



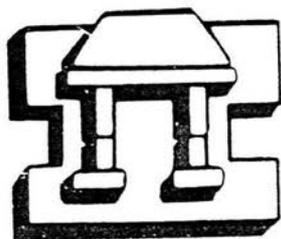
# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

IZTACALA

“EFECTO DE LA DENSIDAD DE LA PRESA  
*Brachionus calyciflorus* PALLAS SOBRE EL  
CRECIMIENTO POBLACIONAL DEL DEPREDADOR  
*Asplanchna brightwelli* (GOSSE)”

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
B I O L O G A  
P R E S E N T A :  
MEJIA HERNANDEZ SAGRARIO



IZTACALA

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

TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO,

2003



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.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a las personas más importantes en mi vida. Muchas gracias por todo.

### **A MIS PADRES**

**LOURDES Y ALFONSO**, por haberme dado la vida y la oportunidad de tener una carrera profesional. Por todo su amor, confianza y apoyo incondicional para lograr este sueño. **LOS QUIERO MUCHO.**

### **A MIS HERMANOS**

**Jazmín, Romina y Javier**, por aquellos momentos agradables que hemos vivido, aunque ya no estemos juntos, los quiero.

**ALFREDO**, por que llegaste de manera inesperada y cambiaste completamente nuestras vidas. Por todas tus ocurrencias y travesuras. **TE QUIERO MUCHO.**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mis sinodales**

En primer lugar al **Dr. S.S.S. Sarma** y la **Dra. Nandini Sarma**, por haberme dado la oportunidad de formar parte de su equipo de investigación y de realizar este trabajo bajo su dirección.

Al **M. en C. José Luis Gama Flores** por todos los conocimientos y experiencias compartidas. Por los consejos para la estructuración de este trabajo y su forma tan agradable de ver la vida.

Al **M. en C. Mario A. Fernández Araiza** y al **Dr. Sergio Cházaro Olvera**, por sus observaciones pertinentes durante la elaboración del mismo.

### **A la Universidad Nacional Autónoma de México**

Por haberme dado la oportunidad de formar parte de ella y haber logrado uno de mis sueños en esta gran casa de estudios.

### **A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala**

Por todas las experiencias (buenas y malas) que viví durante mi paso por la FES Iztacala y el haberme permitido ser parte de su comunidad y por apoyar a todos aquellos que queremos ser mejores cada día

### **A mis amigos y compañeros.**

A todos aquellos que conocí al inicio, en medio y al final de la carrera. Por todos los momentos buenos y malos que compartimos dentro y fuera de la escuela. Por las prácticas de campo inolvidables, en las cuales a cada uno de nosotros nos sucedió algo gracioso. Lucrecia, Miguel, Adrián, Alejandro M., Juan Carlos, Alejandro (Volován), Oscar, Coca, Isabel, Omar, José Luis, Víctor, Alejandro Vega, Israel, Álvaro, Roberto, Marcos (y todos sus cuates), José y Delfino; a todos ustedes y aquellas personas que conozco y que por falta de espacio no las menciono, mil gracias por haber compartido conmigo parte de su tiempo.

### **A los compañeros del Laboratorio de Zoología Acuática.**

Por hacer más agradable la estancia en el laboratorio, por sus ocurrencias, así como sus consejos útiles y sus grandiosos chistes.

Este trabajo fue realizado con el apoyo del proyecto PAPIIT –IN204101.

## ÍNDICE

IZT.

	Página
1. Resumen	i
2. Introducción	1-7
3. Justificación	7
4. Objetivos	8
4.1. Objetivo General	8
4.2. Objetivos Particulares	8
5. Antecedentes	9
6. Material y Métodos	10-11
6.1. Organismos	10
6.1.1. Rotíferos	10
6.1.2. Alga ( <i>Chlorella vulgaris</i> )	10
6.2. Diseño Experimental	10-11
7. Resultados	12-32
7.1. Crecimiento Poblacional	12-21
7.1.1. <i>Brachionus calyciflorus</i>	12-19
7.1.2. <i>Asplanchna brightwelli</i>	19-21
7.2. Tasa de Crecimiento Poblacional	22-25
7.3. Abundancia Máxima	26-29
7.4. Día de Abundancia Máxima	30-32
8. Discusión	33-43
9. Conclusiones	44
10. Referencias	45-50

## 1. RESUMEN

La relación depredador-presa constituye un mecanismo de regulación de las poblaciones del zooplancton, el cual está sujeto a presiones de depredación por invertebrados (ej. Rotíferos depredadores, insectos acuáticos, copépodos) y vertebrados (ej. larvas de peces). La depredación es una de las interacciones que juega un papel importante en la dinámica de las comunidades planctónicas y está influenciada por varios factores, principalmente por el tipo y la densidad de inoculación de la presa. En el presente trabajo se estudió el efecto de la densidad inicial de *B. calyciflorus* (presa) sobre el crecimiento poblacional de *A. brightwelli* (depredador). Se utilizaron cuatro densidades de inoculación (1.25, 2.5, 5.0 y 10.0 ind. ml<sup>-1</sup>) en dos concentraciones de microalga *Chlorella vulgaris* (0.5 y 2.0 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>) y una densidad inicial del depredador de 0.05 ind ml<sup>-1</sup>. En donde se observó que independientemente de la densidad de inoculación, un incremento en la concentración de alimento más alta promovió un incremento en la abundancia poblacional de *B. calyciflorus* en ausencia del depredador. *B. calyciflorus* (presa) en la densidad inicial de inoculación de 10 ind ml<sup>-1</sup> en la concentración de alimento alta (2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>), benefició a *A. brightwelli* (depredador) a tener una mayor densidad poblacional.

## 2. INTRODUCCIÓN

La depredación es la modalidad alimenticia que presentan los macro y micro consumidores. En general, el depredador presenta adaptaciones que facilitan la captura de la presa, como son una especial agilidad y rapidez de movimientos y una gran especialización en los órganos de los sentidos. Igualmente, la presa adopta características fisiológicas en el mismo sentido, pero con una finalidad defensiva, capacitándole con ellas para la huida, y contribuir a la sobrevivencia. El depredador es siempre de mayor talla que la presa. Algunas presas aseguran su sobrevivencia frente al depredador a otros medios, como es el camuflaje, las sustancias repulsivas por su gusto o por su olor, o a la presencia de estructuras especiales como las espinas, entre otras (Mestres, 1985).

En todo ecosistema existe una relación depredador-presa que constituye un mecanismo de regulación de las comunidades. Esta relación es alterada en el ecosistema, especialmente cuando la presa se haya en un período inicial. La efectividad del depredador en conseguir este equilibrio depende de varios factores, como son la vulnerabilidad de la presa, la densidad de la misma y la del propio depredador, etc. En la naturaleza, dicho equilibrio se obtiene al momento de conseguir una relación numérica entre depredador y presa, de acuerdo con las necesidades energéticas y la capacidad de recepción del territorio en que viven. Si por cualquier causa, la población de depredadores aumenta más allá de un cierto límite moderado, podría extinguir la población que le sirve de presa y con ello caer en el peligro de su propia extinción o en tener que buscar otro territorio. De igual forma, la desaparición del depredador puede ser fatal para la presa, pues en su ausencia, crecería su densidad de población de tal forma, que la capacidad del alimento en el territorio ocupado

ya sería insuficiente, y la desnutrición y la creciente densidad, facilitarían la progresión de las enfermedades (Mestres, 1985). Las poblaciones de depredadores y presas, presentan mecanismos de autorregulación que influyen en gran manera en el control de un ecosistema (Margalef, 1995).

En toda comunidad se establecen relaciones entre las especies, encaminadas a proporcionar el alimento necesario para su subsistencia. Estas relaciones se efectúan de forma que el flujo energético y material sigue dentro del ecosistema una serie de vías bien definidas. Estas vías constituyen las cadenas tróficas, en las que las distintas especies están dispuestas en un orden determinado en el ecosistema. Así, se establecen de manera esquemática, tres niveles tróficos formados el primero por los seres autótrofos; el segundo, por los herbívoros, y el tercero, por los carnívoros (Mestres, 1985). Estos niveles tróficos del ecosistema tienen un contenido energético, material y numérico (número de individuos que lo forman), que es decreciente desde el primer nivel hasta el tercero. Se habla así de una pirámide de energía, de una pirámide de masa, y de una pirámide de números de individuos. Como término general, en las cadenas tróficas, los primeros eslabones los forman organismos de tallas pequeñas muy numerosos, para que los niveles superiores estén constituidos por organismos de talla creciente a la vez que disminuye su número (Margalef, 1995).

El número de especies de depredadores y la densidad de la población de los mismos influyen sobre la biomasa y la diversidad del nivel más bajo. Aunque las relaciones tróficas no son muy rigurosas, tampoco son totalmente al azar y en todo ecosistema se reconoce una conexión, que es una garantía de su persistencia relativa (Wetzel, 1983).

Uno de los grupos funcionales con mayor relevancia para los ambientes acuáticos por constituir la base de la cadena trófica, lo forma el plancton, el cual está representado por organismos que se encuentran suspendidos pasivamente sin poder contrarrestar la turbulencia (Hutchinson, 1967). La organización de las redes tróficas en el plancton está condicionada por una serie de elementos y factores, las redes tróficas que se construyen son complicadas, porque el zooplancton incluye también carnívoros. En general, las redes tróficas del plancton tienen muy pocos niveles y son mucho más sencillas en las aguas dulces que en el mar, de acuerdo también con la extremada simplificación del zooplancton lacustre (Margalef, 1983).

Los componentes planctónicos de las aguas dulces constituyen un entramado diverso de todos los grupos taxonómicos. Su papel funcional dentro del ecosistema acuático se basa en un balance equilibrado entre el modelo general y la tasa de crecimiento y reproducción, en relación con la disponibilidad de alimento y su utilización (Margalef, 1983). Dos de las interacciones que juegan un papel importante en la estructuración y dinámica de las comunidades planctónicas son la depredación y la competencia (Kerfoot & Sih, 1987). Los animales representativos del plancton de las aguas dulces están dominados por tres grupos: los rotíferos y dos subclases de crustáceos, los cladóceros y los copépodos (Margalef, 1983). El zooplancton está sujeto a presiones de depredación por invertebrados (ej. rotíferos depredadores, insectos acuáticos, copépodos) y vertebrados (ej. larvas de peces). Mientras que los depredadores invertebrados consumen presas de tallas pequeñas (Dumont *et al.*, 1990), los depredadores vertebrados usualmente prefieren organismos grandes (Brooks & Dodson, 1965).

En particular los rotíferos están distribuidos principalmente en las aguas dulces (Wetzel, 1983). El grupo muestra un amplio margen de variabilidad en sus adaptaciones y variaciones morfológicas. La forma del cuerpo tiende a alargarse, distinguiéndose tres regiones: cabeza, tronco y pie. La mayoría de los rotíferos, tanto los sésiles como los planctónicos, no son depredadores. Se alimentan principalmente de partículas sedimentadas, que entran al interior de su boca, gracias a la acción agitadora de su corona de cilios (Pourriot, 1965; Hutchinson, 1967). El tamaño del alimento a ingerir es muy variable. La alimentación está condicionada, al tamaño del alimento y a la forma de las células algales. Las especies depredadoras como *Asplanchna*, son generalmente grandes y se alimentan de protozoos, otros rotíferos y crustáceos zooplanctónicos (Wetzel, 1983).

Las poblaciones de rotíferos planctónicos son menos densas. Ciertos cambios caracterizan la transición de las formas sésiles a las planctónicas, como la reducción del peso del cuerpo, la formación de procesos de suspensión y de órganos nadadores, tanto en forma de espinas como de setas móviles. También tiene lugar una reducción de los órganos de fijación y aparecen ciertas adaptaciones que reducen la tasa de sedimentación de los productos de reproducción (Margalef, 1983). Los rotíferos planctónicos, se caracterizan por un gran número de generaciones, cuyas hembras se reproducen por partenogénesis y viven generalmente entre una y dos semanas, que se pueden prolongar en ciertos casos hasta el mes. Bajo condiciones favorables, las generaciones aumentan con mayor rapidez, con un tiempo medio, entre huevo y huevo, de sólo dos o tres días. Hay especies capaces de vivir en concentraciones bajas de oxígeno ( $<0.1 \text{ mg l}^{-1}$ ), y algunas de ellas son los únicos metazoos del zooplancton en ciertos estados de hipolimnia (Margalef, 1983).

La tasa de reproducción de los rotíferos está relacionada con la cantidad y la abundancia de alimento disponible (Edmondson, 1946, 1965; King, 1967; Halbach & Halbach-Keup, 1974). La temperatura también influye en el desarrollo de los huevos, en las reacciones bioquímicas, la alimentación, el movimiento y la longevidad (Hutchinson, 1967). El crecimiento poblacional de los rotíferos depende de los parámetros físico-químicos del agua como la temperatura, pH y nutrientes. Los factores biológicos que afectan las tasas de crecimiento son el tamaño del cuerpo, densidad, el alga disponible, la competencia inter e intra específica, la depredación, parasitismo y el desarrollo epizoico (Sarma, 1987). Los cambios en la distribución estacional de las poblaciones de rotíferos planctónicos, son complejos. Unas especies muestran un máximo de densidad a principios de verano en la región templada, otras especies estacionales, pueden dividirse en dos tipos: las estenotermas frías, que desarrollan sus poblaciones en invierno o a principios de primavera, y las especies que desarrollan, principalmente en verano, dos o más máximos de densidad (Armengol, 1982). *Brachionus calyciflorus* tiene la capacidad de duplicar su población en un período de 24 horas (Bennett & Boraas, 1989).

La ciclomorfosis es un fenómeno característico de muchas poblaciones de rotíferos. Son cambios morfológicos en características como el tamaño corporal, longitud de las espinas, pigmentación u ornamentación artificial y se pueden apreciar en generaciones sucesivas. Dichos cambios obedecen a presiones ambientales, como son la depredación, la turbulencia del agua, salinidad, temperatura y así como la alimentación (Margalef, 1983). La presencia de depredadores en el medio usualmente afecta la morfología y el desarrollo de la presa (Gilbert, 1967). Algunos rotíferos en presencia de depredadores invertebrados

particularmente *Asplanchna* y copépodos que son organismos grandes, desarrollan el tamaño de sus espinas posteriores (Pourriot, 1974; Williamson, 1987).

En el caso de *Brachionus calyciflorus*, sus espinas posteriores se alargan en presencia de *Asplanchna*, su principal depredador (Gilbert, 1980a). Ya que son inducidas por una sustancia que actúa sobre el tamaño del cuerpo, influyendo indirectamente sobre las espinas. Esta sustancia afecta los cambios en la forma de las espinas solamente en el estado de huevo en condiciones de predivisión; es un compuesto proteínico relativamente termolábil, de composición desconocida (Gilbert, 1967). La forma y los movimientos de las largas espinas posterolaterales de *B. calyciflorus* reducen la depredación por parte de *Asplanchna* (Green & Land, 1974). Así la alimentación del depredador depende de la densidad así como de la morfología de la presa (Iyer & Rao, 1996). Con el incremento de la presa, la densidad poblacional del depredador aumenta; el cual también sufre cambios en su morfología (como aumento de tamaño) para tener un menor gasto de energía en el proceso de alimentación (Conde-Porcuna *et al.*, 1993).

## **FUNCIÓN E IMPORTANCIA**

Los rotíferos cubren el nicho ecológico de los pequeños filtradores, ya que se integran dentro de las cadenas tróficas como consumidores primarios y son responsables en gran medida de la productividad secundaria de cualquier sistema acuático; por lo que se convierten en uno de los eslabones entre los productores primarios y los consumidores secundarios. Son importantes para la acuicultura, por lo que algunas especies son utilizadas como alimento vivo para cualquier cultivo de peces (Sarma, 1991). También son de gran utilidad como indicadores de la calidad del agua, los cuales nos ayudan a darnos una idea del grado de contaminación orgánica que presenta. Así como para pruebas de toxicidad en el agua, tanto en el laboratorio como en el campo (Margalef, 1983).

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Las respuestas de los depredadores a los cambios en la abundancia de la presa ha sido de gran interés en estudios de zooplancton de aguas continentales por más de dos décadas (Conde-Porcuna *et al.*, 1993). Existen muy pocos trabajos sobre el crecimiento poblacional del depredador como efecto de la densidad inicial de la presa. Estos estudios han establecido que el factor de alimentación del depredador (*Asplanchna*) está limitado por el tamaño, morfología y tendencias evasivas de su presa (Ooms-Wilms *et al.*, 1998). Por lo que *Asplanchna* es usado como un organismo de bioensayo para observar en cual de las densidades utilizadas de la presa (*Brachionus calyciflorus*) es la adecuada para la sobrevivencia del depredador.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar, mediante las dinámicas poblacionales, el efecto de la densidad de alimento e inóculo en la relación depredador (*Asplanchna brightwelli*) y presa (*Brachionus calyciflorus*).

### 4.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Estimar el efecto de la niveles de alimento (*Chlorella*) en la dinámica poblacional de *Brachionus calyciflorus*.
- Estimar el efecto de densidad de inóculo en la dinámica poblacional de *Asplanchna brightwelli*
- Derivar:
  - la abundancia máxima de la presa *Brachionus calyciflorus* y el depredador *Asplanchna brightwelli*.
  - el día de abundancia máxima de la presa *B. calyciflorus* y el depredador *A. brightwelli*.
  - la tasa de crecimiento poblacional de la presa *B. calyciflorus* y el depredador *A. brightwelli*.

## 5. ANTECEDENTES

Son pocos los trabajos realizados sobre el crecimiento poblacional del depredador como una respuesta a la densidad de inoculación de la presa. En 1995, Dumont & Sarma estudiaron bajo condiciones de laboratorio el efecto de la densidad de la presa (*Anuraeopsis fissa*) sobre el crecimiento poblacional de *Asplanchna girodi*. Sin embargo, se han realizado estudios sobre la preferencia alimenticia y el crecimiento poblacional del depredador, Sarma en 1993, estudio las preferencias alimenticias de *Asplanchna brightwelli* bajo condiciones de laboratorio y de campo. Sarma *et al.*, en 1998a realizaron un estudio, utilizando como depredador a *Asplanchna brightwelli* y dos presas, una grande (*Brachionus calyciflorus*) y una pequeña (*Anuraeopsis fissa*) y Sarma *et al.* (2001) evaluaron el crecimiento poblacional de *Asplanchna sieboldi* (depredador) utilizando como presas a *Brachionus calyciflorus* y *B. patulus* y estas alimentándose a su vez de alga (*Chlorella vulgaris*) y de una levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Sarma *et al.*, (1998b) trabajaron sobre la calidad del rotífero presa *Brachionus calyciflorus*, cultivándolo en diferentes tipos de alimento, el cual fue probado usando el rotífero depredador *Asplanchna sieboldi*. La interacción depredador-presa ha sido estudiada bajo condiciones de laboratorio, así, en 1995 Conde-Porcuna & Sarma estudiaron la importancia de los mecanismos de defensa de la presa; utilizaron como depredador a *Asplanchna girodi* y como presa a diferentes especies de rotíferos no carnívoros; también hay experimentos en donde evaluaron el impacto del tóxico sobre la relación depredador-presa, Sarma *et al.*, (1998) utilizaron presas (*Brachionus calyciflorus*) tratadas con metil-paration sobre el crecimiento poblacional del depredador *Asplanchna sieboldi*.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 ORGANISMOS

#### 6.1.1. ROTÍFEROS

Se usaron dos especies de rotíferos, *Brachionus calyciflorus* Pallas (presa) y *Asplanchna brightwelli* (Gosse) (depredador), las cuales fueron cultivadas en el laboratorio antes de la experimentación; manteniéndolas en medio EPA.

#### 6.1.2. ALGA (*Chlorella vulgaris*)

Se utilizó como alimento para *B. calyciflorus* microalga *Chlorella vulgaris*, la cual se cultivo en un medio Bold-Basal (Borowitzka y Borowitzka, 1988). La densidad del alga se estimo usando un hemocitometro, manejando dos densidades de  $0.5 \times 10^6$  y  $2 \times 10^6$  células por mililitro. Este medio se preparo por disolución de 96mg de  $\text{NaHCO}_3$ , 60mg de  $\text{MgSO}_4$ , 60mg de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  y 4mg KCl en un litro de agua destilada (Anon. 1985).

### 6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el crecimiento poblacional, se realizaron experimentos en recipientes de plástico con una capacidad de 50 ml. Se usaron 24 vasos (4 densidades de presa x 2 concentraciones de alga x 3 replicas) conteniendo cada uno 20 ml de medio EPA. El primer lote contenía: una densidad inicial de  $1.25 \text{ ind ml}^{-1}$  de *Brachionus calyciflorus* y  $0.05 \text{ ind ml}^{-1}$  de *Asplanchna brightwelli*, el siguiente una densidad de  $2.5 \text{ ind ml}^{-1}$  de *B. calyciflorus* y  $0.05 \text{ ind ml}^{-1}$  de *A. brightwelli*, el penúltimo una densidad de  $5 \text{ ind ml}^{-1}$  de *B. calyciflorus* y  $0.05 \text{ ind ml}^{-1}$  de *A. brightwelli* y el último lote una densidad de  $10 \text{ ind ml}^{-1}$  de *B. calyciflorus* y  $0.05 \text{ ind ml}^{-1}$  de *A. brightwelli*; para cada concentración de microalga respectivamente. Para el control, se

utilizaron tres replicas para cada una de las densidades de la presa (*Brachionus calyciflorus*): 1.25, 2.5, 5 y 10 ind ml<sup>-1</sup> con 20 ml de medio EPA cada una y su concentración de microalga (0.5x10<sup>6</sup> y 2x10<sup>6</sup> células por mililitro); respectivamente. La densidad poblacional de los rotíferos se estimó mediante el uso de un microscopio estereoscópico obteniendo dos alícuotas simples de 1ml para cada replica. Al finalizar, se filtraron con una malla de 50 µm y se cambiaron a otro vaso con medio nuevo y con su concentración de alga respectiva. Los conteos se realizaron cada 24 horas y los experimentos duraron hasta que la población declinó de manera evidente. La tasa de crecimiento poblacional de la presa y del depredador, se calculó usando la ecuación exponencial (Krebs, 1985):

$$r = \frac{(\ln N_t - \ln N_0)}{t}$$

En donde: r: Tasa de Crecimiento Poblacional

Nt: densidad al tiempo t (ind ml<sup>-1</sup>)

No: densidad inicial

t: tiempo en días

El método estadístico utilizado fue el análisis de varianza (ANOVA) de dos factores para: la concentración de alimento y densidad de inoculación para las variables de abundancia máxima, día de abundancia máxima y tasa de crecimiento poblacional. Para establecer diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba de Fisher (Sokal & Rohlf, 1981).

## 7. RESULTADOS

En general, los resultados mostraron que hubo un marcado efecto tanto de la densidad de alga en *B. calyciflorus* (presa) como de la densidad de la presa (inóculo) en *A. brightwelli*.

### 7.1. CRECIMIENTO POBLACIONAL

#### 7.1.1. *Brachionus calyciflorus*

Las curvas de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* (presa) con una densidad inicial de  $1.25 \text{ ind ml}^{-1}$  del testigo y en presencia de *A. brightwelli* (depredador), se presentan en la Fig. 1. En el testigo, en la concentración de  $0.5 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$  el crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* fue lento, en donde la fase exponencial empezó alrededor del día 2, por lo que crecieron muy poco durante el período experimental. Sin embargo, en la concentración de  $2 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$  tuvo un crecimiento muy rápido debido a la mayor cantidad de alimento disponible. Las curvas de crecimiento poblacional de la presa en presencia del depredador en la concentración  $0.5 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$  tuvieron una pequeña fase exponencial para después mantenerse en su densidad inicial en todas las replicas. En la concentración de  $2 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$  la presa creció de manera rápida, en todas las replicas, declinando parcialmente entre el día 7 y 8, los siguientes diez días se mantuvieron hasta su decline total. La tasa de crecimiento poblacional para *B. calyciflorus* en la concentración de microalga de  $0.5 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$  en presencia del depredador y en el testigo vario entre 0.03 y 0.31 individuos por día. Dependiendo de la concentración del alimento e independientemente de la presencia del depredador, un aumento en la concentración de microalga desde  $0.5 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$  a  $2 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$  tienen como resultado un incremento en la abundancia máxima y la tasa de crecimiento poblacional.

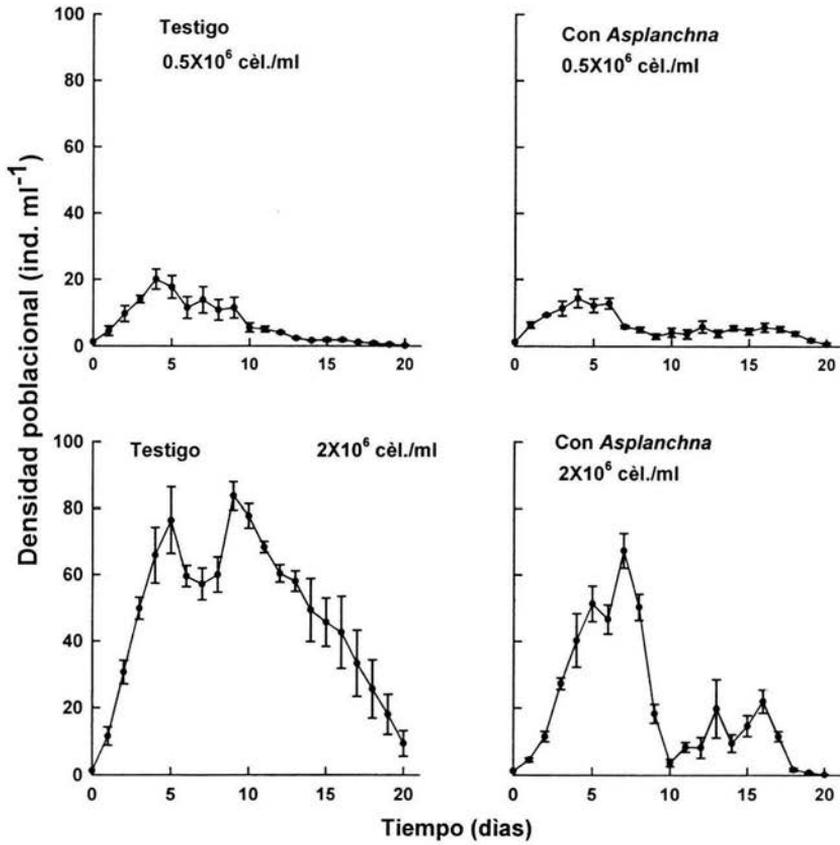


Fig. 1 Curvas de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus*, con una densidad inicial de  $1.25 \text{ ind ml}^{-1}$ , en ausencia y presencia de *A. brightwelli*, con relación a  $0.5$  y  $2 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$ . Presentando valores promedio y de error estándar basados en tres réplicas.

Los resultados de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* con una densidad inicial de 2.5 ind ml<sup>-1</sup>, en el control y en el tratamiento con *A. brightwelli* en las dos concentraciones de microalga indican un incremento rápido de la presa alcanzando un pico en una semana (Fig. 2). *B. calyciflorus*, en el control en la concentración de 0.5 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup> exhibió una pequeña fase exponencial, para después mantenerse durante el período experimental hasta su decline. En presencia del depredador sucedió algo parecido, sin embargo, la densidad poblacional fue mucho menor. En la concentración de 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>, el testigo presentó un rápido crecimiento poblacional teniendo una mayor densidad poblacional, declinando cerca del día 10, aunque seguía manteniéndose la población. En presencia de *A. brightwelli*, la presa durante los primeros días tuvo un rápido crecimiento poblacional, para el día 5 la población comenzó a declinar hasta el día 10; la población se mantuvo durante los siguientes días del período experimental hasta su decline total. En el testigo la abundancia máxima de *B. calyciflorus* fue de 22.83 individuos por mililitro y en presencia de *A. brightwelli* fue de 11.83 individuos por mililitro. La tasa de crecimiento poblacional para la presa en la concentración de microalga de 0.5 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>, en presencia del depredador y en el testigo varió entre 0.05 y 0.06 individuos por mililitro; y en la concentración de 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup> fue de 0.22 y 0.11 ind ml<sup>-1</sup> en ausencia y presencia del depredador, respectivamente.

Las curvas de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* con una densidad inicial de 5 ind ml<sup>-1</sup>, el testigo y en presencia de *A. brightwelli* se presentan en la Fig. 3. En la concentración de 0.5 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>, durante la primer semana el crecimiento poblacional de *B. calyciflorus*, en el testigo fue rápido y a partir del noveno día la población fue declinando. En presencia de *A. brightwelli*, su crecimiento poblacional durante los tres

primeros días fue rápido a la vez que comenzó su declinación, manteniéndose con una densidad poblacional inferior a la inicial a lo largo del experimento, hasta su decline total. En la concentración de  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup>, en el testigo, *B. calyciflorus* creció de manera muy rápida durante el período experimental y en presencia de *A. brightwelli*, durante la primer semana su crecimiento poblacional fue muy rápido, sin embargo, al comenzar la segunda semana del experimento empezó el decline de la población. En el testigo la abundancia máxima de la presa fue de 28 ind ml<sup>-1</sup> y en presencia del depredador fue de 29 ind ml<sup>-1</sup>. La tasa de crecimiento poblacional para la presa en la concentración de  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> en presencia del depredador y en el testigo vario entre 0.09 y 0.07 individuos por día y en la de  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> millones fue de 0.24 y 0.11 individuos por día, en ausencia y presencia del *A. brightwelli*, respectivamente.

Los resultados de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* con una densidad inicial de 10 ind ml<sup>-1</sup>, el testigo y con *A. brightwelli* (depredador) se presentan en la Fig. 4. En la concentración de  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup>, el testigo muestra un lento crecimiento pero manteniendo su densidad poblacional y en presencia de *A. brightwelli*, la presa creció de manera lenta e iniciando su decline al tercer día, manteniendo su densidad poblacional durante el período experimental hasta su decline total. Sin embargo, en la concentración de  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup>, en el testigo *B. calyciflorus* creció muy rápido y en presencia del depredador durante los primeros días su crecimiento poblacional fue rápido aunque el inicio del decline de la población fue al sexto día manteniéndose hasta su decline total. La abundancia máxima de *B. calyciflorus* en el testigo fue de 28 individuos por ml, y en presencia del depredador fue de 27.83 individuos por mililitro.

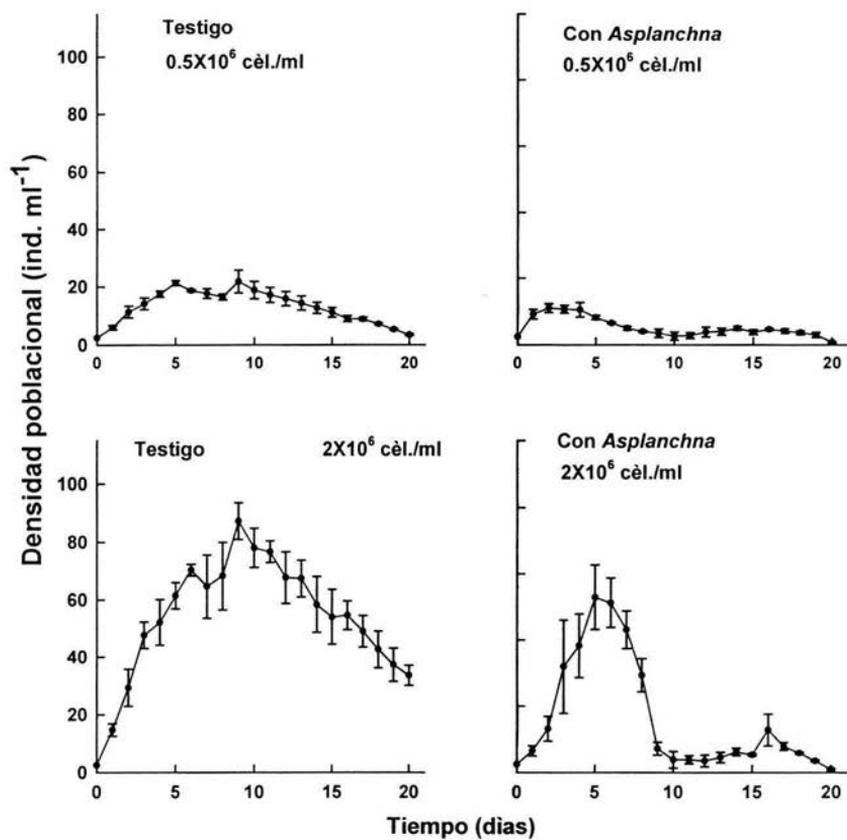


Fig. 2 Curvas de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus*, con una densidad inicial de 2.5 ind ml<sup>-1</sup>, en ausencia y presencia de *A. brightwelli*, con relación a 0.5 y 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>. Presentando valores promedio y de error estándar basados en tres réplicas.

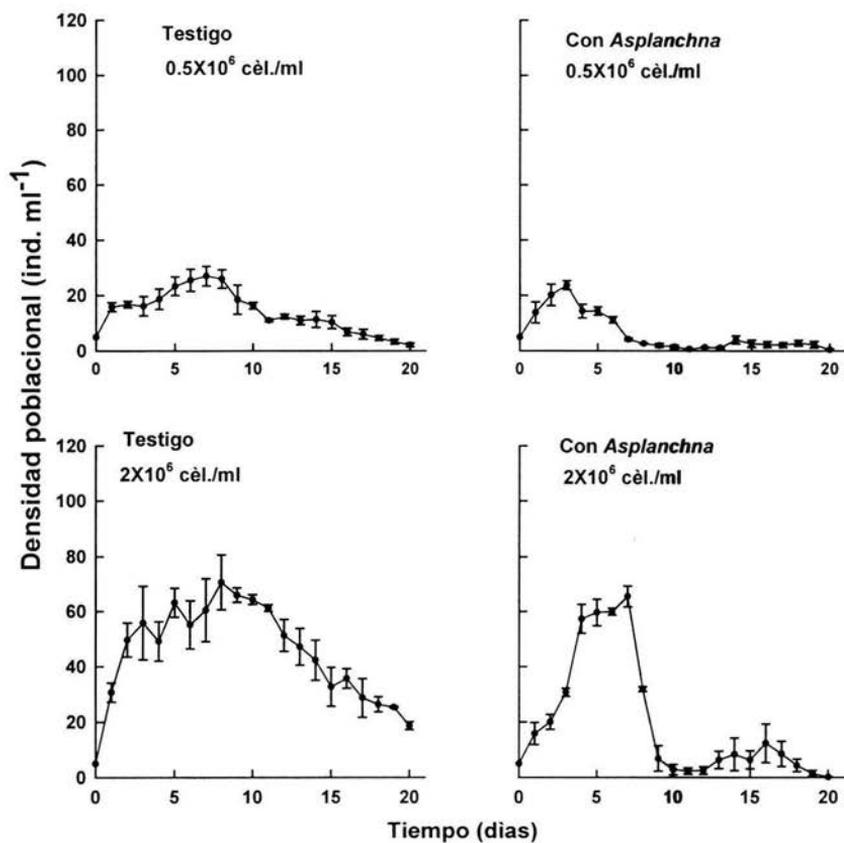


Fig. 3 Curvas de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus*, con una densidad inicial de 5.0 ind ml<sup>-1</sup>, en ausencia y presencia de *A. brightwelli*, con relación a 0.5 y 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>. Presentando valores promedio y de error estándar basados en tres réplicas.

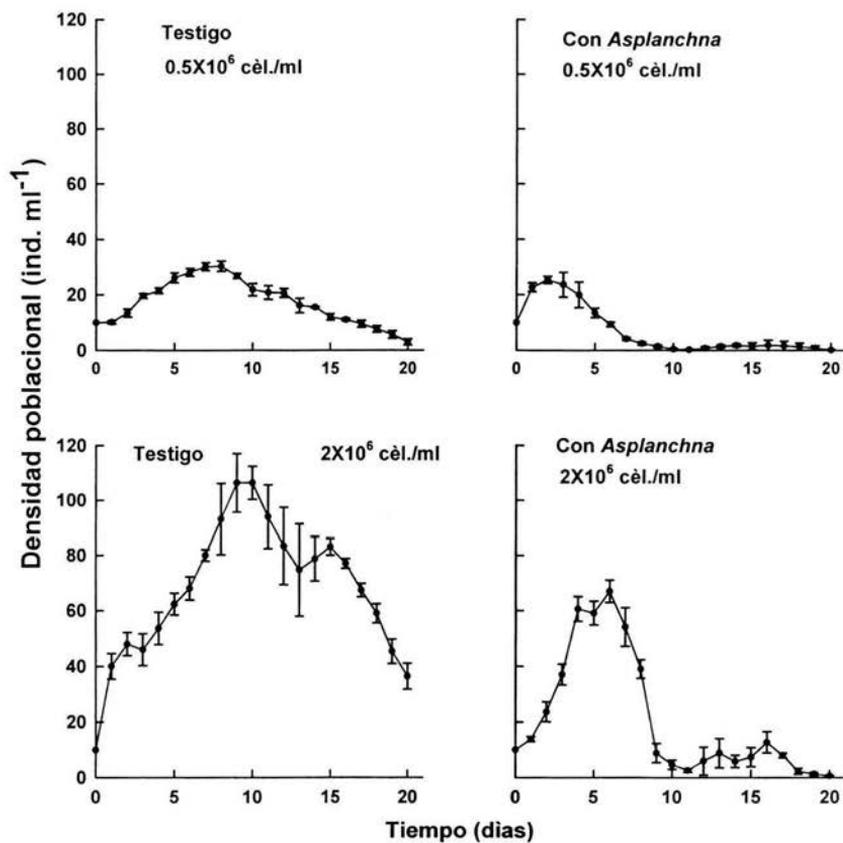


Fig. 4. Curvas de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus*, con una densidad inicial de 10.0 ind ml<sup>-1</sup>, en ausencia y presencia de *A. brightwelli*, con relación a 0.5 y 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>. Presentando valores promedio y de error estándar basados en tres réplicas.



U.N.A.M. FES  
IZTACALA

La tasa de crecimiento poblacional para *B. calyciflorus* en la concentración de microalga de  $0.5 \times 10^6$  cél  $\text{ml}^{-1}$  en el testigo y en presencia de *A. brightwelli* fue de 0.10 y 0.08 individuos por día, respectivamente. En la concentración de  $2 \times 10^6$  cél  $\text{ml}^{-1}$  de microalga fue de 0.31 y 0.27 individuos por día.

IZT.

### 7.1.2. *Asplanchna brightwelli*

Las gráficas correspondientes al crecimiento poblacional de *A. brightwelli* con *B. calyciflorus* con diferentes densidades iniciales y en  $0.5 \times 10^6$  cél  $\text{ml}^{-1}$  de microalga se presentan en la Fig. 5. En general, *A. brightwelli* empezó su crecimiento evidentemente desde el segundo día de la iniciación del experimento, alcanzando un pico alrededor de los cinco días y después comenzó a decrecer. Independientemente de la densidad inicial de *B. calyciflorus*, el depredador alcanzo una densidad de 0.16 hasta 0.32 individuos por ml. La tasa de crecimiento poblacional de *A. brightwelli* cultivado bajo estas condiciones vario de 0.03 hasta 0.12 individuos por día. Por lo que incremento en la disponibilidad de la presa (basando en sus densidades iniciales) causa un incremento en la tasa de crecimiento poblacional de *A. brightwelli*. En la concentración de  $2 \times 10^6$  cél  $\text{ml}^{-1}$ , los resultados del crecimiento poblacional de *A. brightwelli* con las diferentes densidades iniciales de *B. calyciflorus* se presentan en la Fig. 6. *A. brightwelli* comenzó su crecimiento aproximadamente alrededor del cuarto y quinto día de la iniciación del experimento. *Asplanchna brightwelli* alcanzo una densidad de 1.5 hasta 4.85 individuos por mililitro. Su tasa de crecimiento poblacional bajo estas condiciones vario de 0.26 hasta 0.52 individuos por día.

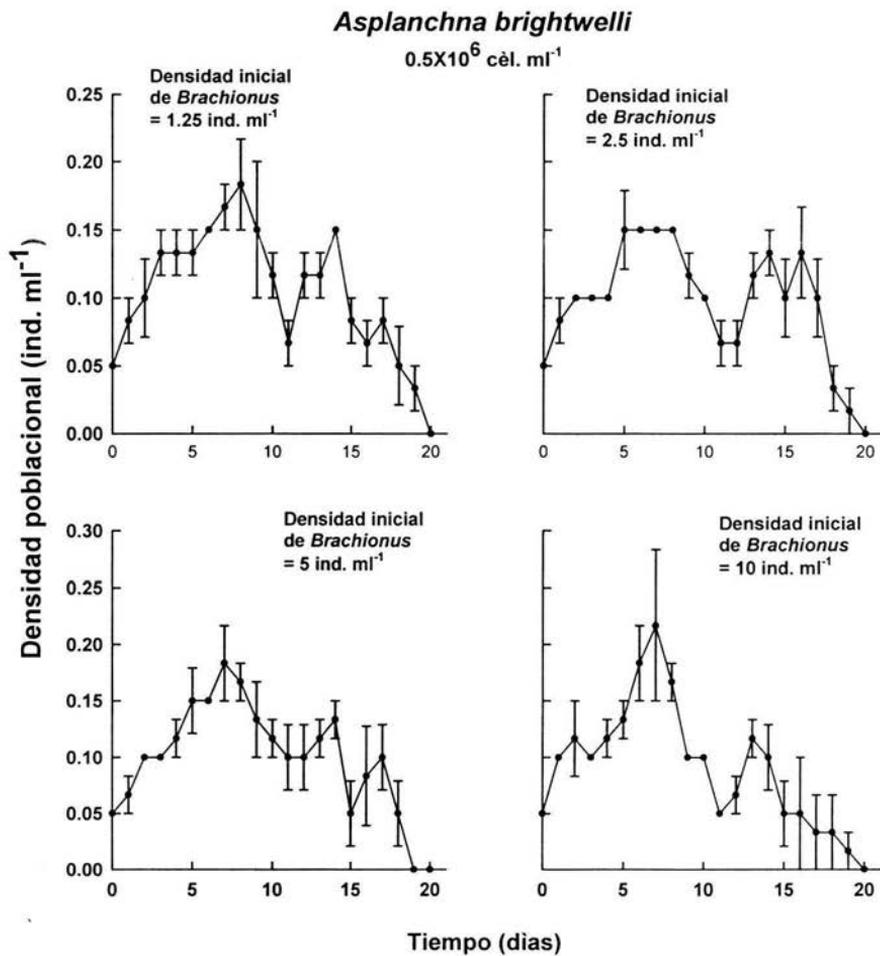


Figura 5. Curvas de crecimiento poblacional de *A. brightwelli* como una respuesta a la densidad de *B. calyciflorus* (1.25, 2.5, 5.0 y 10 ind ml<sup>-1</sup>), con relación a  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> de *Chlorella vulgaris*. Presentando valores promedio y barras de error estándar, basados en tres replicas.

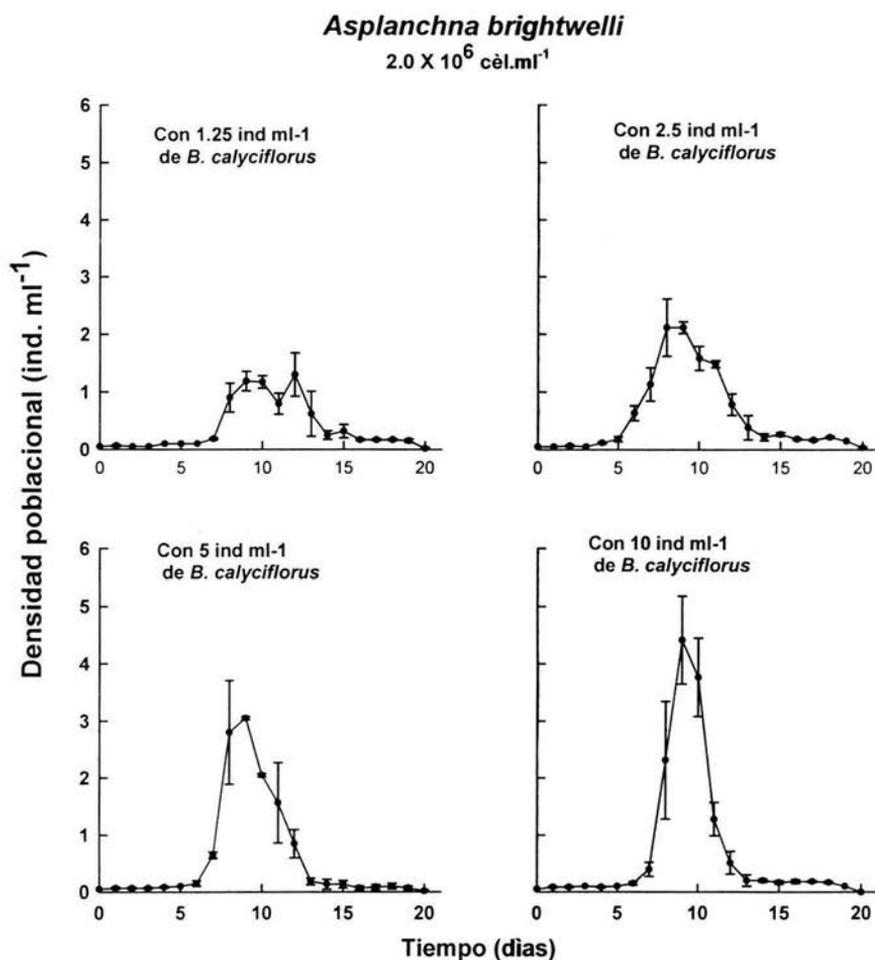


Figura 6. Curvas de crecimiento poblacional de *A. brightwelli* como una respuesta de la densidad de *B. calyciflorus* (1.25, 2.5, 5.0 y 10 ind ml<sup>-1</sup>), con relación a  $2 \times 10^6$  c\`e}l ml<sup>-1</sup> de *Chlorella vulgaris*. Presentando valores promedio y barras de error estándar, basados en tres replicas.

## 7.2. TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

Estadísticamente la tasa de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* en ausencia del depredador fue significativa en relación con la concentración del alimento ( $p < 0.001$ ) al igual con la densidad inicial de la población ( $p < 0.001$ ), pero su interacción no fue significativa ( $p > 0.05$ ) (Fig. 7). Para *B. calyciflorus* en presencia del depredador, estadísticamente con la relación del alimento no fueron significativos ( $p > 0.05$ ) sin embargo en relación con la densidad inicial de la población fueron significativos ( $p < 0.001$ ). En su interacción tampoco fueron significativos ( $p > 0.05$ ) (Tabla 1). Los valores para *A. brightwelli* en relación con la concentración del alimento fueron significativos ( $p < 0.05$ ), pero en la densidad inicial de la población de la presa y su interacción no fueron significativos ( $p > 0.05$ ), esto se debe a que la presa sufre cambios morfológicos y el depredador gasta más energía para atacarla (Fig. 8) (Tabla 1).

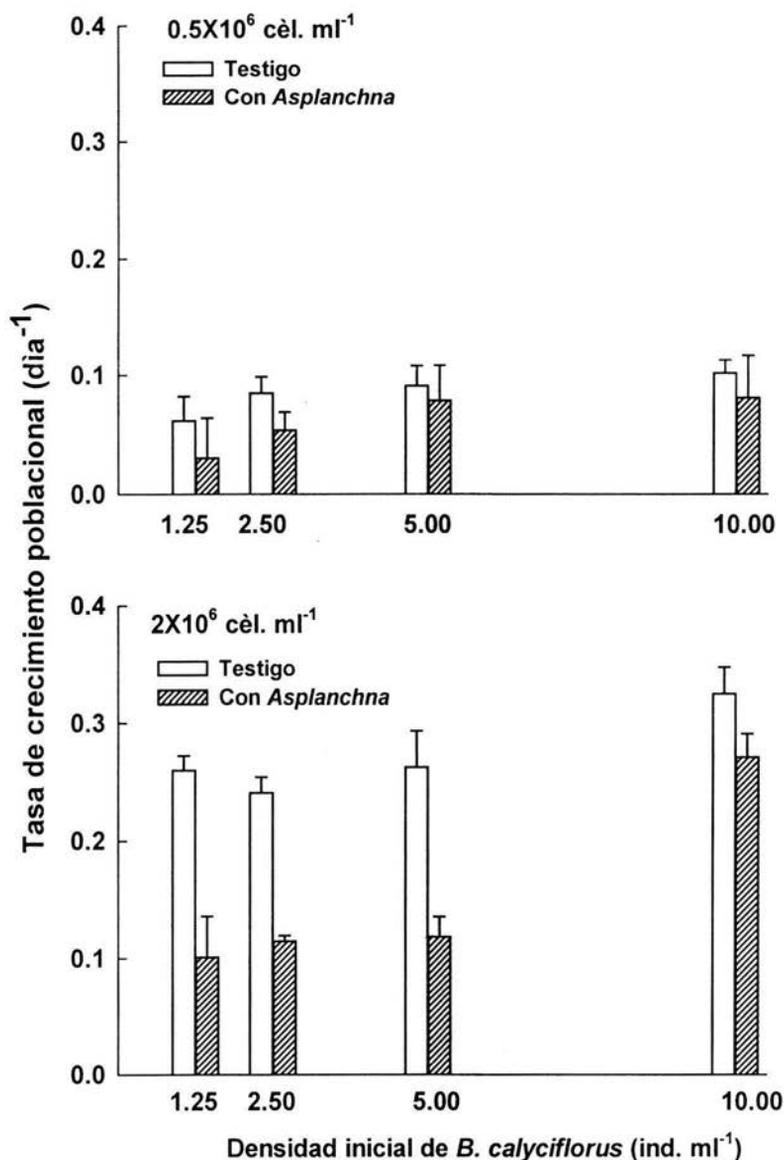


Figura 7. Datos de tasa de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* (1.25, 2.5, 5.0 y 10 ind ml<sup>-1</sup>) solo y en presencia de *A. brightwelli*. En concentraciones de *Chlorella* de 0.5 y 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>. Presentando valores basados en el promedio y error estándar de tres replicas.

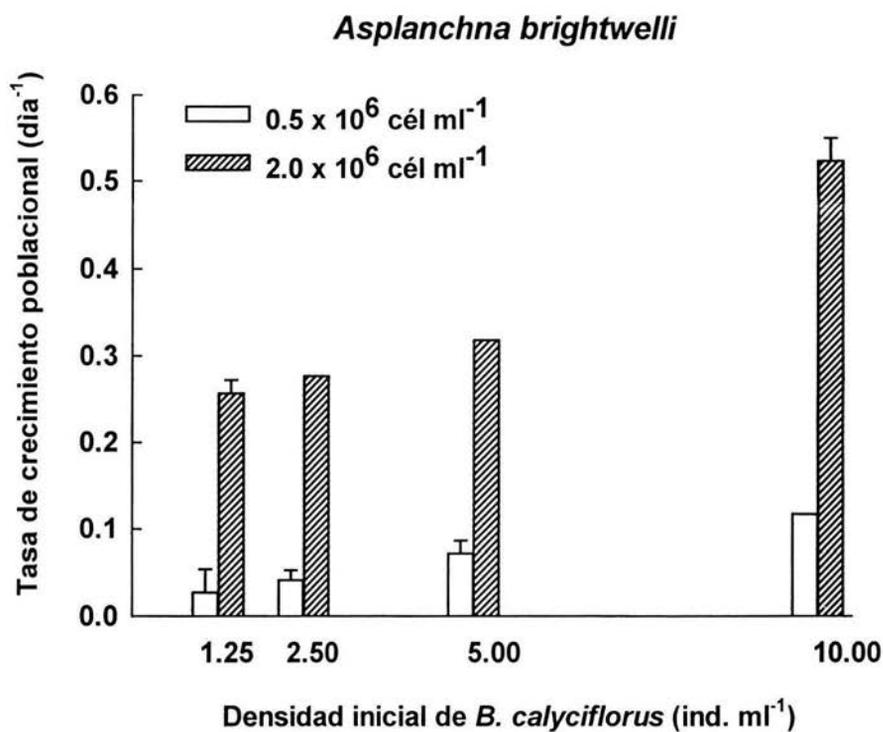


Figura 8. Datos de tasa de crecimiento poblacional de *A. brightwelli* como una respuesta a la densidad inicial de *B. calyciflorus* (1.25, 2.5, 5.0 y 10  $\text{ind ml}^{-1}$ ). En concentraciones de *Chlorella* de  $0.5$  y  $2 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$ . Valores basados en el promedio y error estándar de tres replicas.

TABLA 1. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de *B. calyciflorus* en ausencia y presencia del depredador, y de *A. brightwelli* para la Tasa de Crecimiento Poblacional:

Parámetros	gl	Sc	Pc	F-relación
<b>Tasa de Crecimiento Poblacional</b>				
CONTROL				
Concentración de alimento	1	2.517	2.52	156.86 <sup>***</sup>
Densidad inicial	3	2.048	0.68	39.89 <sup>***</sup>
Interacción A X B	3	0.060	0.02	1.17 <sup>ns</sup>
Error	16	0.257	0.02	
<i>Brachionus calyciflorus</i>				
Concentración de alimento	1	0.004	0.00	0.21 <sup>ns</sup>
Densidad inicial	3	1.148	0.38	16.64 <sup>***</sup>
Interacción A X B	3	0.016	0.01	0.24 <sup>ns</sup>
Error	16	0.345	0.02	
<i>Asplanchna brightwelli</i>				
Concentración de alimento	1	0.301	0.30	8.08 <sup>*</sup>
Densidad inicial	3	0.067	0.02	0.56 <sup>ns</sup>
Interacción A X B	3	0.020	0.01	0.17 <sup>ns</sup>
Error	16	0.596	0.04	

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)

### 7.3. ABUNDANCIA MÁXIMA

Los valores de abundancia máxima de *B. calyciflorus* en el testigo, en la concentración de  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> alcanzaron una densidad de  $31 \pm 22$  ind ml<sup>-1</sup> y en la concentración  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> de  $113 \pm 76$  ind ml<sup>-1</sup>. Los valores de abundancia máxima para *B. calyciflorus*, estadísticamente fueron significativos en relación con la concentración del alimento ( $p < 0.001$ ) y con la densidad inicial de la población ( $p < 0.01$ ). Su interacción también fue significativa ( $p < 0.05$ ) (Fig. 9)(Tabla 2).

Los datos de abundancia máxima de *B. calyciflorus* con el depredador en  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> alcanzaron una densidad de  $28 \pm 12$  ind. ml<sup>-1</sup> y en  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> fueron de  $67 \pm 58$  ind ml<sup>-1</sup> y la diferencia bajo diferentes concentraciones de alimento fue altamente significativa. Estadísticamente, los valores en relación con la concentración del alimento fueron significativos ( $p < 0.001$ ), sin embargo en relación con la densidad inicial de la presa y la interacción de esta con la concentración del alimento no fueron significativos ( $p > 0.05$ )(ANOVA dos vías)(Fig. 9)(Tabla 2).

Los valores de abundancia máxima de *Asplanchna brightwelli* en  $0.5$  y  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> alcanzaron  $0.3 \pm 0.2$  y  $5 \pm 2$  ind ml<sup>-1</sup> respectivamente y los valores en relación con la concentración de alimento, a la densidad inicial de la presa y a su interacción estadísticamente fueron muy significativos ( $p < 0.001$ )(ANOVA dos vías)(Fig. 10)(Tabla 2).

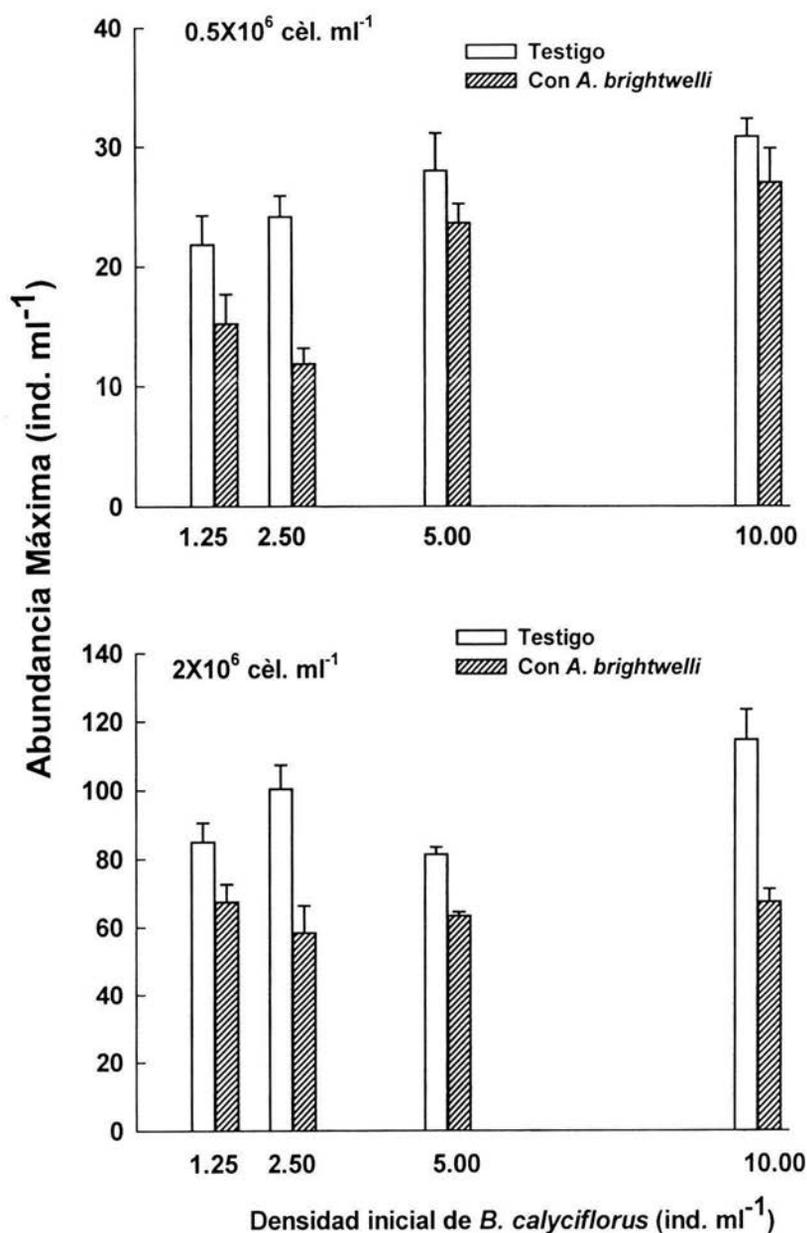


Figura 9. Datos de Abundancia Máxima de *B. calyciflorus* (1.25, 2.5, 5.0 y 10 ind  $\text{ml}^{-1}$ ), en ausencia y presencia de *A. brightwellii*. En concentraciones de *Chlorella* de  $0.5$  y  $2 \times 10^6$  cél  $\text{ml}^{-1}$ . Valores basados en el promedio y error estándar de tres replicas.

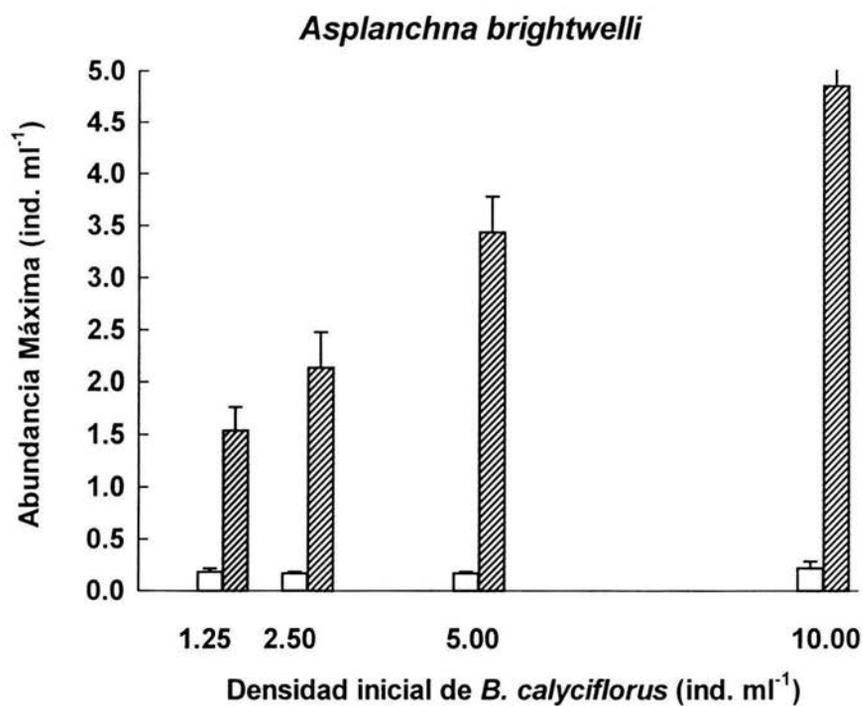


Figura 10. Datos de Abundancia Máxima de *A. brightwelli* como una respuesta a la densidad de *B. calyciflorus* (1.25, 2.5, 5.0 y 10 ind ml<sup>-1</sup>), en concentraciones de *Chlorella* de 0.5 y 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>. Presentando valores promedio y barras de error estándar, basados en tres replicas.

TABLA 2. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de *B. calyciflorus* en ausencia y presencia del depredador, y de *A. brightwelli* para día de abundancia máxima, abundancia máxima:

Parámetros	gl	Sc	Pc	F-relación
<b>Día de Abundancia Máxima</b>				
Control				
Concentración de Alimento	1	10.667	10.67	64.00***
Densidad inicial	3	102.333	34.11	191.88***
Interacción A X B	3	1.667	0.56	3.12ns
Error	6	2.667	0.17	
<b><i>Brachionus calyciflorus</i></b>				
Concentración de Alimento	1	45.375	45.38	54.45***
Densidad inicial	3	17.792	5.93	6.67**
Interacción A X B	3	1.458	0.49	0.55ns
Error	16	13.333	0.83	
<b><i>Asplanchna brightwelli</i></b>				
Concentración de Alimento	1	117.042	117.04	39.01***
Densidad inicial	3	0.792	0.26	0.08ns
Interacción A X B	3	2.125	0.71	0.22ns
Error	16	48.000	3.00	
<b>Abundancia Máxima</b>				
Control				
Concentración de Alimento	1	24672.094	24672.09	326.02***
Densidad inicial	3	1594.367	531.46	6.58**
Interacción A X B	3	886.359	295.45	3.66*
Error	16	1210.836	75.68	
<b><i>Brachionus calyciflorus</i></b>				
Concentración de Alimento	1	11970.668	11970.67	254.81***
Densidad inicial	3	462.582	154.19	3.08ns
Interacción A X B	3	155.082	51.69	1.03ns
Error	16	751.668	46.98	
<b><i>Asplanchna brightwelli</i></b>				
Concentración de Alimento	1	49.630	49.63	317.54***
Densidad inicial	3	9.789	3.26	19.57***
Interacción A X B	3	8.285	2.76	16.56***
Error	16	2.501	0.16	

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 significativa ( $p > 0.05$ )

#### 7.4. DÍA DE ABUNDANCIA MÁXIMA

Los datos de día de abundancia máxima de la presa en el testigo indican que no hay un patrón definitivo, en general, *B. calyciflorus* alcanzó una abundancia máxima en la concentración  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> entre los 3 y 8 días y en la concentración de  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> entre los 5 y 9 días. Estadísticamente el día de abundancia máxima para *B. calyciflorus* en ausencia del depredador fue significativamente influenciado por la concentración de alimento ( $p < 0.001$ ) y la densidad inicial de la población ( $p < 0.001$ ), pero su interacción no fue significativa ( $p > 0.05$  análisis de varianza de dos vías)(Fig. 11).

El análisis de varianza del día de abundancia máxima para *B. calyciflorus* en presencia de *A. brightwelli* fue bastante significativo por la influencia de la concentración de alimento ( $p < 0.001$ ) y la densidad inicial de la población ( $p < 0.01$ ), y su interacción no fue significativa ( $p > 0.05$  análisis de varianza de dos vías) (Fig. 11). *B. calyciflorus* en presencia del depredador alcanzó una abundancia máxima en  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> entre los 2 y 5 días y en  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> entre los 5 y 7 días del periodo experimental.

El día de abundancia máxima para *A. brightwelli*, estadísticamente fue muy significativo en relación con la concentración del alimento ( $p < 0.001$ ), con respecto a la densidad inicial de la presa y la interacción de esta con la concentración del alimento no fueron significativas ( $p > 0.05$  análisis de varianza de dos vías, TABLA 2)(Fig. 12). En donde alcanzo una abundancia máxima entre los 4 y 5 días en la concentración  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> y entre los 9 y 10 días en la concentración de  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup>.

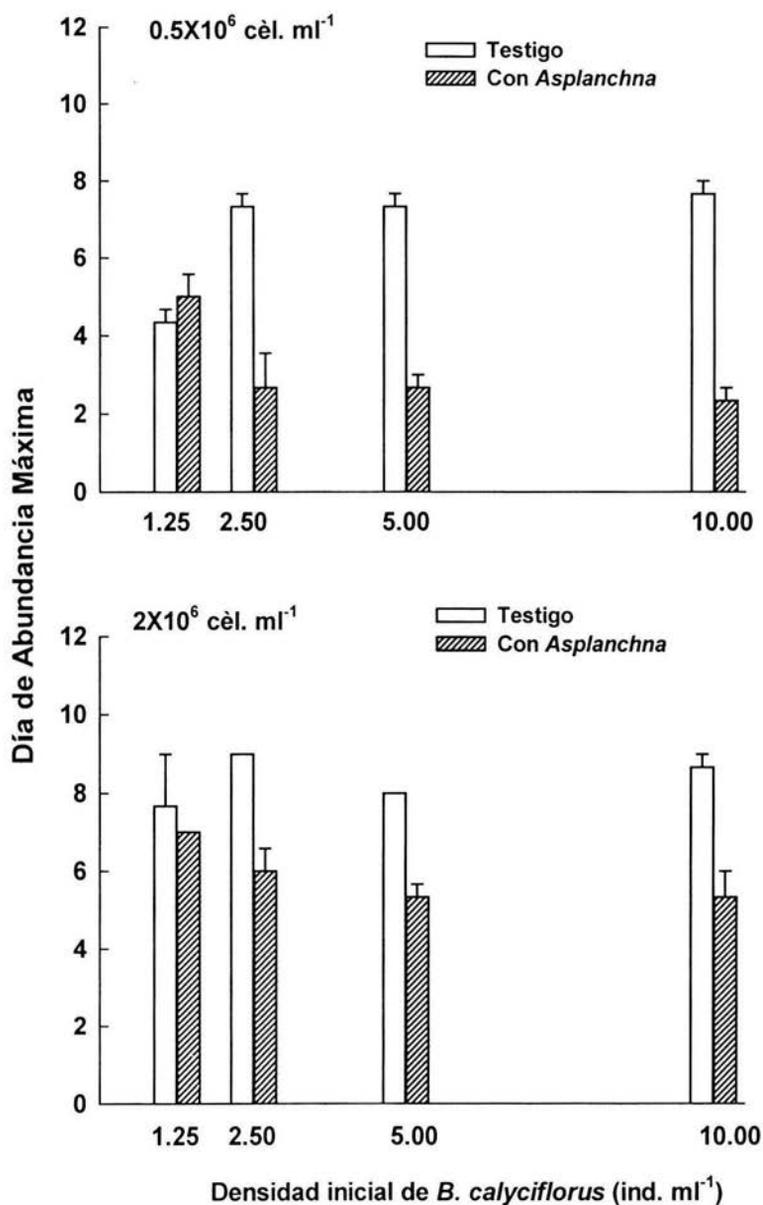


Figura 11. Valores de Día de Abundancia Máxima de *B. calyciflorus* (1.25, 2.5, 5.0 y 10 ind ml<sup>-1</sup>) en ausencia y presencia de *A. brightwelli*, en la concentración de 0.5 y 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>. Presentando valores promedio y barras de error estándar, basados en tres replicas.

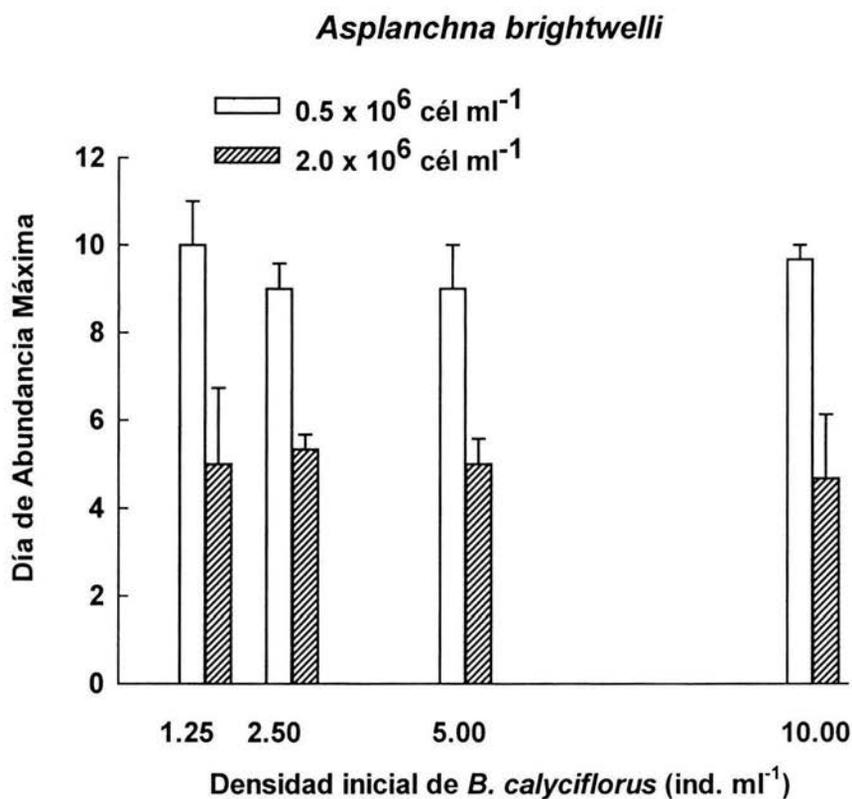


Figura 12. Datos de Día de Abundancia Máxima de *A. brightwelli* como una respuesta a la densidad de *B. calyciflorus* (1.25, 2.5, 5.0 y 10 ind ml<sup>-1</sup>), en la concentración de 0.5 y 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup>. Valores basados en el promedio y error estándar de tres replicas.

## 8. DISCUSIÓN

Los resultados indicaron que independientemente de la presencia del depredador, un aumento en la disponibilidad de la cantidad del alga promovió un incremento en el crecimiento poblacional y abundancia máxima de *B. calyciflorus*. Sin embargo, independientemente de la concentración de alimento, la presencia de *A. brightwelli* causó una reducción significativa en la tasa de crecimiento poblacional y abundancia máxima de *B. calyciflorus* (Fig. 7 y 9). Esto indica que *Asplanchna* teniendo una mayor disponibilidad de su presa en el ambiente pudiendo consumir más individuos y de acuerdo a su respuesta funcional (Nandini & Sarma, 1999), una parte de la población de *B. calyciflorus* sobrevive para recuperar su densidad poblacional.

Con respecto a las diferentes densidades iniciales de la presa, se observó que independientemente de la concentración de alimento y la presencia del depredador, un incremento en la densidad inicial de *B. calyciflorus* tuvo un efecto significativo en la tasa de crecimiento poblacional de *A. brightwelli* (Fig. 8) y demostró una tendencia esperada en la cual su abundancia máxima y tasa de crecimiento poblacional aumento cuando la densidad de la presa fue mayor en el ambiente bajo una alta concentración de *Chlorella vulgaris* ( $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup>). En ningún caso, *Asplanchna* pudo eliminar totalmente a su presa del medio, observando que en la concentración de alimento de  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> con una densidad inicial de *B. calyciflorus* tan baja como 1.25 ind ml<sup>-1</sup> permitió la coexistencia de ambos (presa-depredador) (Fig. 13 y 14).

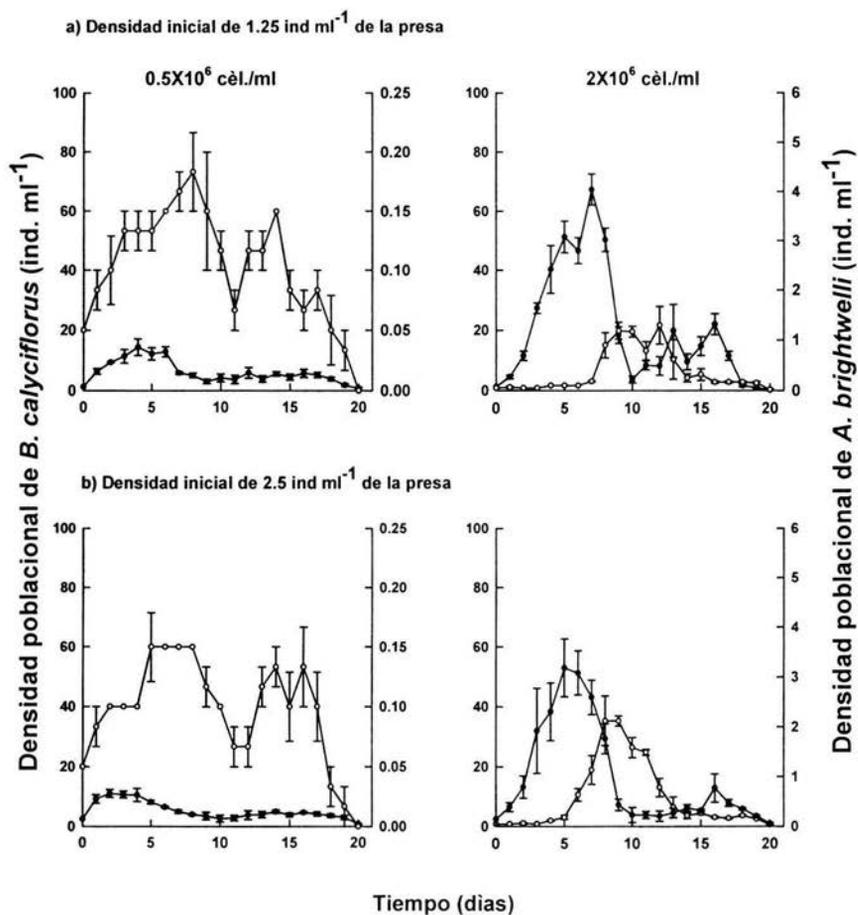


Fig. 13 Interacción depredador-presa entre *A. brightwellii* ( $0.05 \text{ ind ml}^{-1}$ ) -círculos abiertos- y *B. calyciflorus* ( $1.25$  y  $2.5 \text{ ind ml}^{-1}$ ) -círculos cerrados-, con relación a  $0.5$  y  $2 \times 10^6 \text{ cél ml}^{-1}$  de *Chlorella vulgaris*. Presentando valores promedio y barras de error estándar, basados en tres replicas.

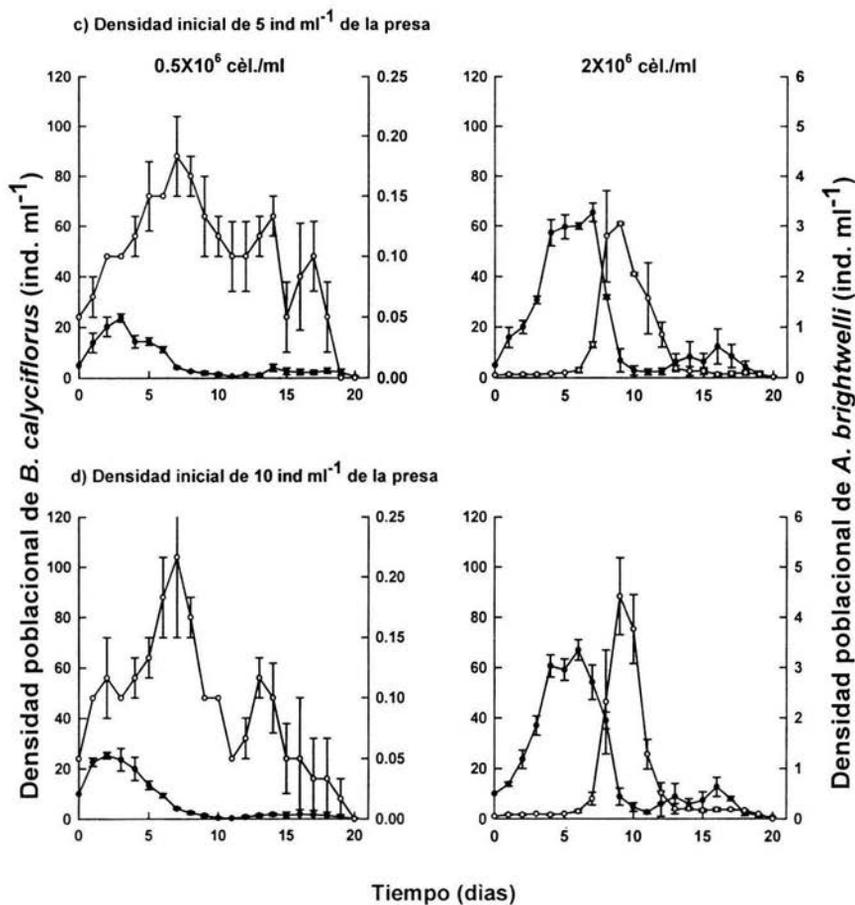


Fig. 14 Interacción depredador-presa entre *A. brightwellii* (0.05 ind ml<sup>-1</sup>) -círculos abiertos- y *B. calyciflorus* (5 y 10 ind ml<sup>-1</sup>) -círculos cerrados-, con relación a 0.5 y 2 x 10<sup>6</sup> cél ml<sup>-1</sup> de *Chlorella vulgaris*. Presentando valores promedio y barras de error estándar, basados en tres replicas

Estos datos coinciden con los datos publicados por Halbach & Halbach-Keup (1974), los cuales demostraron que especies armadas con mecanismos de defensa pueden sobrevivir bajo la presencia de su depredador, sin embargo, en algunos casos *Asplanchna* desapareció aunque su presa estaba disponible en el medio. En una investigación anterior (Threlkeld & Choinski, 1987) se demostró que *Asplanchna* por su cuerpo delgado y ausencia de lórica gruesa también puede ser fácilmente dañado por las espinas de su presa como *B. calyciflorus* y *Keratella cochlearis*. En el presente trabajo *B. calyciflorus* presentó espinas posteriores y posterolaterales largas y estas posiblemente no solo impidieron la filtración sino también dañaron el cuerpo de *Asplanchna*.

Se sabe que la probabilidad de sobrevivencia del depredador depende de la disponibilidad de su presa (Krebs, 1985). Y un desarrollo morfológico en la presa garantiza no solo su sobrevivencia en presencia del depredador sino también la de este último, por ejemplo especies de rotíferos presa como *Brachionus rubens* o *Anuraeopsis fissa*, los cuales no presentan un mecanismo de defensa contra *Asplanchna*, su población puede desaparecer totalmente en presencia del depredador causando la desaparición de este. En un estudio, Halbach & Halbach-Keup (1974) demostraron que *Asplanchna* no pudo sobrevivir por largo tiempo cuando se utilizó a *B. rubens* como presa, pero al mismo tiempo este depredador sobrevivió por largo tiempo en presencia de *B. calyciflorus*, eso fue posible a que *B. calyciflorus* desarrolló sus espinas posteriores largas contra su depredador, con las cuales minimizó su mortalidad por parte del depredador. Varios factores tienen influencia sobre la sobrevivencia de la presa y su depredador, entre ellos la tasa de reproducción es importante, por ejemplo, una presa presenta una alta tasa de reproducción aunque algunos individuos de la población perecieran por la depredación y los que sobrevivieron pueden

reponerse para mantener su densidad poblacional, así, si el depredador tiene un tiempo generacional muy largo también permite la sobrevivencia a largo tiempo de la presa ya que presenta un tiempo generacional corto (Krebs, 1985).

Otros factores importantes son la probabilidad del control entre el depredador y su presa. En este experimento, *A. brightwelli* desapareció principalmente en los vasos que tenían baja concentración de alimento y una baja densidad inicial de *B. calyciflorus*. Debido a que *A. brightwelli* le fue difícil ingerir individuos con espinas largas. En un estudio anterior (Sarma, 1993) demostró que *A. brightwelli* no fue capaz de capturar ningún individuo de *B. calyciflorus* durante 40 minutos de observación aunque al mismo tiempo fueron capturados un gran número de individuos de *Anuraeopsis fissa* y *Brachionus angularis*.

Entre las diferentes variables de crecimiento poblacional, el día de abundancia máxima, la abundancia máxima y la tasa de crecimiento poblacional son frecuentemente utilizadas no solo para estudios básicos sino también para trabajos aplicados como la ecotoxicología y acuicultura (Gama-Flores *et al.*, 1999). El día de abundancia máxima permite programar la producción pico de rotíferos en el campo antes de inocular larvas de peces o de camarón en los trabajos de acuicultura. Ecológicamente el día de abundancia máxima puede explicar la estrategia del crecimiento de ciertas especies de zooplancton con las condiciones de competencia o depredación. Generalmente los rotíferos herbívoros como *Brachionus* y *A. fissa* pueden alcanzar su pico de abundancia máxima entre los 7 y 15 días, dependiendo de la temperatura ambiental y de la concentración del alimento (Dumont *et al.*, 1995). Entre las diferentes especies de *Brachionus*, *B. calyciflorus* pueden alcanzar un pico más rápido (casi una semana) que otros como *B. patulus* (Sarma *et al.*, 2001).

En mi estudio, el día de abundancia máxima varió entre el día 3 y 10 dependiendo de la concentración del alimento y la presencia o ausencia del depredador. El día de abundancia máxima de *B. calyciflorus* fue significativamente afectado e influenciado por la concentración del alimento, la densidad inicial del cultivo en el testigo y así como en los tratamientos conteniendo *A. brightwelli*, sin embargo, el día de abundancia máxima no fue influenciado con la interacción de la concentración del alimento y la densidad inicial de la población. Para el depredador *A. brightwelli* solo la concentración del alimento de su presa tuvo una influencia significativa sobre el día de abundancia máxima.

En un estudio anterior, Sarma *et al.*, (1998), reportaron que *B. calyciflorus* presentó un día de abundancia máxima entre el día 6 y 10, en los resultados de mi estudio el día de abundancia máxima fue muy semejante. La capacidad de una especie para alcanzar una cierta densidad máxima depende de muchos factores entre ellos el tamaño de su cuerpo, la cantidad de alimento disponible y la temperatura (Krebs, 1985). Normalmente los rotíferos alcanzan valores picos más numerosos que los cladóceros bajo condiciones semejantes, eso es, porque el tamaño promedio de cladóceros en general, es más grande que el de los rotíferos; entre las diferentes especies de rotíferos, las especies de tamaño pequeño (*Anuraeopsis*, *Brachionus*, *Lepadella*) pueden alcanzar grandes abundancias que especies grandes como *Asplanchna* (Nandini & Sarma, 2001).

En el presente estudio, bajo cualquier concentración de alimento, *B. calyciflorus* alcanzó mayores densidades que *Asplanchna*; en cuanto a la abundancia máxima, *B. calyciflorus* presentó en la concentración de  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> entre 22 y 31 individuos por ml y en la concentración de  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> entre 76 y 113 ind por ml en ausencia del depredador.

En presencia del depredador, *B. calyciflorus* registro una abundancia máxima entre 12 y 29 ind por ml y de 58 a 67 ind por ml en la concentración de 0.5 y  $2 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup>, respectivamente. En la literatura la abundancia máxima de *B. calyciflorus* varía de 30 a 300 ind por ml cuando es cultivado en la concentración de *Chlorella vulgaris* de  $0.5 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup> hasta  $8 \times 10^6$  cél ml<sup>-1</sup>. La densidad de *Asplanchna* puede variar de 0.1 a 30 ind por ml dependiendo de la concentración y tipo de presa usada como alimento (Dumont & Sarma, 1995).

La abundancia máxima de algunas especies de rotíferos del género *Brachionus* es útil para manejar estrategias alimenticias en larvas de pez y camarón, normalmente las larvas de peces como las carpas, necesitan alrededor de 100 ind por ml para tener beneficios energéticos (Khadka y Rao, 1986). En el testigo de *B. calyciflorus* bajo diferentes densidades iniciales, las abundancias máximas son muy semejantes a las reportadas anteriormente (Sarma *et al.*, 1997). Las densidades iniciales y la concentración de alimento, así como su interacción tuvieron una influencia significativa sobre las densidades pico en el testigo, sin embargo en el tratamiento con la presencia del depredador solo la concentración de alimento tuvo una influencia significativa. La abundancia máxima de *A. brightwelli* también fue influenciada significativamente por la densidad inicial de su presa, la concentración de alimento de la presa y su interacción.

La Tasa de crecimiento poblacional ( $r$ ) es muy útil para entender la estrategia de vida de la presa o del depredador. Este valor se puede calcular, utilizando una tabla de vida demográfica o de crecimiento poblacional, para estimar  $r$  desde la tabla de vida es un poco más laborioso, sin embargo, los valores de la tasa derivados de la tabla de vida demográfica

o de crecimiento poblacional son semejantes (Krebs, 1985). La derivación de 'r' toma en cuenta los valores de la población inicial y final, así como el tiempo tomado para alcanzar los valores finales, de esta manera "r" toma en cuenta los días de abundancia máxima y abundancia máxima de cada tratamiento. Allan (1976) publicó una información comparativa de los valores de "r" considerando todos los grupos zooplanctónicos mayores, a excepción de algunas especies de *Moina*, en donde la mayoría de las especies de cladóceros tienen una tasa de crecimiento poblacional de menos de 0.4 ind por día, pero los rotíferos presentan una tasa de crecimiento mayor que 0.5 ind por día.

Sarma *et al.*, (2001) compilaron valores sobre la tasa de crecimiento de rotíferos herbívoros, en el caso de *B. calyciflorus* reportaron valores de 0.79 a 2.20 ind por día, para *B. angularis* fue de 0.58 ind por día, *B. patulus* de 0.12 a 0.61 ind por día, *B. plicatilis* de 0.16 de 0.49 ind por día, *B. rubens* de 0.79 a 0.80 ind por día y *B. urceolaris* de 1.32 ind por día. Los valores de la Tasa de crecimiento poblacional (r) en mi estudio, independientemente de la concentración del alimento, en el testigo se obtuvieron valores entre 0.06 a 0.31 ind por día, sin embargo, en presencia del depredador *B. calyciflorus* alcanzó valores de 'r' de 0.03 a 0.27 ind por día, independientemente de la concentración del alga. La tasa de crecimiento poblacional de *B. calyciflorus* en el testigo tuvo una influencia significativa en relación con la concentración de alimento y la densidad inicial, pero en su interacción no fue significativa. En presencia de *A. brightwelli*, *B. calyciflorus* en relación con la concentración del alimento no fue significativo, con respecto a su densidad inicial tuvo una influencia significativa, pero en su interacción no fue significativa.

Independientemente de la concentración del alimento por *B. calyciflorus* o la concentración de presa para *A. brightwelli*, una comparación de la tasa de crecimiento poblacional para ambas especies es interesante, por lo cual explican las estrategias de vida y hábitos alimenticios de ambas especies. Generalmente especies de tamaño grande tienen una alta tasa de crecimiento que los rotíferos de tamaño pequeño, además las especies carnívoras tienen una alta tasa de crecimiento poblacional que especies herbívoras (Dumont & Sarma, 1995).

En mi estudio, una comparación de la tasa de crecimiento de ambas especies basándose en una unidad de biomasa de alimento no es apropiado, ya que una fue alimentada por *Chlorella vulgaris* y otra por *Brachionus calyciflorus*, sin embargo independientemente de las alimentaciones, *A. brightwelli* presentó una alta tasa de crecimiento poblacional que *B. calyciflorus*. Dumont & Sarma (1995) indicaron que *Asplanchna* tiene una tasa de crecimiento poblacional entre  $1.5 \pm 1$  ind por día dependiendo de la densidad de la presa disponible, en mi estudio el intervalo de "r" fue muy semejante al que fue reportado anteriormente en la literatura. Entre las diferentes especies de *Brachionus*, *B. calyciflorus* tiene una alta tasa de crecimiento poblacional, en mi estudio fue baja, especialmente en el tratamiento bajo la presencia de *Asplanchna*, eso fue posible a que el depredador estaba continuamente disminuyendo la población de *B. calyciflorus* de los lotes, causando una disminución en la tasa de crecimiento poblacional de la presa. Las diferencias de los valores de 'r' entre el testigo y el tratamiento con *A. brightwelli* indican el impacto del depredador sobre su presa.

La tasa de crecimiento poblacional puede variar dependiendo de la densidad de alimento disponible, normalmente la mayoría de las especies de *Brachionus* tienen una tendencia a tener altas tasas de crecimiento poblacional con altas concentraciones de alimento algal disponible en el ambiente (Dumont, 1977). La mayoría de las especies de *Asplanchna* incluyendo *A. brightwelli* que son rotíferos carnívoros, los cuales se alimentan de una gran variedad de microorganismos, especialmente pequeños rotíferos, pero no pueden comer y sobrevivir con alga sola como *Chlorella vulgaris* (Iyer, 1989). Por lo que en los cuerpos de agua donde hay más cantidad de alga disponible, *Brachionus* puede sobrevivir y reproducirse con cierta velocidad manteniendo su población, aunque cierto porcentaje de esta se pierda por la depredación por parte de *Asplanchna*. Datos cuantitativos sobre esta relación no son reportados frecuentemente por lo que no existe literatura relacionada. Sin embargo, una interacción entre la concentración de alimento y la capacidad de defensa de una presa por la abundancia del depredador no se ha realizado. Entre otros factores que tienen más influencia sobre la sobrevivencia de una presa en presencia del depredador son: la tolerancia relativa a cierta concentración de un tóxico y/o a variables tales como la temperatura, la salinidad, el pH, entre otros. Por lo que, si un depredador no puede reproducirse bajo cierta combinación de factores ambientales y al mismo tiempo su presa no puede reproducirse, la relación entre presa y depredador puede prolongarse por más tiempo (Margalef, 1983,1995; Krebs, 1985). También considerando la densidad inicial de la presa que es un factor que tiene influencia sobre el día de abundancia máxima y la tasa de crecimiento poblacional y que pueden ayudar a la sobrevivencia de la presa en presencia del depredador. *B. calyciflorus* necesita al menos una generación más para desarrollar sus espinas posteriores y posterolaterales, las cuales son importantes para su defensa en contra de *Asplanchna* (Gilbert, 1967).

Los individuos de *B. calyciflorus* que están en contacto directo o indirecto con los aleloquímicos de *Asplanchna* no pueden cambiar sus espinas, pero sus descendientes sí las pueden presentar. Considerando la cantidad de la densidad de la presa, *Asplanchna* tiene un nivel máximo para su presa (*B. calyciflorus*) (Nandini & Sarma, 1999) y un aumento en la densidad poblacional de la presa, los individuos de *B. calyciflorus* tienen la posibilidad de producir descendientes, los cuales desarrollan espinas largas, asegurando su sobrevivencia por largo tiempo en presencia de *Asplanchna*.

## 9. CONCLUSIONES

En el presente trabajo la relación de la concentración del alimento y la densidad de inoculación de *Brachionus calyciflorus* en el testigo, mostró que la población tuvo un crecimiento rápido aunque con una menor densidad poblacional sobre la concentración de microalga baja ( $0.5 \times 10^6$  cél  $\text{ml}^{-1}$ ). Sin embargo, en la concentración de microalga alta ( $2 \times 10^6$  cél  $\text{ml}^{-1}$ ) su crecimiento poblacional fue lento pero con una mayor densidad poblacional.

*Asplanchna* en relación con la densidad de la presa, generalmente presenta una respuesta funcional en la que un incremento en la abundancia de la presa en el medio, la tasa de consumo es mayor. Comparando este estudio con los trabajos publicados con respecto al crecimiento poblacional de *Asplanchna*, utilizando diferentes densidades iniciales y tipos de presa existe una concordancia en que en la mayor densidad inicial de la presa, la sobrevivencia del depredador (*A. brightwelli*) es mayor, según el tipo de presa. Por lo que en este estudio, la mayor densidad inicial de *Brachionus calyciflorus* (presa) ( $10 \text{ ind ml}^{-1}$ ) con una concentración de alimento alta ( $2 \times 10^6$  cél  $\text{ml}^{-1}$ ), benefició a *A. brightwelli* (depredador) a tener una densidad poblacional mayor.

## 11. REFERENCIAS

- Allan, J. D. 1976. Life history patterns in zooplankton. *Am. Nat.* 110: 165-180.
- Anonymous. 1985. Methods of measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. US Environment Protection Agency EPA/600/4-85/013.
- Armengol, J. 1982. Ecología del zooplancton de los embalses. *Mundo Científico* 2:168-178
- Bennett, W. N., & M. E. Boraas. 1989. A demographic profile of the fastest growing metazoan: a strain of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera). *Oikos* 55:365-369.
- Borowitzka M.A. & Borowitzka L.J. (1988) Micro-algal biotechnology. Cambridge University Press. London.
- Brooks, J. L., & Dodson, S. I. 1965. Predation, body size, and composition of plankton. *Science* 150: 28-35.
- Conde- Porcuna J. M., R. Morales-Baquero & L. Cruz-Pizarro. 1993. Dinámica poblacional y hábitos alimenticios en dos especies congénicas (*Asplanchna girodi* y *Asplanchna priodonta*) In Cruz Pizarro. L. (ed) Actas VI Congreso Español de Limnología. Granada: 221-223.
- Conde- Porcuna J. M. & Sarma S. S. S. 1995. Prey selection by *Asplanchna girodi* (Rotifera): the importance of prey defense mechanisms. *Freshwater Biology* 33, 341-348.
- Dumont. H.J., 1977. Biotic factors in the population dynamics of rotifers. *Arch. Hydrobiol.* *Benh.* 8:98-122.
- Dumont, H. J., Tundisi, J. G. & Roche, K. 1990. Intra-zooplankton predation. *Developments in Hydrobiology* 60 (reprinted from *Hydrobiologia* vol. 198).

- Dumont HJ, Sarma SSS & Ali AJ 1995 Laboratory studies on the population dynamics of *Anuraeopsis fissa* (Rotifera) in relation to food density. *Freshwater Biol.* 33: 39-46
- Dumont, H. J. & Sarma S. S. S. 1995. Demography and population growth of *Asplanchna girodi* (Rotifera) as a function of prey (*Anuraeopsis fissa*) density. *Hydrobiologia* 306: 97-107.
- Edmondson, W. T. 1946. Factors in the dynamics of rotifer populations. *Ecol. Monogr.*, 16:357-372.
- Edmondson, W. T. 1965. Reproductive rate of planktonic rotifers as related to food and temperature in nature. *Eco. Monogr.*, 35:61-111.
- 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.
- Gilbert, J. J. 1967. *Asplanchna* and postero-lateral spine production in *Brachionus calyciflorus*. *Arch. Hydrobiol.*, 64:1-62.
- Gilbert, J. J. 1980a. Further observations on developmental polymorphism and its evolution in the rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Freshwater Biol.*, 10:281:294.
- Gilbert, J. J. 1980b. Observations on the susceptibility of some protists and rotifers to predation by *Asplanchna girodi*. *Hydrobiologia* 73: 87-91.
- Gilbert, J. J. 1980c. Feeding in the rotifer *Asplanchna*: behavior, cannibalism, selectivity, prey defenses, and impact on rotifer communities. In Kerfoot, W. C. (ed.). *Evolution and ecology of Zooplankton Communities*. University Press of England, Hanover: 158-172.
- Green, J., & O.B. Land. 1974. *Asplanchna* and the spines of *Brachionus calyciflorus* in two Javanese sewage ponds. *Freshwater Biol.* 4:223-226.

- Gulati, R. D. & W. R. DeMott. 1997. The role of food quality for zooplankton: remarks on the state-of-the-art, perspectives and priorities. *Freshwat. Biol.* 38:753-768.
- Halbach, U., G. & Halbach-Keup. 1974. Quantitative Beziehungen Zwischen Phytoplankton unter Populations dynamic des Rotator *Brachionus calyciflorus* Pallas. Befunde aus laboratoriums experimenten and freilandun tersuchungen. *Auch. Hydrobiol.*, 73:273-209.
- Halbach U. 1979. Introductory remarks: Strategies in population dynamics exemplified by rotifer population dynamics. *Fortschr. Zool.* 25: 1-27.
- Hutchinson, G. E. 1967. A treatise on Limnology. II. Introduction to lake Biology and the Limnoplankton New York, John Wiley & Sons, Inc., 1115 pp.
- Iyer. N. & T.R. Rao. 1996. Responses of the predatory rotifer *Asplanchna intermedia* to prey species differing in vulnerability: laboratory and field studies: component variables or system response? *Freshwater Biology*: 66:959-965.
- Kerfoot, W. C., & Sih, A. 1987. Predation: direct and indirect impacts on aquatic communities. Univ. Press new England, Hanover, N. H. 386 pp.
- King, C.E.1967. Food, age, and the dynamics of a laboratory population of rotifers. *Ecology* 48:111-128.
- Krebs, J. K. 1985. *Ecología: Estudio de la Distribución y la Abundancia*. Ed. Harla. México. 753 pp.
- Margalef, L. R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona, España.
- Margalef, L. R. 1995. *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona, España
- Mestres, P. J. 1985. *Elementos de Biología*. 3ra. Edición. Ed. Omega. Barcelona, España.

- Nandini S & Sarma S.S.S. 1999. Effect of starvation time on the prey capture behaviour, functional response and population growth of *Asplanchna sieboldi* (Rotifera). *Freshwater Biology* 42: 121-130.
- Nandini S & Sarma S.S.S. 2001. Population growth of *Lepadella patella* (O. F. Müller, 1786) at different algal (*Chlorella vulgaris*) densities and in association with *Philodina roseola* Ehrenberg, 1832. *Hydrobiologia* 446/447: 63-69.
- Nogrady , T., Wallace R.L., & T.W. Snell. 1993. Rotifera: Vol. 1: Biology, ecology and systematics. SBP Academic Publishers. The Hague.
- Pourriot, R. 1965. Rechercher sur l' écologie des rotifère vie et Milieu, Suppl., 21,224 pp.
- Pourriot, R. 1977. Food and feeding habits of Rotifera. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 8:243-260.
- Sarma, S.S.S. 1985. Effect of food density on the growth of the rotifer *Brachionus patulus* Mueller. *Bull. Bot. Soc.*, Sagas 32:54-59.
- Sarma, S.S.S. 1987. Experimental studies on the ecology of *Brachionus patulus* (Muller) (Rotifera) in relation to food, temperature and predation. PhD Thesis, Univ. Of Delhi, 243 pp.
- Sarma, S.S.S. & T.R. Rao. 1990. Population dynamics of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera) in relation to food and temperature. *Proc. Indian Acad. Sci. (Anim. Sci.)* 99:335-343.
- Sarma, S. S. S. 1991. Rotifers and aquaculture. *Env. Ecol.* 9 :414-428.
- Sarma, S. S. S., Fernández Araiza, M. A. & Amacor López, R. J. 1997. Influence of Food Concentration and Inoculation Density on the Population Growth of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera). *Environment & Ecology* 15(2) : 435- 441.



- Sarma, S.S.S., Nandini, S. & Dumont, H.J. 1998a. Feeding preference and population growth of *Asplanchna brightwelli* (Rotifera) offered two non-evasive prey rotifers. *Hydrobiologia* 361:77-87.
- 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). *Hydrobiologia* 8 (1): 73-80
- Sarma, S.S.S., Nandini, S. & Fernández Araiza, M. A. 1998c. Effect of methyl parathion-treated prey (*Brachionus calyciflorus*) on population growth of the predator *Asplanchna sieboldi* (Rotifera). *Environ. Contam. Toxicol.* 61:135-142.
- Sarma SSS, Larios-Jurado PS & Nandini S 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
- Sarma, S.S.S., Larios Jurado P. S. & Nandini S. 2001. Population growth of *Asplanchna sieboldi* fed *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera) raised on alga (*Chlorella vulgaris*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Hidrobiologia*
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 1981. *Biometry*. 2<sup>nd</sup> edn. W. H. Freeman and Company. San Francisco.
- Stemberger, R. S. & J. J. Gilbert. 1987. Defenses of planktonic rotifers against predators. In Kerfoot, W. & A. Sih (eds). *Pre-University Press of New England, Hanover, NH*: 227-239.
- Threlkeld, S.T. & Choinski, E. 1987. Rotifers, cladocerans and planktivorous fish: What are the major interactions? *Hydrobiologia* 147: 239 - 243
- Watanabe, T., C. Kitajima & S. Fujita. 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review. *Aquaculture* 34: 115-143.

- Walz, N. 1995. Rotifer populations in plankton communities: energetic and life history strategies. *Experientia* 51:437-453.
- Wetzel, R. G. 1983. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona, España.
- Williamson, C. E. 1987. Predator-prey interaction between omnivorous diaptomid copepods and rotifers: the role of prey morphology and behavior. *Limnol. Oceanogr.* 32:167-177.