de cerdo, como de res, reciben una atención considerable, especialmente en las naciones tropicales (Sarma, 1991). Generalmente, las altas temperaturas, la relativa y alta disponibilidad de desechos de ganado en los países tropicales impulsan muchas investigaciones sobre el uso de desechos urbanos en la producción de zooplancton. Por ejemplo, usando desechos de cerdo Groeneweg y Schluter en 1981 obtuvieron una alta producción (alrededor de 500 ind. ml⁻¹) de *Brachionus rubens* en estanques. El presente estudio, aunque *Brachionus rubens* nunca alcanzó un valor superior a los 250 ind. ml⁻¹, indica que es posible que algunas especies de rotíferos son capaces de usar desechos

orgánicos en la forma cruda (del tanque A, que recibe aguas crudas de desechos urbanos)

El uso de desechos orgánicos para la producción de rotíferos tiene una limitación; desde el punto de patógenos, tales como bacterias. Sin embargo, algunos rotíferos pueden ser utilizados como indicadores, ya que pueden alimentarse de las bacterias patógenas que hay en las aguas de desecho reduciendo la posibilidad de infección de importantes especies en acuicultura, tales como camarones y peces (Sarma, 1991). En el presente estudio, posiblemente también estaban presentes numerosas bacterias patógenas y no patógenas en las aguas de desecho, especialmente en las aguas crudas del tanque A. Por lo que, *Brachionus rubens* creció eficientemente en esta agua. Aparentemente esta especie de rotífero está bien adaptada al agua de desecho. Nogrady (1982), mostró que *Brachionus patulus* se asociaba frecuentemente con las plantas tratadoras de aguas de desecho. Aún no se conoce en extenso las especies capaces de usar los desechos. Posiblemente, es necesario un tratamiento parcial de los desechos para que estas especies puedan utilizarlos de manera efectiva. En un estudio, en donde se utilizaron diferentes tipos de alimento, Sarma *et al* (2001) mostraron que *Brachionus patulus* es capaz de utilizar alimento que no sea alga, por ejemplo la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), más eficientemente que *Brachionus calyciflorus*. Sin embargo, en altas concentraciones de células de levadura, la población de *Brachionus calyciflorus* mostró un pequeño crecimiento (Sarma *et al*, 1991). En el presente estudio también, *Brachionus calyciflorus* no logró mucho crecimiento en los tratamientos que contenían aguas de desecho, mientras que en el testigo la población alcanzó un valor de más de 100 ind. ml⁻¹.

A pesar del tipo de tratamiento, los patrones de las curvas de crecimiento poblacional obtenidos en este estudio fueron típicamente similares a los reportados en literatura. Por ejemplo, Halbach (1979) mostró una curva típica de crecimiento poblacional de *Brachionus calyciflorus*, con una larga fase inicial, fase exponencial, fase de estabilización y una fase de disminución. Todas esas fases la

presentan en su mayoría los rotíferos braquiiónidos entre los 15 y los 20 días (Sarma y Nandini, 2001; Sarma et al., 2001). Este patrón de curva de crecimiento en el presente estudio se observó en *Brachionus calyciflorus* en el grupo testigo (figura 1). Sin embargo, la ausencia de los patrones típicos en las curvas de crecimiento de algunos de los rotíferos utilizados bajo ciertos tratamientos, podría ser debido al estrés o a la carencia de adaptación; e incluso a una inhabilidad de usar aguas de desecho como fuente de alimento. Por ejemplo, Gama-Flores *et al* (1999) mostraron que bajo estrés tóxico se producen muchas desviaciones fuertes en los patrones típicos de las curvas de crecimiento de los rotíferos, especialmente durante fases muy largas. En el presente estudio, también esta fase se prolongó en *Brachionus patulus* y *Brachionus calyciflorus* bajo ciertas condiciones de agua de desecho, y que podría ser debido al estrés (ausencia de tipos apropiados de alimento).

En los estudios de especies implicadas en los métodos de crecimiento poblacional, se consideran 3 parámetros como los más importantes; estos son: a) pico de abundancia poblacional, b) el día en que se alcanzó el pico de población y c) la tasa de crecimiento poblacional. En el presente estudio se derivaron todas esas variables; donde todas las réplicas de los tratamientos alcanzaron un pico de abundancia poblacional en el mismo día, entonces, la densidad poblacional máxima mostradas en las curvas de crecimiento es suficiente para interpretar los resultados. Esto es una situación ideal que generalmente no ocurre. Por tanto, para calcular los valores de abundancia, se consideró la mayor densidad de cada una de las réplicas de los tratamientos (Sarma *et al.*, 1998a). Esto se siguió también en este estudio. Independientemente de los tratamientos, las grandes especies, generalmente tienen un bajo número de abundancia, aunque sean con concentraciones de alimento semejantes. En el presente estudio también esta tendencia es claramente visible. De las 4 especies de rotíferos probadas, *Asplanchna sieboldi* es la de mayor longitud (superior a 1200 μm de longitud). Por lo tanto, tiene una baja abundancia numérica ($<1 \text{ ind. ml}^{-1}$). De hecho, de las especies de *Asplanchna*, nunca se ha reportado que hayan alcanzado una abundancia superior a los 40 ind. ml^{-1} , incluso cuando se ofrecen presas donde la

abundancia es de 5000 ind.ml⁻¹ (Dumont y Sarma, 1995). Por otra parte, los braquiiónidos son mucho más pequeños (menos de 400 µm) y por lo tanto pueden superar fácilmente los 100 ind ml⁻¹. Esto también fue observado en el presente estudio. Dentro de las 3 especies de braquiiónidos seleccionados, *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus patulus* son de mayor talla que *Brachionus rubens* y por lo tanto los valores de abundancia poblacional fueron bajos en las otras dos especies de *Brachionus*. Independientemente del tipo de tratamiento, los valores de abundancia poblacional de los rotíferos utilizados se observan dentro del rango reportado en la literatura (> 1000 ind ml⁻¹ de *B. patulus*, Lucía-Pavón *et al.*, 2001).

El día en donde se alcanzó el pico de densidad poblacional solo varió dependiendo del tipo de alimento y su concentración; y taxa de los rotíferos utilizados en este estudio. Generalmente, las grandes especies alcanzaron su pico de abundancia poblacional más temprano que los de tamaño pequeño, dada la concentración de alimento. En el presente estudio esta tendencia también es visible en algunas prolongaciones (*Asplanchna* vs *Brachionus patulus*). En un estudio anterior, Sarma *et al.* (1998) mostraron que los picos de abundancia poblacional de *Brachionus calyciflorus* se obtienen también de 10 a 12 días. Los datos en este estudio son de acuerdo con los disponibles en literatura.

La tasa de crecimiento poblacional por día (r) es variable y sensible a otras dos variables: a) incremento en la densidad poblacional y b) el tiempo requerido para lograrlo. Debido a que esta combinación influye, esta variable es comúnmente más utilizada a evaluar la toxicidad y la gran variedad de sustancias (Gama-Flores *et al.*, 1998). Sarma *et al* (2001) revisó las tasas de crecimiento de la familia *Brachionidae*. De acuerdo con estos investigadores, los valores positivos de r de la mayoría de los miembros del género *Brachionus* varían de 0.2 a 2.0, aunque en muchos casos, este valor es generalmente <1 por día. En el presente trabajo también, los valores de la tasa de crecimiento poblacional fueron entre el rango que normalmente se observa para las otras especies de *Brachionus*. El efecto de las aguas de desecho de los tanques C, B y A en el crecimiento poblacional solo se ve reflejado en los valores de r . En general, cuando las poblaciones crecieron

muy lento, los valores de r también llegaron a ser bajos. Esta tendencia también se observó para *Brachionus rubens* en aguas de tipo C, donde los individuos se incrementaron lentamente en la primer semana. Aunque la densidad final alcanzada por esta población fue alta después del día 8; el lento crecimiento inicial de la población contribuyó a los bajos valores de r cuando se compararon los testigos (Figura 3). Dumont y Sarma (1995) mostraron que los rotíferos depredadores en general, del género *Asplanchna* tienen altos valores de r de 1 por día. Esto es porque este género tiene un corto tiempo de generación y alcanza rápidamente la edad madura. En el presente estudio también, *Asplanchna sieboldi* como depredador que es, tiene una corta vida. Aunque los valores del pico de abundancia obtenidos por *Asplanchna sieboldi* fueron mucho más bajos que las especies de braquiiónidos utilizadas, los valores de r de *Asplanchna sieboldi* son comparables a los de *Brachionus*, debido al rápido incremento de la densidad poblacional.

La información de la tabla de vida demográfica se considera como complementaria a los datos de dinámica poblacional. Por ejemplo, Sarma y Nandini (2001) mostraron los efectos de varias concentraciones de alimento (*Chlorella*) en *Brachionus variabilis*, mismo que fue cuantificado usando estudios de crecimiento poblacional o métodos de tabla de vida demográfica. En su estudio, como en muchos otros, los estudios de crecimiento poblacional han aportado información de los efectos de los niveles de alimento en los individuos de varias generaciones. Sin embargo, mediante este método, y a través de su aprovechamiento, se conoce el efecto de la concentración de alimento, este método podría no resolver los efectos del alimento en: a) los relacionados a la sobrevivencia y b) aquellos relacionados con la reproducción. Por lo tanto, un método de tabla de vida demográfica fue empleado en los estudios relacionados con *Brachionus variabilis* (Sarma y Nandini, 2001). Es bien conocido que los estudios de tabla de vida demográfica de cohorte, de una población proporcionan información de edad específica, mortalidad y fecundidad, pero no puede proporcionar información de la posible influencia de cierto número de neonatos en el crecimiento de la población (Krebs, 1985), En el presente estudio, como un

ejemplo, una de las 4 especies de rotíferos utilizadas fue seleccionada para el estudio de variables demográficas usando el método de tabla de vida.

Se observaron los datos relacionados a las curvas de sobrevivencia, fecundidad, esperanza de vida y distribución de vida estable de cada clase de edad, para *Brachionus rubens*, en este estudio, en donde en un inicio se documentó para un número de especies de *Brachionus* tal como *Brachionus patulus* (Sarma y Rao, 1991), *Brachionus variabilis* (Sarma y Nandini, 2001) y *Brachionus calyciflorus* (Nandini, 2001). Las desviaciones en los patrones regulares de cada una de esas variables generalmente son usadas en la interpretación de los tipos adecuados de alimentos, así como sus concentraciones. Por ejemplo, Nandini (2001) mostró que la cianobacteria *Microcystis* no fue adecuada para *Brachionus calyciflorus* debido a las desviaciones de las típicas curvas rectangulares de sobrevivencia.

De las muchas variables que generalmente son consideradas como importantes son: promedio de vida, esperanza de vida, tasa de reproducción bruta, tasa de reproducción neta, tiempo generacional y la tasa de crecimiento poblacional que son en gran medida documentadas para muchas especies de rotíferos. En el presente estudio también todas esas variables se derivaron (Tabla 5). El promedio de vida, de muchas especies de *Brachionus* varía dependiendo del tipo de alimento, cantidad y temperatura. Independientemente de esas variables, *Brachionus*, generalmente tiene un promedio de vida de 10-15 días, raramente el promedio es menor (Sarma y Rao, 1991; Sarma y Nandini, 2001). En el presente estudio también el promedio de vida de *Brachionus rubens* fue cercano a los rangos reportados en otros estudios. La tasa de reproducción bruta refleja el patrón de energía asignado para reproducción. En muchos braquiiónidos, después de que se consigue la madurez, a las poblaciones se les puede asignar cerca de 90 % de energía para reproducción. Sin embargo, el consumo de energía del medio ambiente no es balanceado con la energía gastada en la reproducción, dado que en las pruebas poblacionales mueren de manera temprana (Snell and King, 1977) en donde la consecuencia es la reducción de la tasa neta de

reproducción y la tasa de crecimiento. En el presente estudio se compararon los grupos testigo. *Brachionus rubens*, mostró una sobrevivencia pobre en el agua de desecho cruda. Por otra parte, tomando como base los datos de crecimiento poblacional, *Brachionus rubens* creció mejor en dicha agua. Esta aparente anomalía puede ser fácilmente interpretada en términos de condiciones de prueba. Como se menciona en materiales y métodos, en los estudios de crecimiento poblacional y pruebas poblacionales los individuos fueron mezclados (neonatos y adultos), en el estudio de tabla de vida demográfica, las pruebas poblacionales fueron exclusivamente compuestas por neonatos. La considerable muerte de los neonatos en las aguas de desecho de tanque A, en realidad se debieron a que los neonatos son más sensibles a las aguas crudas. En estudios toxicológicos, esto es grandemente confirmado, los neonatos de los rotíferos son más sensibles que los adultos y son utilizados para derivar la concentración media letal (Sarma, 200)

El uso de *Asplanchna sieboldi* como organismo de bioensayo, para detectar la calidad nutricional de los rotíferos crecidos usando aguas de desecho, fue otro aspecto importante considerado en este trabajo. En general, las presas cultivadas (en este caso *Brachionus rubens*) en aguas de desecho, pueden contener niveles adecuados de nutrientes. En este estudio, *Brachionus rubens* creció usando agua de desecho cruda (Tanque A) que podría tener niveles altos de nutrientes de los desechos parcialmente tratados (Tanque B o C), esto fue probado mediante la longitud del cuerpo (Figura 8) de *Asplanchna sieboldi*, misma que obtuvo con *Brachionus rubens* cultivado en agua de tipo A, mayor tasa de crecimiento poblacional y de abundancia. Esta observación se sostiene por un estudio anterior (Sarma *et al.*, 1998b) donde la presa (*Brachionus calyciflorus*) fue crecida en agua de desecho (nejayote), obteniendo un mejor crecimiento poblacional de su depredador (*Asplanchna brightwelli*) con esta, que bajo los tratamientos con alga.

El presente estudio demuestra que el cultivo de ciertas especies de rotíferos en aguas de desecho crudas o parcialmente tratadas es factible, con o sin adición de alga. Este estudio también probó que las aguas de desecho tienen materia orgánica útil, la cuál puede soportar poblaciones de rotíferos comparables a las

densidades que pueden ser alcanzadas usando microalga con una densidad cercana a 1×10^6 . De hecho, no todas las especies utilizadas pueden ser cultivadas usando aguas de desecho, por lo que se sugiere que son necesarias más investigaciones para determinar las especies apropiadas de rotíferos para utilizar aguas de desecho urbano de la Ciudad de México.

10. CONCLUSIONES

- Por su diminuto tamaño los rotíferos pueden alimentarse de bacterias o de materia orgánica, los cuales son abundantes en estos tipos de agua.
- El presente estudio demuestra que el cultivo de ciertas especies de rotíferos en aguas de desecho crudas o parcialmente tratadas es factible, sin adición de alga.
- El crecimiento poblacional de las especies de rotíferos se vio impactado en gran medida por los diferentes tipos de aguas, mismas que tienen materia orgánica útil, la cual puede soportar poblaciones de rotíferos comparables o superiores a las densidades ($205 \pm 22 \text{ ind}\cdot\text{ml}^{-1}$) que pueden ser alcanzadas usando microalga a una densidad cercana a $1 \times 10^6 \text{ céls}\cdot\text{ml}^{-1}$.
- Dada su fase de crecimiento, los neonatos de *B. rubens* no pueden sobrevivir en aguas crudas.
- Dada la biomasa obtenida en los organismos bajo tratamientos con estas aguas, pueden ser utilizados como alimento vivo en la cría de peces. Sin embargo, algunos patógenos posiblemente pueden estar asociados con zooplancton, mismos que deben ser eliminados antes de su utilización en acuicultura.
- En mi estudio se observó que utilizando a *A. sieboldi* como organismo de bioensayo, la calidad nutricional de *Brachionus rubens* cultivados en aguas crudas es semejante a los cultivados con *Chlorella* lo que indica que posiblemente la calidad nutricional es la adecuada para *Asplanchna*. Sin embargo, es necesario determinar la calidad nutricional de estos organismos cultivada en aguas crudas antes de utilizar en acuicultura.

11. REFERENCIAS

- Anón. New York State Department of Health Albany. 1990. Manual de tratamiento de aguas negras. Editorial Limusa Noriega. United States of America. 15-45 pp
- Arora, H. C. 1961. "Rotifera as indicators of pollution". *Bulletin Central Public Health Engineering Research Institute, NAGPUR*. (3) 4: 24
- Barnes, R. D. 1987. Zoología de los invertebrados. Interamericana MacGraw-Hill. México. 258-270
- Barth, R. 1982. The invertebrate world. Saunders College Publishing. United States of America. 173-178 pp.
- Cauchie, H. M., Thys, I., Hoffman, L., Thomé, J. P. 2000. "In situ versus laboratory estimations of length-weight regression and growth rate of *Daphnia magna* (Branchiopoda, Anomopoda) from an aereated waste stabilization pond". *Hydrobiología*. 421: 47-59
- Dumont HJ & Sarma, S. S. S.: 1995. "Demography and population growth of *Asplanchna sieboldi* (Rotifera) as a function of prey (*Anuraeopsis fissa*) density". *Hydrobiologia*. 306: 97-107
- Fahim, F., Fleita, D., Ibrahim, A., El-Dars, M. 2001. "Evaluation of some methods for fish canning wastewater treatment". *Water, Air, and Soil Pollution* **127**: 205-226
- Fair, M., Geyer, C., Okun, A. 1997. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales. Editorial Limusa. México. 547 pp
- Gama-Flores, J. L., Sarma, S. S. S. & Araiza, M. A. F. 1999. "Combined effects of *Chlorella* density and methyl parathion concentration on the population growth of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera)". *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 62(6): 769-755
- Grassé, P. D. Poisson, R. A., Tuzet, O. 1976. Zoología. Toray-masson, S. A. España. 267-272 pp
- Groeneweg, J. y Schluter, M. 1981. "Mass production of freshwater rotifers on liquid wastes 2. Mass production of *Brachionus rubens* Ehrenberg 1838 in

- the effluent of high rate algal ponds used for the treatment of piggery waste". *Aquaculture*. 25: 25-34.
- Halbach, U. 1979. "Introductory remarks: Strategies in the population research exemplified by rotifer population dynamics". *Fortschr. Zool.* 25: 1-27
- Hernández, G., Fardeu, M., Patel, B., Macarie, H., García, J., 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
- Krebs, C. J., 1985. Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance. 3rd edn. Harper & Row, New York.
- Lucía-Pavón, E., Sarma, S. S. S. & Nandini, S. 2001. "Effect of different densities of live and dead *Chlorella vulgaris* on the population growth of rotifers *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera)". *Rev. Biol. Trop.* 49(3): 821-823
- Lutz, P. 1986. Invertebrate zoology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. United States of America. 212-217 pp.
- Marshall, A. 1980. Zoología de invertebrados. Editorial Reverté. Barcelona. 298305 pp.
- Mazari-Hiriart, M., Cifuentes, E., Velásquez, E., Calva, J.: 2000. "Microbiological groundwater quality and health indicators in Mexico City". *Urban Ecosystem* 4: 91-103
- Meglitsch, P. 1978. Invertebrate zoology. Oxford University Press. United States of America. 216-226
- Metcalf & Eddy. 1984. Ingeniería sanitaria. Editorial Labor. Barcelona, España 114-119p
- Metcalf & Eddy. 1985. Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor. Barcelona. 2a. edición. 1-7 pp
- Nandini, S. 1999. "Variations in physical and chemical parameters and plankton community structure in a series of sewage-stabilization ponds". *Rev. Biol. Trop.* 47: 149-156.

- Nandini, S. 2000. "Responses of rotifers and cladocerans to *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae): A demographic study. *Aquatic Ecology* 34: 227-242.
- Nogrady, T. 1982. "Correlation of rotifer associations in a chain of lakes fed by reclaimed sewage". *Hydrobiologia* 89: 277-284.
- Ortiz, M., Sáenz, R.: 1999. "Effects of organic material and distribution of fecal coliforms in Chetumal bay, Quintana Roo, México". *Environmental Monitoring and Assessment* 55: 423-434
- Pechenik, J. 1991. Biology of invertebrates. Wm. C. Brown Publishers. United States of America. 197-203 pp.
- Ramallo, R. 1993. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté. Barcelona, España. 41-530 pp.
- Roche, K. 1998. "Growth of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas in dairy waste stabilization ponds" *Wat. Res.* 29: 10 : 2255-2260.
- Roche, K. 1998. "Growth potential of *Daphnia magna* Straus in the water of dairy waste stabilization ponds" *Wat. Res.* 32: 4: 1325-1328.
- Rusell-Hunter, W. 1979. A life of vertebrates. Macmillan Publishing Co., Inc. New York. 160-161 pp.
- Sarma, S. S. S. 1991. "Rotifers and aquaculture" (Review). *Environ. Ecol.* 9: 414-428
- Sarma, S. S. S. 2000. "The use of rotifers for ecotoxicological studies in Mexico". In: E. Ríos-Jara et al. (eds). Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana Planctología / Universidad de Guadalajara (México): 8-11
- Sarma, S. S. S. & Rao, T., R. 1991. "The combined effects of food and temperature on the life history parameters of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera)". *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 76: 225-239
- Sarma, S. S. S. & Nandini, S. 2001. "Life table demography and population growth of *Brachionus variabilis* Hempel, 1896 in relation to *Chlorella vulgaris* densities". *Hydrobiologia.* 446/447: 75-83
- Sarma, S. S. S., Stevenson, R. A. A. & Nandini, S. 1998. "Influence of food (*Chlorella vulgaris*) concentration and temperature on the population

- dynamics of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera). *Ciencia Ergo Sum* 5(1): 77-81
- Sarma S. S. S., Nandini S. & Stevenson R. A. A. 1998b. "Nutritional quality of prey (*Brachionus calyciflorus*) affects the population growth of predatory rotifers (*Asplanchna sieboldi*) (Rotifera)". *Hidrobiologica* 8: 73-80
- Sarma, S. S. S., Larios, P. S. & S. Nandini. 2001. "Effect of three food types on the population growth of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera: Brachionidae)". *Rev. Biol. Trop.* 49(1): 75-82 pp.
- Seoánes, M., Aguado, A. 1995. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. 368 pp.
- Sládeček, V. 1983. "Rotifers as indicators of water quality". *Hydrobiologia*. 100: 169-201
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf, 1981. Biometry, 2nd edn, W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Snell T. W. y King, C. E. 1977. "Lifespan and fecundity patterns in rotifers: The cost of reproduction in rotifers". *Evolution* 31: 882-890
- Stevenson, R. A. A., Sarma, S. S. S. & Nandini, S. 1998. "Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* Pallas: Monogononta: Brachionidae) in waste water from food-processing industry in Mexico". *Rev. Biol. Trop.* 43(6): 595-600
- Storer, T. I. Usinger, R. L. Stebbins, R. C. Nybakken, J. W. 1975. Zoología general. Ediciones Omega. España. 416-420 pp.
- Ville, C. A. Walker, W. F. Smith, F. E. 1970. Zoología. Nueva Editorial Interamericana. México. 191-195 pp.

12. APÉNDICES

12.1 Apéndice 1

La planta: Aguas tratadas de Iztacalco S. A de C.V. "ATISA" está localizada en Av. Río Churubusco, esquina Av. Río de La Piedad s/n en la Colonia Magdalena Mixiuhca, Delegación Iztacalco.

Esta planta fue inaugurada en 1953 con la finalidad de dar tratamiento a las aguas negras provenientes del Colector Churubusco los 365 días del año. Cuenta con seis bombas de 15 caballos de fuerza cada una, las cuales se encuentran distribuidas de la siguiente manera: dos son para succionar el agua del colector, y las otras cuatro son para expulsar el agua una vez que ha sido tratada. Esta planta actualmente trata 200 l/seg utilizando un pretratamiento cribado, sedimentación simple rectangular (sedimentador primario), lodos activados de tipo convencional con flujo pistón, un sedimentador secundario simple y por último cloración. El agua tratada es exclusivamente para uso industrial, de riego y autolavado (comunicación personal con el ingeniero Miguel González).

12.2 Apéndice 2

El **medio Bold** se compone mezclando 3 ml de cada uno de los siguientes elementos traza: KH_2PO_4 , EDTA + KOH, CaCl_2 , H_3BO_3 , K_2HPO_4 , MgSO_4 , FeSO_4 , NaCl, NaNO_3 . La solución resultante tiene un color azul claro, lo que indica que la mezcla fue hecha correctamente. Cabe mencionar que es preferible que los elementos se agreguen en orden ascendente

12.3 Apéndice 3

El **medio EPA** se prepara disolviendo 95 mg de NaHCO_3 , 60 mg CaSO_4 , 60 mg de MgSO_4 y 4 mg de KCl por litro de agua destilada.

12.4 Apéndice 4

IZT.

Tabla de parámetros físico-químicos de las aguas utilizadas para la realización de estos experimentos. Unidades para dureza total y dureza de Ca como mg/l de DUREZA como CaCO_3 , alcalinidad como: mg/l de CaCO_3 , conductividad: ms Demanda bioquímica de oxígeno mg/l de m.o. y temperatura como: °C

Parámetro	Agua tratada (tanque C)	Agua del reactor biológico (tanque B)	Agua cruda (tanque A)
Alcalinidad	295.75 (266 - 314)	288.255 (266 - 304)	288.5 (255 - 320)
Conductividad	0.88 (0.65-1.04)	0.88 (0.68-1)	0.86 (0.65-1.07)
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	46.44 (34.65 - 60.71)	171.43 (98.65 - 273.19)	213.78 (182.12 - 244.74)
Dureza al Calcio	118.745 (100.88 - 146.2)	97.39 (75.66 - 107.5)	99.93 (96.75 - 105.35)
Dureza total	221.81 (208.55 - 227.9)	227.225 (182.75 - 270.9)	205.345 (129 - 253.7)
pH	7.02 (6.55 - 7.57)	7.07 (6.69 - 7.62)	6.97 (6.73 - 7.23)
Temperatura	19.75 (19 - 20)	20.5 (20 - 21)	19.75 (19 - 20)

Nota: El oxígeno disuelto no fue detectable mediante el método de Winkler.



U.N.A.M. CAMPUS