



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Estudios Superiores Iztacala**

“Efecto alelopático entre cladoceros y rotíferos”

T E S I N A

Que para obtener el título de:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A

NOEMI JAZMÍN LÓPEZ VÁZQUEZ

Director de tesina:

Dr. Sri Subrahmanya Sarma Singaraju *S. S. S. Sarma*

LOS REYES IZTACALA  
TLANEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO  
2021





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, hecho con mucha dedicación, esfuerzo, orgullo y amor se la dedico a mis padres, que me han dado todo para ser la persona que soy y seré. A mi madre, María Guadalupe Vázquez Pérez y a mi padre, Pedro López Vázquez que me apoyaron en mi formación académica desde muy pequeña y hoy en día me permitieron llegar a este punto de mi vida. Le agradezco tanto a mis padres como a mi hermano, Pedro López Vázquez, por escucharme, alentarme, apoyarme y ser una gran compañía.

Gracias por su amor, su comprensión y su sostén a lo largo de mi vida...

Por ultimo... esta tesis es para mí, es mi muestra de esfuerzo, persistencia y dedicación y muestra de que, aunque las cosas se pueden complicar en el camino, siempre hay que dar lo mejor de uno mismo para conseguir lo que sueñas.

*... My soul is painted like the wings of butterflies  
Fairy tales of yesterday, grow but never die  
I can fly, my friends...  
The show must go on...*

**QUEEN**

## Agradecimientos

A mi familia, mis padres, por ser mis guías en este camino llamado vida. Por tener esa dedicación y entrega hacia mi hermano y a mí. Por darnos todo su amor, su tolerancia, sus conocimientos, sus valores, sus enseñanzas; por ser nuestro sostén económico y emocional y brindarnos su fuerza, inspiración y cariño. Los amo con todo mi corazón.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, desde que entre al nivel medio superior en CCH Azcapotzalco, me brindó una educación con una gran calidad. Igualmente a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, lugar donde me formé como bióloga, gracias por otorgándome los materiales y los profesores que transmiten el conocimiento para la formación de futuros científicos. Gracias por permitirme progresar y aspirar a ser una profesionista.

Agradezco al Dr. Sarma por aceptarme en su laboratorio y brindarme la confianza de trabajar en su línea de investigación. Gracias por brindarme su conocimiento y experiencia para que este trabajo fuera posible. Gracias por su paciencia y sabiduría.

A cada uno de mis sinodales, a la Dra. Nandini Sarma, al Dr. José Luis Gama Flores, al Dr. Pedro Ramírez García y a la Dra. Brenda Karen González Pérez; gracias por su tiempo y conocimiento, sus consejos y experiencia para hacer de este trabajo lo mejor posible.

Quiero agradecer a mis amigos de la carrera, en especial a mis más grandes amigas Teresa y Betzabe por brindarme tantas risas, apoyo y tantas experiencias a lo largo de nuestro desarrollo como biólogos. Sin estas personitas la carrera no hubiera sido una de las mejores experiencias de mi vida.

A Artur, gracias por ser parte de esta bonita etapa de mi vida. Gracias por brindarme el cariño y amor que siempre anhele. Gracias por tus consejos, tu ayuda y paciencia en mis momentos difíciles. Gracias por estar conmigo en los momentos de risa, de tristeza o de enojo y compartir tantos momentos. Gracias por confiar en mí, eres parte de esta gran aventura

Al igual a mis compañero de laboratorio: a Carlos, César, Mayra, Mezli, Andrea, Paulo, Mich, Toño y Tony, y en especial Nayelí y Rosa, por brindarme su ayuda al momento de entrar al laboratorio de Zoología acuática y compartir sus conocimientos conmigo.

Le agradezco al CONACYT por la beca de ayudante de investigador S.N.I. III o emérito (Exp. Ayyte. 18680) ya que gracias al apoyo económico, este trabajo fue posible.

*"... Si crees totalmente en ti mismo,  
no habrá nada que este fuera de tus  
posibilidades. Somos aquello en lo que  
creemos..."*

*Wayne W. Dyer*

# Índice

Índice .....	5
Resumen .....	7
Capítulo 1. Papel del zooplancton en los ecosistemas de agua dulce .....	8
ROTIFEROS.....	9
CLADOCEROS .....	11
Capítulo 2. Zooplancton de agua dulce (rotíferos y cladóceros) como organismos modelo en estudios experimentales.....	14
Capítulo 3. Características de la dinámica de la población y la demografía de la tabla de vida del zooplancton.....	18
CRECIMIENTO POBLACIONAL .....	19
CRECIMIENTO SOMÁTICO .....	20
TABLA DE VIDA.....	21
Capítulo 4. Infoquímicos y aleloquímicos.....	23
Capítulo 5. Algunos datos experimentales sobre la dinámica poblacional de rotíferos expuestos a aleloquímicos.....	27
JUSTIFICACIÓN .....	29
HIPÓTESIS.....	29
OBJETIVOS .....	30
MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
Cultivo de alga.....	31
Cultivo de organismos a utilizar.....	31
Medio-condicionado .....	32
Crecimiento poblacional de <i>C. dubia</i> sometidos a medio-condicionado.....	32

Crecimiento poblacional de <i>P. patulus</i> sometidos a medio-condicionado .....	32
Análisis de datos .....	33
Aislamiento del aleloquímico producido por <i>C. dubia</i> . .....	33
RESULTADOS	
Crecimiento poblacional de <i>P. patulus</i> (Zumpango) sometido a medio-condicionado de <i>C. dubia</i> (Xochimilco) .....	34
Crecimiento poblacional de <i>P. patulus</i> (Xochimilco) sometido a medio-condicionado de <i>C. dubia</i> (Xochimilco) .....	36
Crecimiento poblacional de <i>C. dubia</i> (Zumpango) sometido a medio-condicionado de <i>P. patulus</i> (Xochimilco). .....	39
Gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) con el aleloquímico aislado .....	41
Discusión .....	42
Conclusiones .....	47
Referencias citadas .....	48
Anexo 1 .....	58
Glosario .....	59

## Resumen

Los rotíferos y los cladóceros son los individuos con más interacción en un cuerpo de agua, interferencias químicas como los aleloquímicos son los que estimulan o inhiben la reproducción o el crecimiento poblacional entre dos individuos de diferentes especies. En este trabajo se presenta una compilación de información acerca de estos organismos, como es su interacción y reacción ante los aleloquímicos al igual que la forma más eficaz de estudiar estas reacciones mediante análisis demográficos. De igual manera se presenta el crecimiento poblacional sometido a los infoquímicos de dos especies de zooplancton de distintos lugares de colecta (Cladóceros: *Ceriodaphnia dubia* aislado del lago de Zumpango) (Rotífera: *Plationus patulus* aislado del lago de Xochimilco) igualmente se utilizó el cladóceros *C. dubia* del lago de Xochimilco. Se observa un mayor efecto en la velocidad del número de individuos por mililitro cuando los rotíferos son sometidos a los infoquímicos del cladóceros de un mismo cuerpo de agua. La curva de crecimiento poblacional de *C. dubia* sometido a los infoquímicos de *P. patulus* tuvo una reacción rápida en el crecimiento poblacional, acelerando la reproducción de estos. Los aleloquímicos segregados del cladóceros perteneciente al mismo cuerpo de agua que el rotífero tuvieron mayor impacto en el crecimiento poblacional, favoreciendo el aumento de individuos por mililitro. La curva de crecimiento poblacional de *C. dubia* sometido al medio condicionado de *P. patulus* mostro un elevado crecimiento poblacional. Los aleloquímicos segregados de los rotíferos incitaron el estrés químico de los cladóceros, favoreciendo el crecimiento poblacional.



# Capítulo 1

## Papel del zooplancton en los ecosistemas de agua dulce

Los cuerpos de agua epicontinentales se clasifican en dos grupos de acuerdo al tiempo el cual el agua permanece en un lugar: los sistemas lénticos y lóticos (Wetzel, 1981). Los sistemas lénticos son aquellos cuerpos de agua que se encuentran depositados en alguna depresión o cuenca, sin alguna corriente ni conexión con el mar, de acuerdo al tamaño de la depresión puede presentar corrientes y mareas generadas por el viento además de que son alimentados por acumulación subterránea o lluvia (Wetzel, 1981; Margalef, 1983; Roseli *et al.*, 2009). Tanto en los sistemas lénticos como en los lóticos viven distintas comunidades de seres vivos que son afectados por las características del medio; estas comunidades están conformadas por diferentes formas de vida, como protozoos, fitoplancton (productores primarios) y zooplancton (consumidores primarios), además de vertebrados e invertebrados acuáticos (Conde-Porcuna *et al.*, 2004; Elías-Gutiérrez, 2014.)

El zooplancton es un grupo de organismos heterótrofos de la comunidad planctónica que se distribuyen en ambientes marinos y sistemas acuáticos epicontinentales. (Wetzel, 1981). Las comunidades del zooplancton epicontinental se conforman principalmente de tres grupos: dos subclases de crustáceos: cladóceros y copépodos; y el grupo de los rotíferos. Además, dependiendo de las características del medio, podemos encontrar protozoos, ostrácodos, anfípodos, etc. (Wallace y Snell, 2001). La dieta de la mayoría de los que conforman el zooplancton se basa en la ingestión de materia orgánica ya elaborada. Su principal fuente de alimentación son algas, bacterias (cianobacterias) y detritos; aunque también los rotíferos depredadores se alimentan de otras especies de rotíferos (Nandini y Sarma, 2002; Conde-Porcuna *et.al.*, 2004).

## ROTIFEROS

Son un grupo de microorganismos helmintos ampliamente distribuidos en agua dulce los cuales gran parte son nadadores libres, algunos sésiles o en casos aislados formando colonias (Penak, 1989; Iannacone, 2013). Las características diacríticas de estos organismos son: aparato digestivo que consta de una faringe muscular llamada mastax y posee un conjunto de piezas esclerotizadas llamadas trophi la cual es exclusivo de este grupo y esta modificado de acuerdo al tipo de dieta que llevan (Wetzel, 1981). En la cabeza llevan un aparato rotatorio o corona ciliada la cual usan para locomoción o para la recolección de alimento por los cilios que tienen (Fontaneto y De Smet, 2015).

Los rotíferos son eutélicos (cantidad invariable de células durante toda su vida) y de acuerdo a Penak en 1989 tienen alrededor de 1000 células; su cuerpo es ligeramente cilíndrico en su mayoría y se pueden distinguir tres pseudosegmentos: Cabeza o parte anterior (donde se localiza la corona de cilios), tronco (donde están la mayoría de los órganos) y el pie; la parte más angosta del organismo y puede o no tener dedos (Seguers, 2007).

El ciclo reproductor de los rotíferos planctónicos (Monogononta) se caracteriza por tener múltiples generaciones y su ciclo de vida se divide en dos partes: El primero se denomina “estado activo”, reproducción asexual o fase partenogenética. Las hembras se reproducen partenogenéticamente; por mitosis se producen huevos diploides y generan hembras amícticas sin haber fecundación. Esta fase es apomíctica (Apomixis) y por lo tanto estrictamente clonal en la ausencia de mutación (Timmermeyer y Stelzer, 2006, Carmona Navarro, 1992). Esto sucede bajo condiciones óptimas, desarrollándose rápidamente en cuestión de 2 a 5 días (Fontaneto y De Smet, 2015; Wetzel, 1981).

Cuando las condiciones no son óptimas, se rompe el ciclo reproductivo (reproducción sexual o mixis), desarrollando una hembra mítica que morfológicamente es igual a las demás, experimenta meiosis y generan un huevo diploide, si el huevo es fecundado por un macho, desarrolla un huevo de resistencia (Timmermeyer y Stelzer, 2006, Wallace y Snell, 2001; Wetzel 1981). Estos pueden tener una duración de meses e incluso años, eclosionando cuando se encuentran las mejores condiciones para su desarrollo. Se cree que todas las especies de rotíferos de este género (Monogononta) forman huevos de resistencia, sin embargo, no se

conocen a ciencia cierta la cantidad de especies. Éstos pueden permanecer por indeterminado tiempo en los sedimentos formando en conjunto lo que se conoce como banco de huevos de resistencia (Albritton y White, 2006; García-Rogers *et al.*, 2006; Sharma y Sharma, 1997).

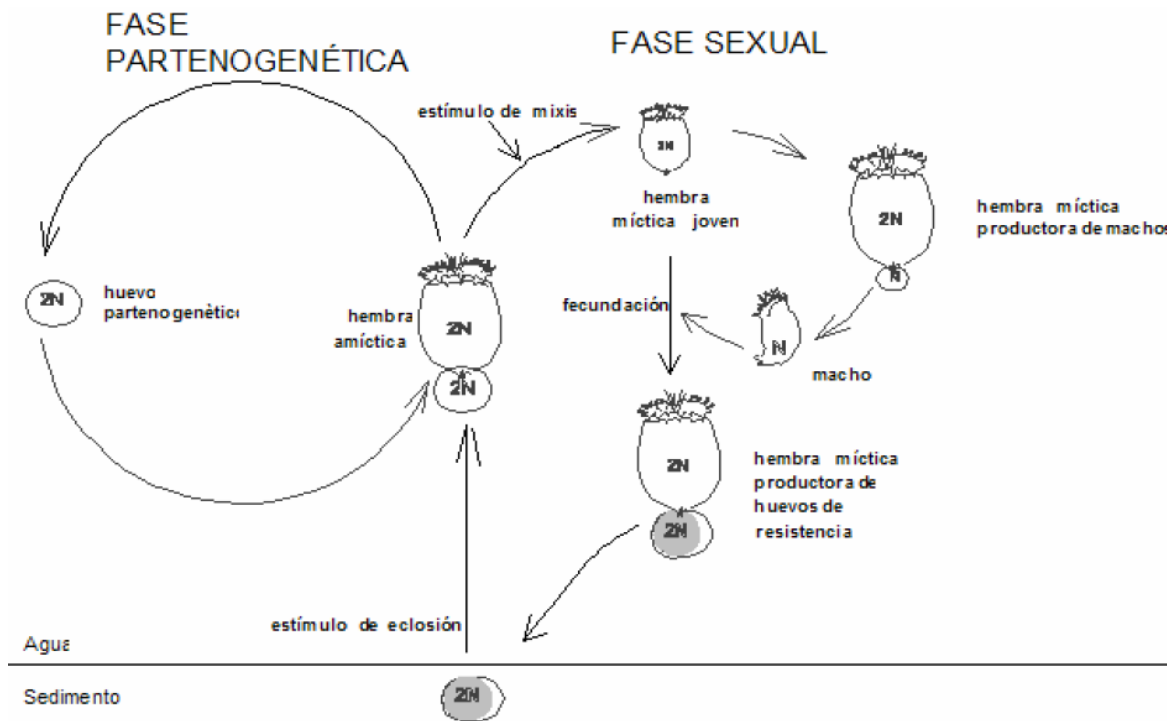


Figura. 1. Ciclo reproductivo del rotífero *Brachionus plicatilis* (Tomado de Ortells, 2003).

## **CLADOCEROS**

Los cladoceros (Crustáceos braquiópodos) son el grupo de microcrustáceos más abundantes de los sistemas límnicos. Estos organismos se caracterizan por estar cubierto por un caparazón bivalvo que deja expuesto la cabeza y como órgano sensible a la luz tiene un gran ojo compuesto de pequeños ocelos (Wetzel, 1981).

Las extremidades de los cladoceros poseen cerdas en los exopoditos y su número, longitud y disposición cambian de acuerdo a la temperatura, salinidad u otras variables ambientales (Elías-Gutiérrez, 2008; Ramírez, 1981).

El ciclo reproductor de los cladoceros es similar al de los rotíferos, poseen reproducción partenogenética (asexual) y una gametogenética (sexual). En la reproducción asexual las hembras producen huevos y estos son depositados en una cavidad en la parte dorsal del cuerpo, se desarrollan y eclosionan en forma de individuos parecidos a sus progenitores (Wetzel, 1981).

La reproducción sexual de acuerdo con Ramírez en 1981 se da por una “etapa depresiva” en la cual hay una reducción del número de embriones que, aunque no se sabe precisamente las razones, se señala que los cambios de temperatura y salinidad son los que inducen los cambios. La producción de machos se realiza y si existe fecundación por parte de los mismos, los huevos salen de la cámara incubatriz caen al fondo; pueden duran días o meses en el fondo y si las condiciones del medio son favorables, ocurre la eclosión y salida de una hembra (Villalobos y Gonzáles, 2006).

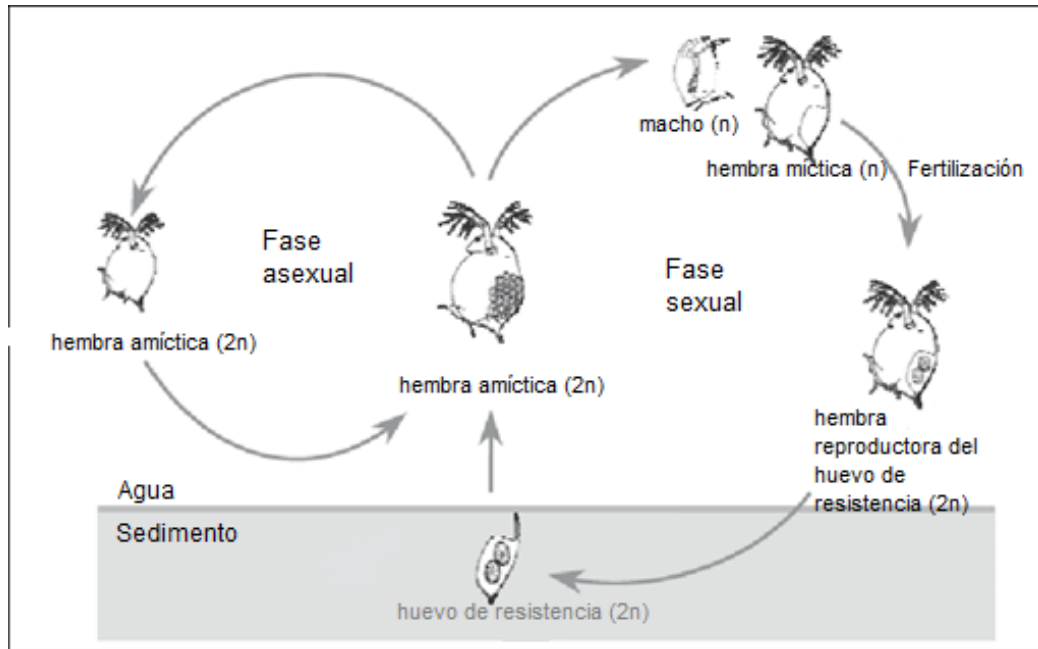


Figura. 2. Ciclo reproductivo del cladóceros *Daphnia sp.* (Tomado de De Bie *et al.* 2007).

Los cladóceros y rotíferos son los principales representantes de la comunidad zooplancónica y son los organismos más abundantes en un cuerpo de agua. La relación entre ambos estrecha por la competencia del alimento disponible y la depredación entre comunidades (Villalobos y Gonzáles, 2006; Pardo y de Roa, 2014). La importancia de los rotíferos es gracias a su pequeño tamaño, pues se integran dentro de las cadenas tróficas como consumidores primarios, son responsables de la producción secundaria de ecosistemas dulceacuícolas; lo que los hace importantes como alimento de peces en estadios juveniles (Elías-Gutiérrez y Sarma, 1999). Su permeabilidad en el integumento y la alta renovación los convierte en organismos susceptibles a cambios físicos y químicos en su ambiente, teniendo una variabilidad en la estructura de la composición poblacional de éstos, siendo de gran utilidad como indicadores de toxicidad y calidad del agua (Gutkowska *et al.*, 2013; Jansen *et al.*, 1993).

Los cladóceros son vulnerables a la depredación debido a su tamaño y por su cultivo relativamente sencillo, por lo cual es útil para los estudios de piscicultura (Prieto y Atencio, 2008; Bredesen *et al.*, 2002). En lo que respecta la transferencia de energía, los cladóceros representan un eslabón clave en la comunidad plantónica de los lagos. Al ser estos crustáceos casi exclusivamente consumidores de algas y detritus, son capaces de afectar el desarrollo del fitoplancton en los sistemas naturales y, al mismo tiempo, son las presas favoritas de

depredadores vertebrados e invertebrados (Cornejo, 2012; Elías-Gutiérrez, 2004). Al tener afinidad por ambientes oligotróficos y ricos en oxígeno, destacan su valor como indicadores biológicos y son requeridos en estudios de toxicidad acuática. *Daphnia magna* es utilizada como un bioindicador en ensayos ecotoxicológicos ya que es fácil de mantener en condiciones de laboratorio; su tipo de reproducción bifásica (sexual y asexual) permite una interacción y manipulación con poblaciones genéticamente uniformes (Núñez y Hurtado, 2005). Conociendo los requerimientos ambientales de las diversas especies se pueden establecer los cambios que ha sufrido un lago a lo largo del tiempo, pues cada especie queda registrada en un estrato diferente, esto debido a los caparzones de estos organismos que conservan fácilmente en los sedimentos de los lagos (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008; Freitas y Rocha, 2011).

## Capítulo 2.

### **Zooplankton de agua dulce (rotíferos y cladóceros) como organismos modelo en estudios experimentales**

El zooplankton es un grupo de organismos heterótrofos de la comunidad planctónica (Microplankton) que se distribuyen en ambientes marinos y sistemas acuáticos epicontinentales (Elías-Gutiérrez, 2014, de Paggi, 2004). Como características generales encontramos que son organismos cuyo tamaño va desde los 0.1 milímetros hasta 3 centímetros, son organismos con un periodo de vida corto, además son susceptibles a los cambios en los factores bióticos y abióticos del medio, (Wetzel, 1981). Su tiempo de vida corto hace que estos organismos sean de fácil manipulación, permitiendo experimentar y formular hipótesis acerca de las interacciones biológicas entre poblaciones y comunidades en un cuerpo de agua los cuales en los sistemas terrestres son analizados con mayor facilidad. Además, estos organismos tienen una alta tasa de crecimiento poblacional, lo que permite responder rápidamente a un ambiente cambiante y podemos analizar el efecto de las diferentes sustancias segregadas en el medio acuático sobre los organismos (Sarma y Nandini, 2018).

Inicialmente, en el estudio del plancton predominaron ciertos intereses por el análisis de la influencia de los factores físicos y químicos del medio sobre los organismos y su seguimiento. En consecuencia, la sucesión de especies era considerada como el resultado de la tolerancia ecológica a varios factores ambientales abióticos, tales como la intensidad de la luz y la densidad del agua o la química de la misma (Pennak, 1989). Últimamente los ecólogos han mostrado un interés creciente en el estudio de las interacciones bióticas, la competencia por recursos comunes y la depredación por invertebrados, manifestando su importancia en la regulación de las comunidades acuáticas (Lambert y Sommer, 2007). En los sistemas terrestres, el análisis de las interacciones entre organismos es sencillo de entender, acciones como la depredación en vertebrados que tienen contacto directo, o el desarrollo de mecanismos de defensa de las plantas terrestres ante depredadores han sido analizados rigurosamente por mucho tiempo (Sarma y Nandini, 2018).

Sin embargo, en ecosistemas acuáticos no es sencillo distinguir los mecanismos de interacción entre los organismos. La dinámica en un cuerpo de agua se da por diversas

interacciones entre las poblaciones que lo habitan. Interacciones como la competencia por el alimento, la depredación, comensalismo o parasitismo, entre otras, son las que rigen el comportamiento ecológico y su respuesta en el medio (Pennak, 1989).

Existen muchos factores bióticos y abióticos que afectan las interacciones biológicas; como es la química del agua, la profundidad, la segregación de otras sustancias que afectan la captación de demás sustancias, contaminación acuática, entre otros. Es por ello que se emplean análisis de laboratorio, aislando organismos colectados de un cuerpo de agua para entender más sobre el tipo de interacciones entre vertebrados e invertebrados acuáticos, micro y macroplancton entre otros (Moss, 2010).

En los sistemas acuáticos, las comunidades que pertenecen al plancton están constituidas por organismos con periodos de vida cortos, y muchos de ellos son fácilmente manipulables. Ecólogos han formulado hipótesis experimentales basadas en interacciones biológicas y físicas, sobre modelos de la estructura de comunidades y el efecto sobre los organismos (Conde-Porcuna *et al.*, 2004).

Los cladóceros y rotíferos son los principales representantes de la comunidad zooplanctónica y son los organismos más abundantes en un cuerpo de agua. La relación entre ambos estrecha por la competencia del alimento disponible y la depredación entre comunidades (Lambert y Sommer, 2007). La interferencia mecánica consta de la reducción de una población del zooplancton por medio de acciones mecánicas por parte de los organismos, por ejemplo, los cladóceros de mayor tamaño, más concretamente del género *Daphnia* pueden eliminar las poblaciones de rotíferos de menor tamaño siendo arrastrados a la cámara branquial para posteriormente ser expulsados dañados o muertos. En cambio, cuando las condiciones en un cuerpo de agua son eutróficas o el tamaño del número de cladóceros pequeño, estos no interfieren mecánicamente y las poblaciones de rotíferos aumenta (Burns y Gilbert, 1986; Conde-Porcuna *et al.*, 2004). Además de la interferencia mecánica, la respuesta a los estímulos químicos o interferencia química afecta los procesos ecosistémicos acuáticos de manera directa. Desde las bacterias hasta los humanos, reaccionan al ambiente con sustancias químicas, y para el zooplancton, este es el mayor foco de recepción en cuanto a información sensorial (Snell, 1998). Los infoquímicos propiamente dichos son una de las razones del comportamiento en el agua ya que ayudan al organismo a comprender la distribución y



ubicación en el agua, la elección del alimento y la competencia por el mismo, la respuesta a depredadores, el estatus social entre otros (Larsson y Dodso, 1993; Snell, 1998)

Tabla 1. Datos sobre la densidad poblacional de cladóceros y rotíferos seleccionados. No se incluyen las condiciones estresantes de los datos.

<b>Cladocera</b>	<b>Condiciones experimentales</b>		<b>Densidad máxima (ind./ml<sup>-1</sup>)</b>	<b>Referencia</b>
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	Análisis	en laboratorio	0.3	Gándara, 2013
<i>Daphnia pulex</i>	Análisis	en laboratorio	0.2	Alva-Martínez <i>et al.</i> , 2004
<i>Daphnia magna</i> <i>e Hydra attenuata</i>	Análisis	en campo	0.4 y 0.3 respectivamente	Barrera <i>et al.</i> , 2019
<i>Diaphanosoma sp.</i>	Condiciones	de laboratorio	0.01	Muñoz <i>et al.</i> , 2013
<i>Moina sp.</i>	Condiciones	de laboratorio	0.07	Prieto, 2001.
<i>Daphnia magna</i>	Condiciones	de laboratorio	0.2	Núñez y Hurtado, 2005
<i>Moina micrura</i>	Análisis	en laboratorio	0.4	Rodríguez-Estrada <i>et al.</i> , 2003
<i>Moina sp</i>	Análisis	en campo	0.3-0.4	Nandini y Sarma, 2019
<i>Macrothrix spinosa</i>	Análisis	en laboratorio	0.02	Oviedo-Montiel <i>et al.</i> , 2019
<b>Rotifera</b>				
<i>Brachionus caudatus</i>	Análisis	de diversidad en campo	0.3	Vázquez-Sánchez <i>et al.</i> , 2014

<i>Asplachna brightwelli</i>	Análisis en campo	0.2	Nandini <i>et al.</i> , 2005
<i>Brachionus bidentatus</i>	Análisis en campo y aislación en laboratorio	0.48	Guerrero-Jiménez <i>et al.</i> , 2013
<i>Keratella cochlearis</i>	Análisis en laboratorio, tabla de vida	1.0	Conde-Porcuna, 1998
<i>Asplachna girodi</i>	Análisis en laboratorio	09	Estrada-Posada, 2018
<i>Brachionus ibericus</i>	Análisis en campo y aislación en laboratorio	0.20	Román-Reyes <i>et al.</i> , 2014
<i>Brachionus calyciflorus</i>	Análisis en campo	1.0	Stevenson, Sarma y Nandini, 1998
<i>Brachionus rotundiformis</i>	Análisis en laboratorio	1.5	Cabrera, 2008
<i>Polyarthra vulgaris-dolichoptera</i>	Análisis en laboratorio	0.39	Ramos-Rodríguez y Conde-Porcuna, 2003
<i>Brachionus sp.</i> (tres especies diferentes)	Condiciones de laboratorio	50, 20 y 5	Sarma <i>et al.</i> , 2018

### Capítulo 3.

#### Características de la dinámica de la población y la demografía de la tabla de vida del zooplancton

El análisis de la dinámica poblacional de los rotíferos es de fácil entendimiento debido a los cortos intervalos de tiempo entre la eclosión y el momento en que los organismos alcanzan la madurez con capacidad reproductora (Wetzel, 1981). Existen diferentes experimentos y análisis estadísticos para entender la dinámica poblacional de los rotíferos: tasa de reproducción; comúnmente se determina con la proporción del número de huevos producidos por hembra. La reproducción de los rotíferos está estrechamente relacionada con cantidad, abundancia y calidad de alimento disponible (Rodríguez-Estrada *et al.*, 2003; Wetzel, 1981). Tasa de desarrollo: a la par con la producción de huevos, esta inversamente proporcional a la temperatura y a la disponibilidad de alimento en el medio (Wetzel, 1981; Marrasé, 1986).

Para los cladóceros, diferentes autores estiman la dinámica poblacional a través de la asimilación o ingestión de alimento. La eficiencia de la asimilación indica el porcentaje de alimento ingerido y la absorción del mismo a nivel del sistema digestivo; la asimilación varía enormemente con la calidad de alimento y las tasas de ingestión: se entiende como  $\text{Asimilación} = \text{Crecimiento} + \text{respiración}$  (Wetzel, 1981). Los cladóceros presentan una variabilidad grande con respecto a la sucesión poblacional, tanto por la diferencia de especies como las distintas condiciones del medio acuático. Las especies permanentes muestran máximos poblacionales durante los periodos de primavera, mientras que otras tienen su máximo en los estratos hipolimnéticos y metalimnéticos durante la estratificación en verano (Wetzel, 1981; Alcocer y Bernal-Brooks, 2010). Por otro lado, las especies estivales sufren de diapausia en forma de huevos durables y durante la primavera o el verano cuando las temperaturas son más altas, desarrollan su máximo poblacional (Margalef, 1983).

Dentro de un ecosistema acuático el análisis de poblaciones de zooplancton requiere de métodos de muestreo confiables, tomando en cuenta el conocimiento estadístico de la heterogeneidad y varianza de la población a estudiar. Para el análisis de los muestreos pueden emplearse distintos métodos para evaluar las poblaciones, averiguar sus fluctuaciones, responder ciertas cuestiones sobre interacciones y la dinámica poblacional, tener presente los

cambios en biomasa través de un análisis de los estadios del ciclo de vida de cada organismo y el periodo de desarrollo, entre otros (Wetzel, 1981; Castro-Mejía *et al.*, 2016).

### **CRECIMIENTO POBLACIONAL**

El crecimiento poblacional es el análisis de la cantidad de individuos de una población que aumenta o disminuye con el tiempo. Los procesos de crecimiento poblacional se analizan en función a los procesos demográficos de nacimiento y muerte con “poblaciones cerradas”; está controlado por la tasa de nuevos individuos en la población a través de procesos como el nacimiento e inmigración y la tasa de individuos que dejan la población con procesos como muerte y emigración (Smith y Smith, 2007).

Como todos los demás grupos, el zooplancton también responde a los cambios en la disponibilidad de alimentos. El ciclo poblacional de zooplancton (rotíferos o cladóceros) de los cuerpos de agua secos estacionalmente comienza con la eclosión de las etapas de reposo con lluvias. Las poblaciones que nacen de las etapas de reposo aumentan rápidamente en abundancia mediante la explotación de los recursos alimentarios existentes (Margalef, 1983). Después de alcanzar la abundancia máxima, las poblaciones comienzan a colapsar a medida que los recursos comienzan a limitar. En casos raros, las poblaciones mantienen una fase estacionaria durante un período prolongado (2-3 meses), antes de que comiencen a disminuir. Por lo tanto, las cuatro fases básicas del crecimiento de la población: una fase de retraso inicial (donde las etapas de reposo comienzan a eclosionar), una fase exponencial rápida, una fase estacionaria y finalmente una fase de declive. Estas fases son evidentes tanto en el campo como en los cultivos de laboratorio de muchas especies diferentes de cladóceros y rotíferos (Wetzel, 1981).

## CRECIMIENTO SOMÁTICO

Se entiende como somático al interés de los procesos de interacción sinérgica entre el funcionamiento biológico y el medio ambiente. El término somático hace alusión a dolencias, sensaciones o proyecciones meramente físicas y se expresan visiblemente en alguna parte del organismo (Muñoz, 2009).

En el grupo de zooplancton, existen especies sumamente variadas, las cuales presentan niveles de producción y desarrollo muy distintos entre sí. Poseen ciclos largos, los cuales abarcan varios días a un par de años haciéndolos susceptibles a cambios. Para un análisis somático se requiere saber, por ejemplo: el tiempo de desarrollo de los organismos desde huevo hasta adulto, la tasa de crecimiento que poseen. Con toda esa información sí sería posible calcular la cantidad de carbono que se incorpora a esa especie por unidad de tiempo y por el total de la población; no obstante, es difícil generar medidas precisas de todas las variables a estimar con una sola especie (Escribano y Castro, 2004; Osorio, 1998).

La estequiometría es una herramienta usada para indagar sobre los mecanismos que subyacen a los procesos ocurridos a nivel celular de los organismos y construir un análisis de las interacciones directas (competencia por los recursos) e indirectas (reciclado de los nutrientes C: N: P) y en general entender el funcionamiento de los sistemas acuáticos (Escribano y Castro, 2004; Villar, 1999). Las entradas externas de los nutrientes y la presencia del zooplancton influyen para el crecimiento y composición de las algas, por otro lado, la disponibilidad de nutrientes (Fosforo particularmente) afecta la aparición de bacterias. La relación estequiométrica del zooplancton (%C, %N, y la relación C: N) y los parámetros ontogénicos (tamaño corporal y tasa de crecimiento y desarrollo) apoya la hipótesis de que las tasas de crecimiento se encuentran asociadas a la composición elemental de los copépodos. Los copépodos presentaron un periodo de crecimiento somático intenso, donde los contenidos de C y N están estrechamente unidos a las tasas de crecimiento. No obstante, la ausencia de relación entre el contenido de P y la tasa de crecimiento en el contenido en P intraestadio de *M. laciniatus* se asocia a que este elemento se encuentra asociado a los picos de actividad metabólica más alta durante los procesos de muda y metamorfosis. P podría operar como factor limitante en determinados sistemas (Villar, 1999).

Un análisis que generalmente se utiliza para el análisis de crecimiento somático son índices indirectos de crecimiento basados en la actividad de diferentes enzimas. La enzima ADN polimerasa que está relacionada con los procesos de replicación del ADN en la célula. Se validó como índice de la tasa de crecimiento del misidáceo *Praunus flexuosus*. Sin embargo, no se ha validado para otras especies planctónicas (Runge y Roff, 2000). La enzima aspartato transcarbamilasa (ATC) cataliza el primer paso de la formación de las bases pirimidínicas, constituyentes fundamentales de los ácidos nucleicos. Aunque se consideró como índice de crecimiento en crustáceos, tiene sus limitaciones ya que está estrechamente relacionado con los procesos de muda y no con el crecimiento somático (Hernández-León, 2002; Herrera, 2014)

## **TABLA DE VIDA**

Las tablas de vida son la representación de la mortalidad específica para cada edad y analizan los patrones sistemáticos de mortalidad y supervivencia en las poblaciones animales y vegetales. Para el inicio de la construcción de una tabla de vida es requerido una cohorte representado como  $n_x$  que significa el número de individuos nacidos en un mismo periodo de tiempo; posteriormente se expresa la cantidad de individuos que sobreviven a cualquier edad dada la proporción de la cohorte inicial; este dato representa la probabilidad del individuo al nacer y sobrevivir hasta alguna edad concreta ( $l_x$ ); este análisis considera la diferencia entre la cantidad de individuos para una clase de edad ( $n_x$ ) y la siguiente clase de edad mayor ( $n_{x+1}$ ) da la cantidad de individuos que murieron durante el intervalo de tiempo ( $d_x$ ); la cantidad de individuos que murieron durante cualquier intervalo de tiempo dado ( $d_x$ ) dividido por la cantidad de individuos vivos al comienzo de ese intervalo ( $n_x$ ) proporciona una tasa de mortalidad específica de la edad ( $q_x$ ) (Smith y Smith, 2007).

Para examinar la mortalidad y supervivencia de una población, los ecólogos emplean la construcción de tablas de vida. Generalmente analizan el efecto de la temperatura, calidad y cantidad de alimento en condiciones de laboratorio, para *Moina micrura* tuvo una supervivencia menor a 25°C, aunque la progenie total por hembra fue mayor. El mejor desarrollo de *M. micrura* se obtuvo en los cultivos a 25°C, empleando como alimento a *Ankistrodesmus falcatus*. De acuerdo con las respuestas reproductivas evaluadas, se

confirma el uso potencial de esta especie para el cultivo masivo, así como para la obtención de organismos de prueba para bioensayos (Rodríguez-Estrada *et al.*, 2003). Los patrones y tasas de crecimiento de diferentes grupos del zooplancton son afectados por la calidad nutricional de la microalga empleada para los cultivos y la funcionalidad digestiva (Prieto y Atencio, 2008). La eficacia de una dieta determinada afecta la tasa de crecimiento de una especie determinada, al igual la abundancia numérica y el tiempo de desarrollo de los organismos afecta la tasa reproductiva y el crecimiento poblacional (Castro-Mejía *et al.*, 2016).

## Capítulo 4.

### Infoquímicos y aleloquímicos

Recientemente se ha visto un gran interés para el análisis y entendimiento de las sustancias de origen químico que se hayan involucradas en las interacciones ecológicas intra e interespecíficas de organismos vivos (Ruther *et al.*, 2002). El término “infoquímicos” se atribuye primeramente a Dicke y Sebelis (1988); catalogando a los infoquímicos como sustancias químicas involucradas en distintas interacciones ecológicas. Los infoquímicos son compuestos químicos de origen biológico que está presente en la interacción de dos individuos de la misma o diferente especie, transmiten información que produce al receptor una respuesta de comportamiento o fisiología que puede ser ventajosa o perjudicial al receptor o al emisor (Cortez, 2013; Sarma y Nandini, 2018).

La respuesta a infoquímicos puede ser intraespecífica si el emisor y el receptor pertenecen a una misma especie (Ejemplo: atracción con feromonas para la copulación, reconocimiento de la descendencia, información sobre la disponibilidad de alimento, marcaje de territorio, etc), o interespecífico si el emisor y el receptor son dos especies diferentes (Ejemplo: reconocimiento depredador-presa, camuflaje o desarrollo de defensa por parte de la presa, etc.) (Van Donk, 2007).

Un emisor generalmente segrega más de un infoquímico en diversos momentos y situaciones y a diferentes concentraciones, a su vez el receptor percibe los distintos infoquímicos que van desde los segregados por los miembros de una misma población, organismos de diferentes especies, los que compiten por el mismo recurso alimenticio, depredadores o presas u otras fuentes de infoquímicos (Diéguez y Gilbert, 2011). La producción de infoquímicos se generan a través de células con ese único propósito o pueden ser producto de desecho (orina o heces), cuando estos componentes son segregados al medio, las presas o depredadores manifiestan respuestas etológicas o fisiológicas según el caso (Vet, 1999).



Los infoquímicos se dividen en dos grandes grupos de acuerdo al efecto que tienen sobre los organismos, estos se muestran a continuación en el siguiente esquema:

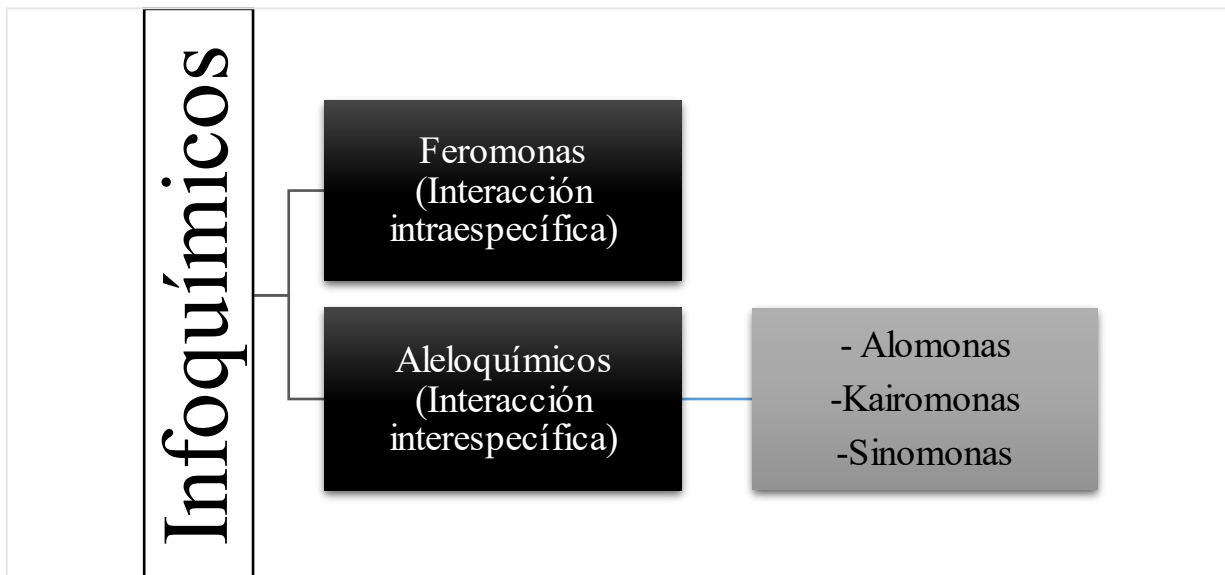


Figura. 3. Clasificación de los infoquímicos (Tomado de Cortez 2013).

De acuerdo a Sarma y Nandini (2018) los infoquímicos se clasifican de acuerdo a los efectos que tienen sobre los organismos, y estos se definen en la tabla 1.

Tabla 2. Clasificación de los infoquímicos (Tomado de Sarma y Nandini, 2018).

<i><b>Infoquímicos</b></i>	<i><b>Definición</b></i>
<b>Feromonas</b>	Infoquímicos que median interacciones entre dos individuos de la misma especie. Median el comportamiento reproductivo, la regulación social y el reconocimiento entre especies.
<b>Aleloquímicos</b>	Infoquímicos que median una interacción estimuladora o inhibitoria entre dos individuos de diferentes especies.
<b>Sinomonas</b>	Aleloquímicos que provocan una respuesta fisiológica o de comportamiento favorable entre las dos especies.

<b>Kairomonas</b>	Aleloquímicos liberados por un depredador, que cuando una presa los detecta genera una respuesta fisiológica o de comportamiento en defensa. Es una adaptación favorable por el trasmisor, pero no para el emisor.
<b>Alomonas</b>	Aleloquímicos liberaos por presas en defensa de sus depredadores. Es una adaptación favorable para el trasmisor, no para el receptor.
<b>Sustancias de alerta</b>	Infoquímicos liberados por una presa que ha sido parcialmente dañada por un depredador, la cal, al ser detectada por individuos de la misma población. El receptor exhibe una respuesta fisiológica o de comportamiento.
<b>Medio condicionado</b>	Medio de cultivo filtrado, que contiene productos metabólicos (exudados, secreciones, productos de desecho, productos químicos, entre otros) de una especie acuática mantenida previamente en el medio durante un periodo de tiempo específico.

Los infoquímicos pertenecen a muchos grupos químicos por ejemplo proteínas, péptidos o aminoácidos, carbohidratos, hidrocarburos, aldehídos, ácidos carbónicos, lípidos, lactonas, esteroides, fenólicos, terpenos, o con nitrógeno compuesto (Klaschka, 2008); para su biosíntesis intervienen cientos de miles enzimas especializadas, y en la mayoría de los casos la segregación de estas sustancias es a partir de un sustrato y una enzima específica para el compuesto; no existe una correlación sistemática obvia entre un grupo de organismos y una estructura química (Cortez, 2013).

Los aleloquímicos como se mencionó anteriormente, son sustancias liberadas por individuos de diferentes especies que tienen efectos conductuales o fisiológicos negativos o benéficos. La información a considerar sobre las interacciones aleloquímicas entre diferentes grupos del zooplancton es limitada, se tiene registro del zooplancton (rotíferos y cladoceros) y vertebrados e invertebrados depredadores (Sarma y Nandini, 2018). Por ejemplo, se sabe que la alimentación es similar entre ciliados y rotíferos principalmente por detritos; en

condiciones controladas y cultivos masivos se sabe que los ciliados producen metabolitos secundarios que tienen efectos inhibitorios sobre la reproducción de los rotíferos, disminuyendo su población y obteniendo ventaja competitiva sobre el alimento (Tubatsi *et al.* 2014). Los aleloquímicos afectan de manera directa la ecología del zooplancton, su morfología, fisiología, el comportamiento, la dinámica poblacional y la historia de vida (Larsson y Dodson, 1993; Weber *et al.*, 1991). Se sabe que organismos como el zooplancton (principalmente protozoos, cladóceros, briozoos y gasterópodos) tienen cambios morfológicos como la formación de espinas, quillas, crestas, el aumento o disminución de tamaño y un cambio de proporciones corporales (Barbosa y Castellanos, 2005). Juegan un papel importante en el aumento o disminución del número de individuos en una población (Sarma *et al.*, 2020).

Las señales químicas en el agua informan sobre un entorno biótico y abiótico. La comunicación química tiene muchas ventajas sobre las estrategias de comunicación visual o acústica (Klaschka, 2008); actúa de manera directa por medio de quimiorreceptores y es independiente de la luz. En un medio acuático, la señal química va desapareciendo debido a la degradación del compuesto de naturaleza proteica; a diferencia de la manera en que viaja la luz o el sonido, la cualidad de un infoquímico puede iniciar una cadena de transducción de señales bioquímicas directamente sin la necesidad de transformar una señal física en una bioquímica. El estímulo químico puede reducir su actividad a medida que se aleja de su fuente de emisión o su efecto puede reducirse si los organismos son expuestos a concentraciones altas del infoquímico provocando una insensibilidad por adaptación (Klaschka, 2008; Weber, 1991).

## Capítulo 5

### Algunos datos experimentales sobre la dinámica poblacional de rotíferos expuestos a aleloquímicos

#### INTRODUCCIÓN

Como se indicó en los capítulos anteriores, gran parte de la información sobre el crecimiento de la población y la demografía de las tablas de vida se ha derivado de estudios sobre varias especies de zooplancton, que generalmente se alimentan de una o dos especies de algas (Nandini y Sarma, 2003). Estos estudios muestran que tanto los rotíferos, los cladóceros, como muchas otras especies, responden a cambios en la disponibilidad de alimentos. La mayoría de las especies de zooplancton cuando se alimentan con diferentes concentraciones de alga comestible, muestran una respuesta estimulante, donde la densidad de población aumenta con el aumento de las concentraciones de alimento (Sarma *et al.*, 1996). De manera similar, en la respuesta demográfica de la tabla de vida, la producción de neonatos aumenta al aumentar la disponibilidad de alimentos (Sarma *et al.*, 2017).

En la naturaleza, tanto los rotíferos como los cladóceros están sujetos a la competencia por los recursos, principalmente relacionado con el alimento. Es dudoso que el zooplancton sufra alguna vez de limitación de espacio en la naturaleza, porque la mayoría de las especies de rotíferos y cladóceros, cuando alcanzan la capacidad de carga del sistema, sufren cambios demográficos dependientes de la densidad. Las especies de zooplancton cuando alcanzan altas densidades, debido a la acumulación de desechos, la falta de disponibilidad de alimentos suficientes, comienzan a pasar de la reproducción asexual a la reproducción sexual (Pourriot y Snell, 1983). En la reproducción sexual se producen machos que resultan en la producción de estadios de reposo como la ephippios o huevos de resistencia. Como resultado, las poblaciones de zooplancton colapsan (Smirnov, 2017).

Sin embargo, en condiciones de laboratorio, las especies de zooplancton suelen mostrar las fases comúnmente documentadas: una fase inicial, una fase exponencial y una fase de retardo o declive. La fase inicial, también conocida como fase de retraso, ocurre cuando la especie de prueba requiere algún tiempo para adaptarse a las condiciones de prueba o para las especies que requieren un tiempo de maduración más prolongado, no habrá cambios en el

número de poblaciones durante la etapa inicial. Una vez que la población de una especie comienza a reproducirse partenogenéticamente, la fase de crecimiento es exponencial. La fase exponencial para la mayoría de las especies de zooplancton dura solo unos pocos días, a menudo abarca menos de una semana (Krebs, 1985). Debido a la rápida acumulación de población, los individuos débiles de la población comienzan a morir rápidamente, lo que resulta en la fase de declive (Lampert y Sommer, 2007).

Hay indicios suficientes de que, en condiciones de laboratorio, la producción de machos y, por lo tanto, la producción de huevos en reposo puede minimizarse mediante cambios frecuentes del medio de prueba (Pourriot y Snell, 1983). Al reemplazar el medio viejo con el medio fresco, se eliminan los desechos metabólicos acumulados y, por lo tanto, las poblaciones continúan creciendo hasta que se establece la limitación de alimentos. Los rotíferos pueden alcanzar densidades extremadamente altas con el modo de reproducción partenogenético. Bajo regímenes de alimentación continua, la especie de rotífero *Brachionus plicatilis* puede cultivarse a densidades superiores a 10000 ind. /ml (Yoshimatsu y Hossain, 2014).

## JUSTIFICACIÓN

En los cuerpos de agua dulce existe una estrecha convivencia entre los organismos macro y microscópicos, formando diversas estructuras tróficas. Estas estructuras se pueden ver afectadas por diversos factores, tanto abióticos como bióticos, como lo son la segregación de infoquímicos que afectan la estructura poblacional. Si bien los monocultivos de una determinada especie de zooplancton no son ideales para probar el papel de los aleloquímicos, excepto para la evaluación de feromonas. Con un cambio constante de medio de prueba, el efecto de las feromonas se elimina en gran medida. El efecto de otros infoquímicos sobre el crecimiento de la población de una determinada especie de rotífero ha ganado interés en la ecología química. Los rotíferos sufren competencia en la naturaleza de los cladóceros por alimento. También sufren de cladóceros de los aleloquímicos. Este aspecto no se ha investigado a fondo. Es por esto que con este trabajo se busca demostrar si existe algún efecto en el crecimiento poblacional de dos especies de zooplancton (Cladócero: *Ceriodaphnia dubia*) (Rotífero: *Plationus patulus*) en un medio condicionado.

## HIPÓTESIS

Existe un efecto alelopático entre miembros de la comunidad zooplanctónica, los cladoceros y rotíferos que son los más representativos en un cuerpo de agua dulce y su relación es estrecha, tienen interacciones por interferencia mecánica y química. El uso del medio condicionado donde se liberan los metabolitos causantes de la interferencia química tendrá una repercusión en la demografía de los organismos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de los aleloquímicos de diferentes especies de zooplancton sobre el crecimiento poblacional de este.

### **Objetivos particulares**

- Identificar el efecto demográfico de los infoquímicos sobre las poblaciones de zooplancton.
- Evaluar el efecto del medio condicionado de *Ceriodaphnia dubia* sobre el crecimiento poblacional y la tasa de crecimiento poblacional de *Plationus patulus*.
- Evaluar el efecto del medio condicionado de *Plationus patulus* sobre el crecimiento y la tasa de crecimiento poblacional de *Ceriodaphnia dubia*.
- Comparar el efecto de los aleloquímicos segregados de especies que coexisten en un mismo cuerpo de agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cultivo de alga.

Para la alimentación de los individuos a lo largo de los experimentos se utilizó la microalga *Chlorella vulgaris* Beijerinck, 1890 Es un alga verde microscópica de estructura esférica con un diámetro de 2-10  $\mu\text{m}$ ; presenta una tasa de crecimiento rápida: tiene respuesta a condiciones de crecimiento modificados, como la limitación de nitrógeno, fosforo, condiciones altas de  $\text{CO}_2$  o exposición excesiva de luz y se encuentra en cuerpos de agua dulce, lagos, humedales o charcas (Chew *et al.* 2018). Los pigmentos presentes en el alga son la clorofila que llega a tener una proporción del 1-2% de peso en seco, además contiene carotenoides asociados a la clorofila presente en los tilacoides (Safi *et al.* 2014).

En un recipiente con un volumen de 2L se cultivó la microalga en un medio Bold Basal (Anexo 1) a una concentración de  $1 \times 10^6$  cél/ml. El cultivo se mantuvo con luz y aireación continua, además cada tercer día se agregó 0.5 gr de Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ). Después de 7 días el alga sedimentada se decantó y se resuspendió con agua destilada; posteriormente se determinó la densidad del alga a usar por medio del conteo en la cámara de Neubauer haciendo una dilución del cultivo en 1:100 con agua destilada y contando a un volumen de 10  $\mu\text{l}$  de la muestra con la ayuda de un microscopio óptico a los objetivos 20x y 40 x (Vonshak, 1990).

### Cultivo de organismos a utilizar.

Se utilizaron dos especies de zooplankton de distintos cuerpos de agua: *Plationus patulus* Müller, 1786 (aislada del lago de Xochimilco) y *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 (aislada del lago de Zumpango), al igual se aisló cladoceros de la especie *Ceriodaphnia dubia* del lago de Xochimilco, estos previamente se mantuvieron en condiciones artificiales en un medio EPA moderadamente dura (Weber, 1991) alimentadas con *C. vulgaris* durante seis meses. El medio EPA normal se preparó a partir de un garrafón con 20 L de agua destilada, en un vaso de precipitado de 1 L se añadieron por separado las siguientes sales:

1.  $\text{MgSO}_4$  1.20 gr
2.  $\text{NaHCO}_3$  1.92 gr
3.  $\text{CaSO}_4$  1.20 gr
4.  $\text{KCl}$  0.040 gr



La solución se homogeneizó con la ayuda de un agitador magnético, posteriormente se agregó la solución a un contenedor de 20 L junto con el resto del agua del garrafón (Díaz y Granados, 2008).

### **Medio-condicionado**

Para la obtención del medio condicionado de *P. patulus* se utilizó un recipiente de 500 ml donde se colocaron 500 individuos tomados al azar en medio EPA normal alimentados con *C. vulgaris* a una concentración de  $0.1 \times 10^6$  cel./ml, estos se mantuvieron a temperatura ambiente ( $13^\circ \text{C} - 25^\circ \text{C}$ ) durante 24 hrs. Pasadas las 24 hrs se recuperó el medio condicionado retirando los individuos con una red de  $240 \mu\text{m}$  de apertura y colocándolos en un medio nuevo; el medio-condicionado se centrifugó a 3000 rpm por cinco minutos y se recuperó el sobrenadante para su posterior uso.

Para la obtención del medio condicionado de *C. dubia* en un recipiente de 500 ml se colocaron 100 individuos tomados al azar en medio EPA normal alimentados con *C. vulgaris* a una concentración de  $0.1 \times 10^6$  cel./ml, estos se mantuvieron a temperatura ambiente durante 24 hrs. Pasadas las 24 hrs se recuperó el medio condicionado retirando los individuos con una red de  $80 \mu\text{m}$  de apertura y colocándolos en un medio nuevo; el medio-condicionado se centrifugó a 3000 rpm por cinco minutos y se recuperó el sobrenadante para su posterior uso.

### **Crecimiento poblacional de *C. dubia* sometidos a medio-condicionado.**

El diseño experimental constó de dos tratamientos (EPA normal para el testigo) (medio condicionado de *P. patulus* para el tratamiento) y para llevarlo a cabo se utilizaron ocho recipientes (2 tratamientos con 4 repeticiones cada uno) con una capacidad de 50 ml, en cada recipiente se colocó una densidad de cladóceros de 0.2 ind/ml alimentados con *C. vulgaris* a una concentración de  $0.1 \times 10^6$  cél/ml; se mantuvieron en una incubadora a una temperatura controlada de  $22^\circ$ . Para el crecimiento poblacional se realizó un conteo diario y total de individuos y el experimento finalizó cuando la densidad poblacional llegó a su máximo de individuos y decayó.

### **Crecimiento poblacional de *P. patulus* sometidos a medio-condicionado.**

El diseño experimental consta de dos tratamientos (EPA normal para el testigo) (medio condicionado de *C. dubia* para el tratamiento) y para llevarlo a cabo se utilizó ocho

recipientes (2 tratamientos con 4 repeticiones cada uno) con una capacidad de 50 ml, en cada recipiente se colocó la densidad de rotíferos de 1 ind/ml alimentados con *C. vulgaris* a una concentración de  $0.1 \times 10^6$  cel. /ml. Para el crecimiento poblacional se realizó un conteo diario y total de individuos, rebasando los 200 individuos se realizó el conteo por medio de tres alícuotas de 3 ml cada uno. El experimento finalizó cuando la densidad poblacional llegó a su máximo de individuos y decayó

### **Análisis de datos**

Con base en los datos de densidad de población obtenidos para cada especie de zooplankton, se obtuvo la densidad de población máxima, la tasa de aumento de la población y el día en el que la densidad de población fuera la máxima. Estos datos fueron tratados estadísticamente para cuantificar el efecto del medio condicionado utilizando el software especializado Sigma Plot (11.0)

### **Aislamiento del aleloquímico producido por *C. dubia*.**

Para saber el peso molecular y la naturaleza del aleloquímico segregado por parte del cladóceros *Ceriodaphnia dubia* se realizó una electroforesis en gel de poliacrilamida (SDS-PAGE). Previamente se obtuvo el infoquímico a partir de un medio condicionado a dos distintas densidades de individuos: 5 ind/ml y 10 ind/ml en 10 mililitros de medio EPA. Estos se mantuvieron a temperatura ambiente ( $13^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ ) durante 24 hrs. Pasadas las 24 hrs se recuperó el medio condicionado retirando los individuos con una red de  $80\ \mu\text{m}$  de apertura y colocándolos en un medio nuevo; el medio-condicionado se centrifugó a 3000 rpm por cinco minutos y se recuperó el sobrenadante para su posterior uso.

Para la separación por peso molecular se preparó un hidrogel conductor con un 10% de poliacrilamida. Igualmente se preparó un buffer muestra al 6x el cual se utilizó como referencia para el cálculo del peso molecular del infoquímico. La proteína se colocó en el gel de poliacrilamida y se aplicó corriente eléctrica durante 2 hrs; tras la electroforesis, el gel fue teñido con azul de Coomassies a temperatura ambiente. Posteriormente, para retirar el exceso de tinción, el gel se colocó en una solución de ácido acético al 10% y metanol al 10%, el gel se dejó reposando toda la noche y por último se limpió el exceso de la solución con agua destilada.

## RESULTADOS

### Crecimiento poblacional de *P. patulus* (Zumpango) sometido a medio-condicionado de *C. dubia* (Xochimilco)

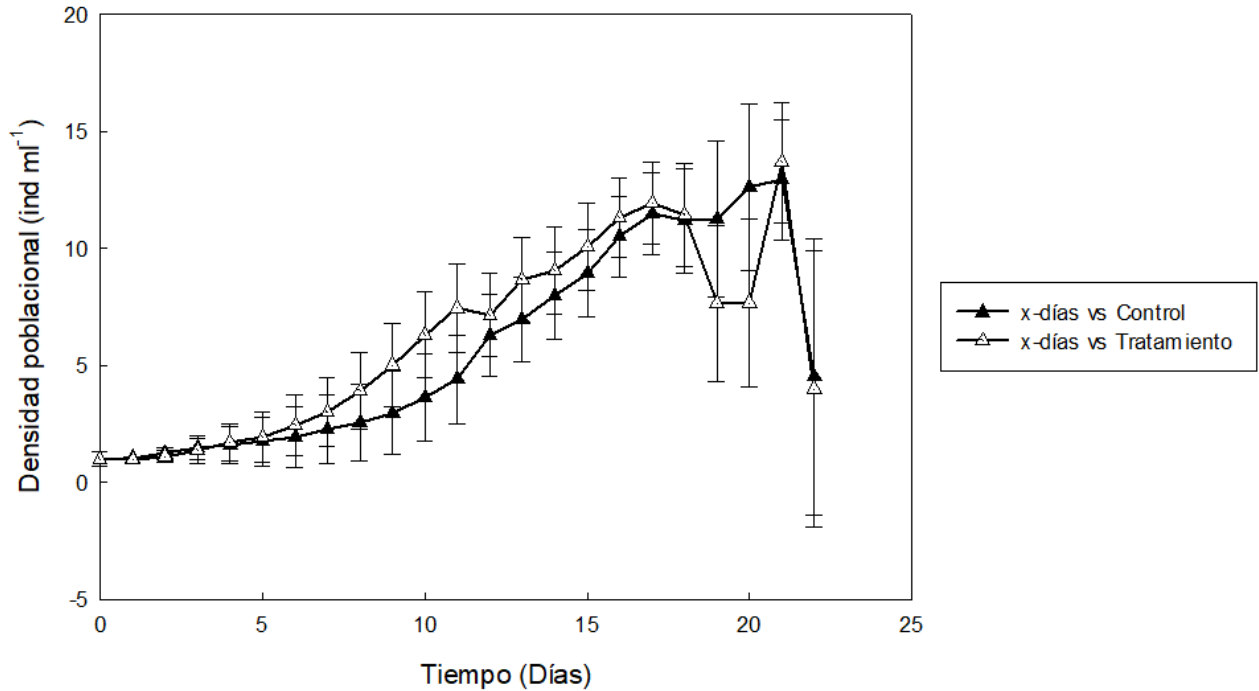


Figura 4. Curvas de crecimiento poblacional de *P. patulus*

Las curvas de crecimiento poblacional del rotífero *P. patulus* sometido al medio condicionado de *C. dubia* (Figura 4) muestran tendencias de crecimiento similares al grupo control. Ambos tratamientos tuvieron una caída drástica pasando el día 20, además el tratamiento tuvo una caída y un alza en el número de individuos por mililitro repentina. En comparación con el grupo control, se mantuvo con una tendencia de aumento de individuos constante hasta la repentina caída de la población en el día 21.

Tabla 3. Abundancia máxima (**AbM**) y día en el que alcanzo esa abundancia en el crecimiento poblacional (**DíaM**) de *P. patulus* (Xoch) sometido a aleloquímicos de *C. dubia* (Zump)

<b>Parámetro</b>	<b>Control</b>	<b>Tratamiento</b>
<b>AbM (ind./ml)</b>	13.3 ± 2.3	15.5 ± 3.8
<b>DíaM</b>	20.2	19 ± 1.8

Comparando los promedios de las abundancias máximas y los días en los que alcanzaron esa abundancia en los dos tratamientos (Tabla 3) no se observa diferencia entre los tratamientos, el experimento hecho con el infoquímico segregado tuvo un mayor número de individuos por mililitro que el grupo control.

Tabla 4. Análisis de varianza un factor del crecimiento poblacional de *P. patulus* (Xochimilco) sometido al medio condicionado de *C. dubia* (Zumpango)

OV= Origen de las variaciones; SC= Suma de cuadrados; GL= Grados de libertad; PC= Promedio de los cuadrados; P= Probabilidad; F= F de relación; VF= Valor crítico para F

<b>OV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>VF</b>
<b>Entre grupos</b>	0.782	1	0.782	0.044	0.833	4.061
<b>Dentro grupos</b>	772.434	44	17.555			
<b>Total</b>	773.217	45				

Para saber si existen diferencias significativas en el experimento del crecimiento poblacional del rotífero *Platyonus patulus* sometido al medio condicionado de *C. dubia* se estableció como Hipótesis nula (Ho) donde no hay diferencias significativas entre los tratamientos y como Hipótesis alternativa (Ha) en el que si existen diferencias significativas. De acuerdo a la tabla 4, se observa que el valor de *F* en el análisis de varianza es menor que el valor crítico para *F*. Eso significa que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, los aleloquímicos segregados por los cladóceros no muestran un efecto sobre la tasa de crecimiento poblacional en los rotíferos utilizados.

**Crecimiento poblacional de *P. patulus* (Xochimilco) sometido a medio-condicionado de *C. dubia* (Xochimilco)**

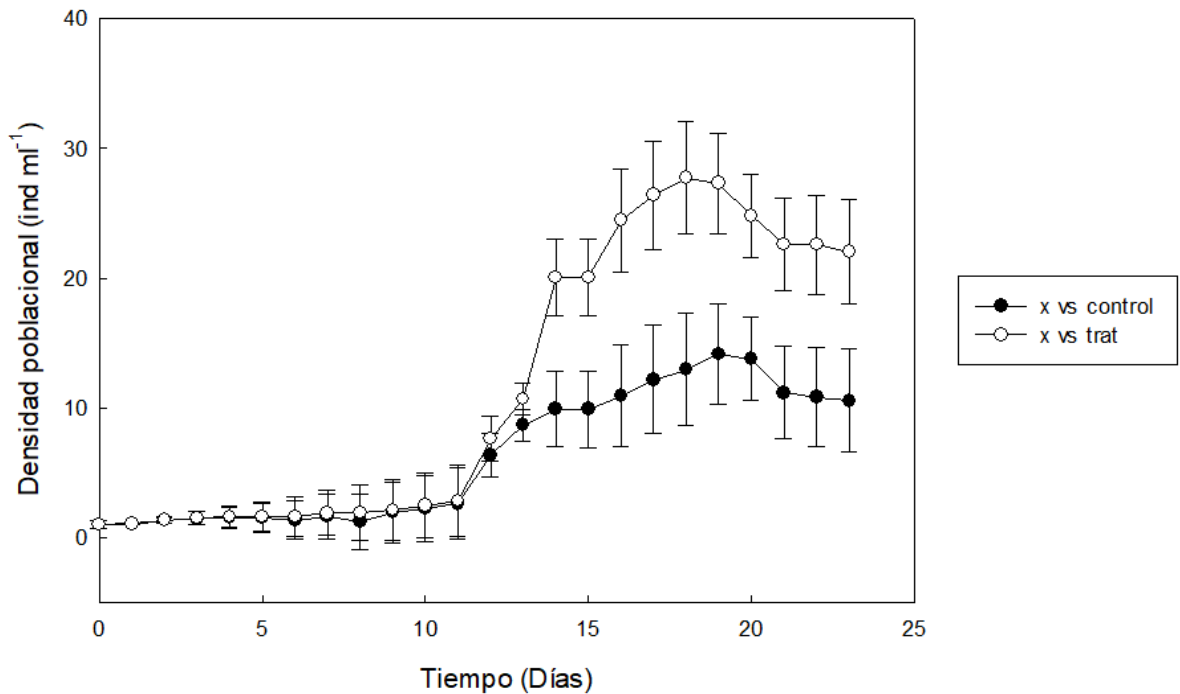


Figura 5. Curva de crecimiento poblacional de *P. patulus*

El crecimiento poblacional de *P. patulus* sometido al medio-condicionado de *C. dubia* es notablemente diferente al grupo control (Figura 5). En el experimento se presenta un ascenso en el número de individuos por mililitro muy drástica entre el día 10 y 12 del experimento. El experimento del tratamiento tuvo un crecimiento grande en los días posteriores del experimento hasta su caída. El experimento control, en el que se utilizó medio EPA normal no tuvo un máximo de 16 individuos por mililitro.

Los resultados del experimento uno (Se llevó a cabo con individuos de diferentes cuerpos de agua) (Figura 4) y el experimento dos (Se utilizaron individuos de un mismo cuerpo de agua: Xochimilco) (Figura 5) presentan diferencias con respecto al comportamiento de la curva de crecimiento poblacional. En la figura 1 se observa el crecimiento progresivo de 1 ind ml<sup>-1</sup> desde el día uno del experimento, mientras que la densidad de individuos por mililitro del experimento dos (Figura 5) tuvo un crecimiento exponencial a partir del día 11.

El efecto de los aleloquímicos de las especies que conviven en un mismo cuerpo de agua es notorio en el gráfico de crecimiento poblacional (Figura 5). El tratamiento tuvo una respuesta medianamente rápida y exponencial a los aleloquímicos, subiendo el número de individuos por mililitros a partir del día 11. Por otro lado, en el experimento uno, en donde se tomaron individuos de diferentes cuerpos de agua, *P. patulus* del lago de Zumpango y *C. dubia* del lago de Xochimilco, en la figura 4 ambos tratamientos tuvieron un comportamiento similar entre ellos, el ascenso de número de individuos por mililitro es parecido.

Tabla 5. Abundancia máxima (**AbM**) y día en el que alcanzo esa abundancia en el crecimiento poblacional (**DíaM**) de *P. patulus* (Xoch) sometido a aleloquímicos de *C. dubia* (Xoch).

<b>Parámetro</b>	<b>Control</b>	<b>Tratamiento</b>
<b>AbM (ind. /ml).</b>	14.6±0.7	28.4±1
<b>DíaM</b>	18	18±0

El promedio de individuos por mililitro en el tratamiento es diferente en comparación con el grupo control, el crecimiento poblacional de los rotíferos con el medio-condicionado tuvo mayor abundancia que el experimento control; por otro lado los días de abundancia máxima de los tratamientos son iguales.

Tabla 6. Análisis de varianza un factor del crecimiento poblacional de *P. patulus* (Xochimilco) sometido al medio condicionado de *C. dubia* (Xochimilco).

OV= Origen de las variaciones; SC= Suma de cuadrados; GL = Grados de libertad; PC = Promedio de los cuadrados; P= Probabilidad; F= F relación; VF= Valor crítico para F.

<b>OV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>VF</b>
<b>Entre grupos</b>	336	1	336.02	4.685	0.035	4.051
<b>Dentro de grupos</b>	3298	46	71.716			
<b>Total</b>	3634	47				

Para saber si existen diferencias significativas en el experimento del crecimiento poblacional del rotífero *Platinius patulus* sometido al medio condicionado de *C. dubia* de un mismo cuerpo de agua del cual se colectaron se estableció como Hipótesis nula ( $H_0$ ) donde no hay diferencias significativas entre los tratamientos y como Hipótesis alternativa ( $H_a$ ) en el que si existen diferencias significativas. De acuerdo a la tabla 6, se observa que el valor de  $F$  en el análisis de varianza es mayor que el valor crítico para  $F$ . Eso significa que existen diferencias entre los tratamientos, los aleloquímicos segregados por los cladóceros tienen un efecto sobre el crecimiento poblacional de los rotíferos que conviven en un mismo cuerpo de agua (Lago de Xochimilco).

**Crecimiento poblacional de *C. dubia* (Zumpango) sometido a medio-condicionado de *P. patulus* (Xochimilco).**

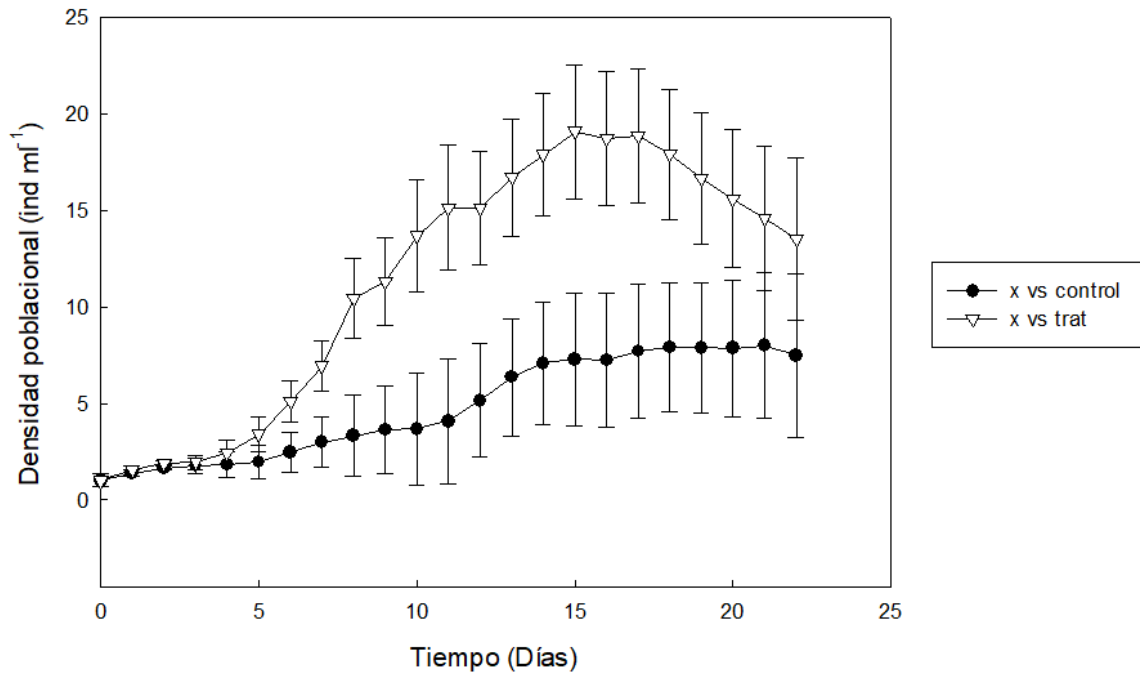


Figura. 6. Curva de crecimiento poblacional de *C. dubia*.

Las curvas de crecimiento poblacional de *C. dubia* sometido al medio condicionado de *P. patulus* de ambos tratamientos muestran tendencias muy diferentes, mostrando un elevado crecimiento por parte del tratamiento con los aleloquímicos, se observa una disminución progresiva de la población después del día 17. El grupo control muestra un crecimiento poco elevado en el que el número máximo de individuos por mililitro es de 7, el cual en comparación con el tratamiento, es muy diferente.

Los cladóceros sometidos a los aleloquímicos de los rotíferos tuvieron una reacción rápida en el crecimiento poblacional, como se observa en la figura 6, el experimento con el medio-condicionado tuvo un aumento de individuos por mililitro acelerado a comparación del grupo control.



Tabla 7. Abundancia máxima (**AbM**) y día en el que alcanzo esa abundancia en el crecimiento poblacional (**DíaM**) de *C. dubia* (Zump) sometido a aleloquímicos de *P. patulus* (Xoch).

<b>Parámetro</b>	<b>Control</b>	<b>Tratamiento</b>
<i>AbM (ind. /ml).</i>	8.4 ± 0.7	19.2 ± 2.1
<i>DíaM</i>	20.2 ± 1.7	15.5 ± 1.2

Tabla 8. Análisis de varianza un factor del crecimiento poblacional de *Ceriodaphnia dubia* (Zumpango) con el medio condicionado de *Plationus patulus* (Xochimilco).

OV= Origen de las variaciones; SC= Suma de cuadrados; GL = Grados de libertad; PC = Promedio de los cuadrados; P= Probabilidad; F= F relación; VF= Valor crítico para F.

<b>OV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>PC</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>VF</b>
<i>Entre grupos</i>	502.26	1	502.26	19.39	<0.001	4.061
<i>Dentro de grupos</i>	1139.65	44	25.90			
<i>Total</i>	1641.91	45				

Para saber el efecto de los aleloquímicos segregados por el rotífero *P. patulus* sobre el crecimiento poblacional del cladóceros *C. dubia* se aplicó un análisis estadístico de ANOVA de un factor. La hipótesis nula ( $H_0$ ) de este experimento indica que no existen diferencias entre el grupo control y el tratamiento y como hipótesis alternativa ( $H_a$ ) indica que existe un efecto positivo de los aleloquímicos sobre el crecimiento poblacional de los cladoceros.

Como se observa en la tabla 11, el valor de  $F$  es mayor que el valor crítico de  $F$ , demostrando que se acepta la hipótesis alternativa, indicando que existe un efecto positivo sobre el crecimiento poblacional de los cladóceros expuestos a los aleloquímicos del rotífero *P. patulus*.

## Gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) con el aleloquímico aislado

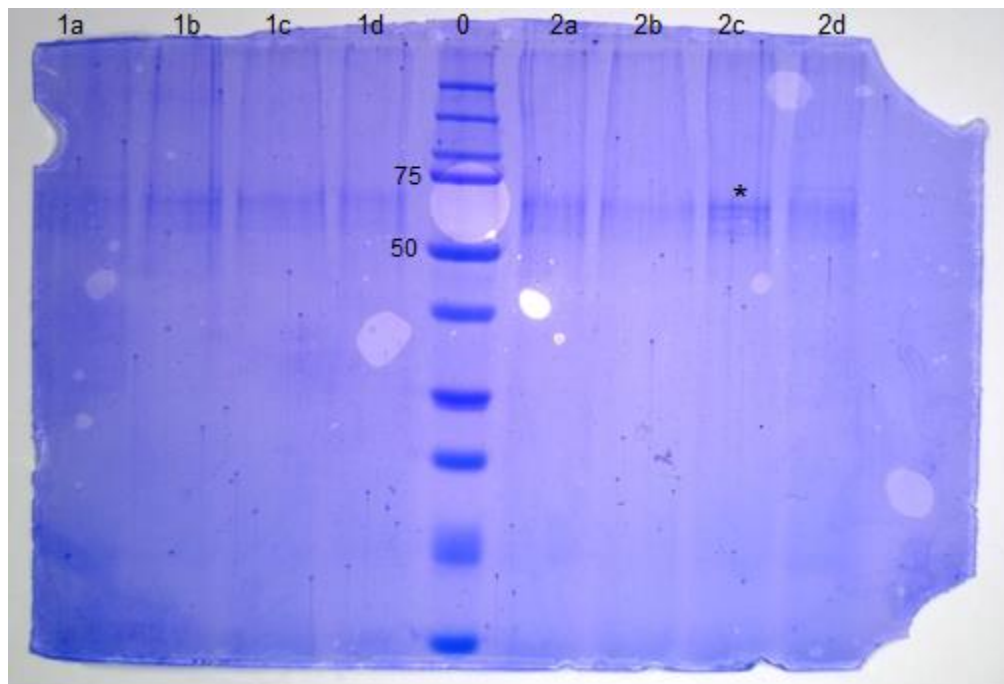


Figura 7. Gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) con el infoquímico aislado  
0=Estándar; 1= Densidad de 5 ind/ml; 2= Densidad de 10 ind/ml; a, b, c, d= réplicas del infoquímico

Utilizando como referencia el marcador perteneciente a la marca Precision Plus Protein-Dual Color Standards 500  $\mu$ l #1610374, se observa que la banda con mayor grosos (\*) tiene un peso molecular de 65 a 70 kDa.

## Discusión

En un medio condicionado, las sustancias segregadas por el zooplancton son proteínas de bajo peso molecular con propiedades alelopáticas. Snell en 2017 informa que en un medio condicionado de braquiúridos, las proteínas presentes tienen pesos moleculares que oscilan entre los 23 a 45 kDa. Pero no hay ningún estudio que demuestre la naturaleza de las proteínas segregadas por los cladóceros. Se observa que la banda con mayor grosos (\*) tiene un peso molecular de 65 a 70 kDa (Figura 7). La composición y naturaleza de la proteína segregada por el cladóceros no se sabe, se necesita de más estudios con herramientas moleculares mejoradas.

La dinámica poblacional de diferentes especies de zooplancton es utilizada como una herramienta para cuantificar el efecto de diferentes sustancias incluyendo los aleloquímicos. El crecimiento poblacional de la mayoría de las especies de zooplancton bajo condiciones controladas muestran tres fases estándar: la primera fase inicial, una fase exponencial y finalmente la fase de estabilización (Krebs, 1985). La fase inicial se caracteriza por un lento aumento en el número de individuos y difiere entre diferentes especies de zooplancton, por lo general abarca entre 3-7 días; además, durante esta fase las poblaciones muestran tasas reproductivas relativamente bajas, esto probablemente debido al gasto de energía para adaptarse a las nuevas condiciones de prueba (Nandini y Sarma, 2003). Una vez que la población se adapta a las condiciones, las especies de zooplancton, siendo oportunistas, mejoran la abundancia poblacional. Esta fase constituye la fase exponencial; sin embargo, a medida que la población aumenta y comienza a utilizar los recursos disponibles, en un determinado momento, estos no son suficientes para los requisitos energéticos de todos los individuos. Por lo tanto, uno o más de los siguientes puntos puede suceder dentro de la población:

1. Reducción de la reproducción, que se refleja en el número de hembras portadoras de huevos de zooplancton
2. Mayores tasas de mortalidad de individuos sensibles de la población, generalmente los mayores o los neonatos.

Dado estos factores, las curvas de crecimiento poblacional comienzan a disminuir o mantener una meseta con una corta duración hasta disminuir el número de organismos (Nandini y

Sarma, 2003). El presente trabajo en controles y tratamientos, las distintas etapas de crecimiento poblacional son evidentes. El crecimiento poblacional de *P. patulus* del lago de Zumpango expuesto a los aleloquímicos de *C. dubia* perteneciente al lago de Xochimilco muestran tendencias de crecimiento similares. Sarma y col. en 2011 observaron que tanto especies del género *Daphnia* como el rotífero *P. patulus* presentan una respuesta a los aleloquímicos por parte de otros organismos presentes en los cuerpos de agua. La convivencia de estos organismos en un cuerpo de agua es muy común, compiten por un recurso alimenticio en común al igual que presentan interferencia mecánica y química (Brönmark y Hansson, 2012). La respuesta de los organismos ante aleloquímicos difiere según a la naturaleza química, la cantidad y reactividad de los aleloquímicos del zooplancton u otros factores físicos como la solubilidad y estabilidad térmica del agua; de la misma manera, si son individuos de la misma especie o si son organismos que conviven en el medio acuático (Ferrando, 2015; Gama-Flores *et al.* 2019). Con esto podemos observar que no existe una interferencia química directa, sin embargo la competencia entre ambos individuos se podría dar por otras vías.

Cabe destacar que el crecimiento poblacional de *P. patulus* expuestos a los aleloquímicos de *C. dubia* los cuales fueron recolectados del mismo cuerpo de agua (Lago de Xochimilco) y tienen una convivencia directa en el medio tuvo una respuesta estimuladora positiva al haber un alta en el número de individuos por mililitro y una respuesta rápida y exponencial a los aleloquímicos. Es sabido por observaciones en campo y experimentales que los cladóceros suprimen el crecimiento poblacional de los rotíferos. Generalmente el tipo de mecanismo de inhibición es competencia explotadora, muchas especies del género *Daphnia* suprimen a los rotíferos del género *Keratella* inclusive si los recursos no son limitantes (Burns y Gilbert, 1986). Otro método de supresión poblacional es por interferencia mecánica; los cladóceros al ser más grandes que muchos rotíferos, por medio de un barrido debido a la cámara branquial de los cladóceros succionan a los organismos, hiriéndolos de muerte o matándolos inmediatamente (Diéguez y Gilbert, 2011). Sin embargo, el tipo de interferencia que observamos en este experimento es de tipo química; muchos aleloquímicos suprimen el crecimiento de los organismos competidores, se ha demostrado que la sensibilidad potencial de estos taxones hacia los aleloquímicos son variantes, la mayoría son de carácter inhibitorio (Gross *et al.* 2012). Por ejemplo, Guo y col en 2011 demostró que el medio condicionado de

*Daphnia similis* tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento poblacional de muchos brachionidos. Hubo un aumento en la tasa de crecimiento poblacional pero una disminución en el tiempo generacional. Conde-Porcuna en 1998 analizó la demografía en tabla de vida de *K. cochlearis* expuesto a al medio condicionado de *D. pulex*. Demostró que las variantes reproductivas fueron favorecidas mientras que las variables de supervivencia no se vieron afectadas. Apoyándonos en esta información y como observamos en el experimento, los efectos aleloquímicos llegan a ser de naturaleza tanto inhibitoria como estimulante.

Los cladóceros y rotíferos constituyen hasta el 60% de la biomasa acuática (Sarma *et al.* 2020); ambos grupos tiene alimentos y hábitos alimenticios similares y un modo de reproducción predominantemente partenogenético. Con respecto al ciclo reproductivo, ambos grupos del zooplancton se ajustan rápidamente a las condiciones ambientales. Para los individuos del phylum Rotifera, los efectos de la interferencia química están relacionados en gran parte con la reproducción sexual y la interacción depredador-presa (Nihongi *et al.* 2016). Los cladóceros que por lo general son de un mayor tamaño tienen la capacidad de suprimir las poblaciones de rotíferos cuando comparten un mismo recurso alimenticio. Se sabe que cladóceros planctónicos como *Daphnia pulex*, *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa* coexisten en un mismo cuerpo de agua junto con rotíferos como *Brachionus*, *Keratella* y *Plationus*, en un medio natural, cuando las densidades son bajas la interferencia mecánica es limitada. Sin embargo ante la ausencia de organismos, la interferencia química puede ocurrir, provocando un estrés sobre los mismos (Brönmark y Hansson, 2012). El papel de los metabolitos secundarios liberados de los rotíferos sobre el crecimiento poblacional de los cladoceros está menos documentado; como observamos en la figura 6, los aleloquímicos segregados tuvieron un efecto estimulatorio positivo al haber un alta en el número de individuos por mililitro y una respuesta rápida y exponencial a los aleloquímicos. *Plationus patulus* puede ser competitivamente superiores a cladoceros como *Moina macrocopa*, naturalmente este efecto se da principalmente por dos factores naturales, bajos niveles de alimento y alta densidad de inoculación; el nivel de umbral de alimentación de los rotíferos es menor a comparación de los cladóceros, a niveles bajos de alimento los requisitos de energía de los rotíferos es menor, por lo tanto los rotíferos superan a los cladóceros (Sarma *et al.* 1996). No se sabe a ciencia cierta si el medio condicionado de los rotíferos juega un papel crucial sobre la demografía de los cladóceros; en un cuerpo de agua las densidades de

los rotíferos son generalmente más altos que los cladóceros a pesar de ser competidores inferiores en comparación a los cladóceros y los copépodos, no obstante los aleloquímicos segregados en la prueba experimental tuvieron efectos sobre los cladóceros.

Dos parámetros a nivel población son ampliamente utilizados como indicadores de estrés: densidad poblacional máxima y el día de las abundancias máximas. Esas dos variables difieren entre los tratamientos. En los grupos control, el zooplancton puede alcanzar una densidad poblacional máxima mucho menor que las que están bajo estrés. La magnitud de las diferencias entre las densidades poblacionales pico de una especie expuesta son un gran indicador de estrés (Sarma *et al.*, 2014). En este trabajo, las abundancias máximas de población de *Plationus patulus* en controles o *Ceriodaphnia dubia* en controles fueron mucho más altas que las que estaban bajo tratamiento (expuestas a aleloquímicos). El mayor número de individuos en los tratamientos en comparación con los controles se debe a una producción reproductiva acelerada. Esta reproducción mejorada bajo condiciones de estrés bajos es una respuesta hormética. La hormesis es una respuesta natural del zooplancton para compensar un exceso de pérdida de individuos por estrés, cuando los aleloquímicos tienden a causar una reducción en la población prueba, los organismos anulan este efecto mediante una estimulación en la reproducción (Calabrese y Baldwin, 2003). Muchas especies de zooplancton incluyendo rotíferos y cladoceros son conocidos por mostrar esta hormesis cuando se somete al estrés de aleloquímicos, metales pesados como Zinc y pesticidas (Calabrese y Baldwin, 2003).

El día en que una especie determinada alcanza su mayor abundancia refleja la velocidad para reproducirse y utilizar de manera eficiente los recursos disponibles. El estrés inducido por aleloquímicos puede provocar que los individuos no puedan utilizar estos recursos de manera eficiente y por lo tanto la población alcanza un valor máximo de organismos bajo (Sarma *et al.*, 2018). Esto es visible con los grupos control para evaluar el impacto del estrés. En este trabajo, el día de abundancia máxima poblacional de *P. patulus* en controles y en tratamientos expuestos a los aleloquímicos de *Ceriodaphnia dubia* fue cercana a los 20. No existe variación significativa. La falta de diferencias en el día de densidad máxima poblacional entre los controles y tratamientos es debido principalmente a la respuesta hormética mostrada por los rotíferos al estrés del medio condicionado de los cladoceros. El día pico de abundancia

poblacional de *C. dubia* en los grupos control y tratamiento expuestos a los aleloquímicos de los rotíferos tampoco varió. Aquí se descarta el papel de la respuesta hormética.

El estudiar las interacciones alelopáticas entre las especies de zooplancton es de gran importancia y tiene gran relevancia al aplicar los conocimientos en condiciones de campo. Se sabe que tanto rotíferos como cladóceros se alimentan de fitoplancton y, por lo tanto, ambos grupos de zooplancton compiten por los mismos recursos cuando están en contacto físico directo. Sin embargo, tanto rotíferos como cladoceros compiten entre sí a través de metabolitos secundarios o aleloquímicos. Estos metabolitos secundarios son un medio de defensa indirecta, en su mayoría documentados en plantas. Sin embargo, también son documentados en ecosistemas acuáticos. En el presente estudio, ni *Platyonus patulus* ni *Ceriodaphnia dubia* fueron capaces de suprimir las abundancias de los demás. Sin embargo, el efecto alelopático fue evidente en ambos casos en las curvas de crecimiento del zooplancton. Esto sugiere que la alelopatía que es común entre el grupos del zooplancton. Demostrar estos efectos en estudios de campo directos llega a ser difíciles debido a los efectos confusos como depredación, además de que en un medio acuático, existen muchísimas otras sustancias segregadas que pueden alterar la interacción alelopática. Sin embargo, hay suficiente evidencia en la literatura de que los efectos alelopáticos son una fuerza fuerte entre las interacciones zooplancton (Gama Flores et al., 2019).

## Conclusiones

Este trabajo plantea que los efectos de los infoquímicos sobre la demografía del zooplancton son tanto positivos como negativos, pueden favorecer o reprimir el crecimiento poblacional y la tasa de reproducción de los organismos.

Los aleloquímicos segregados por el cladóceros *C. dubia* tuvieron un efecto positivo sobre el crecimiento poblacional del rotífero *P. patulus*, favoreciendo el aumento en el número de individuos por mililitro, acertando con lo consultado en la literatura sobre el efecto de los cladóceros sobre la demografía de los rotíferos. De igual forma se observa un efecto positivo sobre el crecimiento poblacional del cladóceros *C. dubia* sometido a los infoquímicos segregados por parte del rotífero *P. patulus*, esto sugiere que esta especie compite eficientemente sobre los cladóceros.

El efecto alelopático entre ambas especies es evidente, sin embargo, la interferencia química es notoria sobre organismos que conviven en un mismo cuerpo de agua, la respuesta ante estos aleloquímicos difiere según a la naturaleza química, cantidad y reactividad de los infoquímicos del zooplancton, igualmente interfieren otros factores bióticos como lo es la solubilidad y estabilidad térmica del agua, así como si los organismos conviven en un mismo cuerpo de agua. Con esto podemos observar que no existe una interferencia química directa, sin embargo la competencia entre ambos individuos se podría dar por otras vías.

El efecto de los infoquímicos sobre la demografía de las poblaciones de zooplancton ha ganado interés en la ecología química. La importancia de este estudio radica en que ayuda a comprender de manera indirecta (gracias a monocultivos de zooplancton) las interacciones químicas entre las poblaciones, su respuesta ante infoquímicos y el efecto sobre parámetros demográficos como el crecimiento poblacional y tasa de reproducción. En perspectiva, este trabajo abre puerta a investigar más a detalle el efecto sobre algunos otros parámetros demográficos como lo son las tablas de vida y morfometría geométrica.



## Referencias citadas

- Albritton C. J. & White D. S. (2006). Rotifer hatching from the sediments of a fluctuating mainstem reservoir. *Southeastern Naturalist*, 3(2): 359-370.
- Alcocer J. L. A. & Bernal-Brooks F. W. (2010). Limnology in México. *Hydrobiologia*, 644(1), 1-54.
- Alva-Martínez A. (2004). Population growth of *Daphnia pulex* (Cladocera) on a mixed diet (*Microcystis aeruginosa* with *Chlorella* or *Scenedesmus*). *Crustaceana*, 77(8), 973-988.
- Barbosa P. & Castellanos I. (2005). Ecology of predator-prey interactions. Oxford University Press, London.
- Barrera J. A., Espinosa A. J. & Álvarez J. P. (2019). Contaminación en el Lago de Tota, Colombia: toxicidad aguda en *Daphnia magna* (Cladocera: Daphniidae) e *Hydra attenuata* (Hydroida: Hydridae). *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 11-23.
- Bredesen E. L., Bos D. G., Laird K. R. & Cumming B. F. (2002). A cladoceran-based paleolimnological assessment of the impact of forest harvesting on four lakes from the central interior of British Columbia, Canada. *Journal of Paleolimnology*, 28(4): 389-402
- Brönmark C., & Hansson L. A. (2012). Chemical communication in aquatic systems: an introduction. *Oikos*, 88(1), 103-109.
- Burns C. W. & Gilbert J. J. (1986). Direct observations of the mechanisms of interference between *Daphnia* and *Keratella cochlearis*. *Limnology and Oceanography*, 31(4), 859-866.
- Cabrera M. I. (2008). Tasa de crecimiento poblacional del rotífero *Brachionus rotundiformis* (Rotifera: Brachionidae) en un quimiostato de dos cámaras. *Revista de biología tropical*, 56(3), 1149-1157.
- Calabrese E. J. & Baldwin L. A. (2003). Inorganics and hormesis. *Critical Reviews in Toxicology*, 33: 215-304.
- Carmona Navarro, M. J. (1992). Introducción de la fase sexual y aspectos relacionado del rotífero *Brachionus plicatilis*. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Valencia.

- Castro-Mejía J., Ocampo-Cervantes J.A., Cruz-Cruz I., Castro-Mejía G., Monroy-Dosta M.C., Becerril-Cortés D. & Orozco-Rojas D. I. (2016). Mantenimiento de un cultivo de *Ceriodaphnia dubia* (Richard 1894) y *Daphnia pulicaria* (Forbes, 1893), alimentadas con *Sphaerocystis* sp. Y *Chlorolobion* sp. Para su uso en el laboratorio. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1 (12): 07-16.
- Chew K. W., Chia S. R., Show P. L., Yap Y. J., Ling T. C. & Chang J. S. (2018). Effects of water culture medium, cultivation systems and growth modes for microalgae cultivation: a review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 91, 332-344.
- Conde-Porcuna J. M. (1998). Chemical interference by *Daphnia* on *Keratella*: a life table experiment. *Journal of plankton research*, 20(8), 1637-1644.
- Conde-Porcuna J. M., Ramos-Rodríguez E. & Morales-Baquero R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Revista Ecosistemas*, 13(2): 23-29.
- Cornejo C. I. B. & Anteparra M. C. (2012). Estudio preliminar de la diversidad de cladóceros en el lago Chongón, Guayabas. (Bachelor's thesis. Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador).
- Cortez V. (2013). Ecología química y perspectivas de su aplicación en la conservación de la biodiversidad. *Cuadernos de biodiversidad*, 41: 16-21
- De Bie T., Declerck S., Martens K., De Meester L. & Brendonck L. (2007). A comparative analysis of cladoceran communities from different water body types: patterns in community composition and diversity. In *Pond Conservation in Europe* (pp. 19-27).
- de Paggi S. J. (2004). Diversidad de Rotíferos Monogonta del Litoral Fluvial Argentino. *INSUGEO Miscelánea*, 12: 185-194.
- Díaz B. M. C. & Granados P. Y. (2008). Ensayo de toxicidad agua con el cladóceros *Daphnia magna*. IDRC, IMTA, Canadá. 202 pp.
- Diéguez M. C. & Gilbert J. J. (2011). *Daphnia*-rotifer interactions in Patagonian communities. *Hydrobiologia*, 662(1), 189-195.

- Elías-Gutiérrez M. & Sarma S.S.S. (1999). Zooplankton de sistemas acuáticos epicontinentales mexicanos en la región central de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H112. México D. F.
- Elías-Gutiérrez M., Nieto G. & Espejo G. T. (2004). Pulgas de agua: pequeños monstruos dulceacuícolas. *Ciencia y desarrollo*. 16-21.
- Elías-Gutiérrez M., Suárez-Morales E., Gutiérrez-Aguirre M. A., Silva-Briano M., Granados-Ramírez J. G. & Grafías-Espejo T. (2008). Cladocera y copepoda de las aguas continentales de México. Guía Ilustrada. 1ra edición. Facultad de Estudios superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Coedición con ECOSUR, CONABIO y CONACYT.
- Elías-Gutiérrez M. (2014). Zooplankton de agua dulce: especies exóticas posibles vías de introducción. *Especies acuáticas invasoras en México. México DF: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, 309-315.
- Escribano R. & Castro L. (2004). Plancton y productividad. *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos, 1*, 287-312.
- Estrada-Posada A. L., & Giraldo-Moy M. A. (2018). The dynamics of the diet of *Asplanchna girodi* (De Guerne, 1888) inhabiting a tropical reservoir in Colombia. *ORINOQUIA*, 22(2), 189-203.
- Ferrando N. S. (2015). Zooplankton de ambientes acuáticos de la cuenca del río Salado (Buenos Aires): estudio de relaciones interespecíficas y principales factores de control mediante experiencias de laboratorio y microcosmos (Doctoral thesis. Universidad Nacional de La Plata).
- Fontaneto D. & De Smet W. (2015). 4. Rotífera. *Handbook of zoology, Gastrotricha and Gnathifera*, 217-300.
- Freitas E. C. & Rocha O. (2011). Acute toxicity tests with the tropical cladoceran *Pseudosida ramosa*: the importance of using native species as test organisms. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 60(2): 241-249.

- Gama Flores J.L., Sarma S.S.S., López-Rocha A.N. & Nandini S. (2019). Effects of cladoceran-conditioned medium on the demography of brachionid rotifers (Rotifera: Brachionidae). *Hydrobiologia*, 844 (1): 21-30.
- Gándara Molino M. A. (2013). Historia de vida de *Daphnia magna* y *Ceriodaphnia reticulata* (crustacea-cladocera) bajo condiciones de laboratorio para definir su potencial como alimento en piscicultura (Master's thesis. Universidad del Magdalena).
- García-Roger E. M., Carmona M. J. & Serra. M. (2006). Patterns in rotifer diapausing egg banks: density and viability. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 336(2):198-210.
- Guo R., Snell T. W. & Yang J. (2011). Ecological strategy of rotifer (*Brachionus calyciflorus*) exposed to predator-and competitor-conditioned media. *Hydrobiologia*, 658(1), 163-171.
- Gross E. M. C., Legrand K. R. & Tillmann U. (2012). Allelochemical interactions among aquatic primary producers. In Brönmark, C. & L.-A. Hansson (eds.), *Chemical Ecology in Aquatic Systems*. Oxford University Press, London: 196–209.
- Guerrero-Jiménez G., Zavala-Padilla G., Silva-Briano M. & Rico-Martínez R. (2013). Morphology and ultrastructure of the freshwater rotifer *Brachionus bidentatus* (Monogononta: Brachionidae) using scanning and transmission electron microscopy. *Revista de biología tropical*, 61(4), 1737-1745.
- Gutkowska A., Paturej E. & Kowalska E. (2013). Rotifer trophic state indices as ecosystem indicators in brackish coastal waters. *Oceanología*, 55(4): 887-899.
- Hernández-León S., Almeida C., Yebra L. & Arístegui J. (2002). Lunar cycle of zooplankton biomass in subtropical waters: biogeochemical implications. *Journal of Plankton Research*, 24: (9), 935-939.
- Herrera I. (2014). The use of AARS activity as a proxy for zooplankton and ichthyoplankton growth rates. (Doctoral thesis. Universidad de las Palmas de Gran Canaria).

- Iannacone J., Salazar N., Alvarino L. & Argota G. (2013). Rotíferos y otras especies zooplánctónicas litorales de la Laguna de Paca y Ñahuinpuquio, Junín, Perú. *Neotropical helminthology*, 7: (1), 133-142.
- Janssen C. R., Ferrando M. D. & Persoone G. (1994). Ecotoxicological studies with the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus*: IV. Rotifer behavior as a sensitive and rapid sublethal test criterion. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 28: (3), 244-255.
- Krebs C. J. (1985). Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance, 3rd edn. Harper and Row, New York.
- Klaschka U. (2008). The infochemical effect—a new chapter in ecotoxicology. *Environmental science and pollution research*, 15(6), 452-462.
- Lambert W. & Sommer U. (2007). Limnoecology: the ecology of lakes and streams. Oxford University Press, London.
- Larsson P. & Dodson S. (1993). Invited Review Chemical communication in planktonic animals. *Archiv für Hydrobiology*, 129-155.
- Margalef R. (1983). *Limnología* (Vol. 1009). Barcelona: Omega.
- Marrasé P. C. (1986). Experimentos multifactoriales con plancton marino en microcosmos. (Doctoral thesis. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona).
- Moss B.R. (2010). Ecology of Freshwaters: Earth's Bloodstream. John Wiley & Sons, London.
- Muñoz Peñuela M., Otero Paternina A. M., Medina Roble V. M. & Cruz Casallas P. E. (2013). Reproductive behavior of *Alona* sp. y *Diaphanosoma* sp. (Crustacea: cladocera) under different photoperiods. *Revista Lasallista de Investigación*, 10(2), 17-24.
- Muñoz H. (2009). Somatización: consideraciones diagnósticas. *Revista Med*, 17(1), 55-64.
- Nandini S. & Sarma S.S.S. (2002). Competition between the Rotifers *Brachionus patulus* and *Euchlanis dilatata*: Effect of algal food level and relative initial densities of competing species. *Russ. J. Ecol.* 33:291-295.

- Nandini S. & Sarma S. S. S. (2003). Population growth of some genera of cladocerans (Cladocera) in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels. *Hydrobiologia*, 491(1), 211-219.
- Nandini S. Ramírez-García P. & Sarma S.S.S. (2005). Seasonal variations in the species diversity of planktonic rotifers in Lake Xochimilco, Mexico. *Journal of Freshwater Ecology* 20(2): 287-294 (Oikos Publications, USA).
- Nandini S. & Sarma S. S. S. (2019). Reproductive strategies of *Moina* (Cladocera) in relation to their habitat. *Limnética*, 38(1), 137-145.
- Nihongi A., Ziarek J. J., Uttieri M., Sandulli R., Zambianchi E. & Strickler J. R. (2016). Behavioural interseasonal adaptations in *Daphnia pulex* (Crustacea: Cladocera) as induced by predation infochemicals. *Aquatic Ecology*, 50(4), 667-684.
- Núñez M. & Hurtado J. (2005). Bioensayos de toxicidad aguda utilizando *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado. *Revista Peruana de Biología* 12(1): 165-170.
- Ortells R., Gómez A. & Serra M. (2003). Coexistence of cryptic rotifer species: ecological and genetic characterization of *Brachionus plicatilis*. *Freshwater Biology*, 48(12), 2194-2202.
- Osorio G. M. (1998). Efecto de la temperatura y la salinidad en parámetros poblacionales de *Pseudodiaptomus uryhalinus* Johnson (Crustáceo: copépoda calanoidea) en condiciones controladas (Doctoral thesis. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Oviedo-Montiel H. D., Herrera-Cruz E. E., Hoya-Florez J. K., Prieto-Guevara M. J., Estrada-Posada A. L. & Yepes-Blandón J. A. (2019). Crecimiento poblacional de *Macrothrix spinosa* alimentada con *Chlorella* sp. *Orinoquia*. Colombia, 23 (2): 79-86
- Pardo M. J. & de Roa E. Z. (2014). Rotíferos Monogononta planctónicos en lagunas de la reserva de fauna “Esteros de Camaguán Estado Guárico, Venezuela. *Acta biológica Venezuelica*, 34, 1.

- Pennak R. W. (1989). Fresh-water invertebrates of the United States: Protozoa to Mollusca. John Wiley, New York.
- Pourriot R. & Snell T. W. (1983). Resting eggs in rotifers. *Hydrobiologia* 104: 213-224.
- Prieto M. (2001). Aspectos reproductivos del cladóceros *Moinodaphnia* sp. En condiciones de laboratorio. *Revista MVZ Córdoba*.
- Prieto G. M. & Atencio G. V. (2008). Zooplankton in larviculture of Neotropical fishes. *Revista MVZ Córdoba*, 13 (2): 1415-1425.
- Ramírez F. C. (1981). "Cladocera". Atlas de zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con zooplancton marino. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). 533-542.
- Ramos-Rodríguez E., & Conde-Porcuna J. M. (2003). Variación espacio-temporal de la fecundidad de *Keratella cochlearis* (Rotifera) en un embalse meso-eutrófico: Importancia relativa del alimento y de la depredación por copépodos. *Limnética*, 22(3-4), 9-18.
- Rodríguez-Estrada J., Villaseñor-Córdova, R. & Martínez-Jerónimo F. (2003). Efecto de la temperatura y tipo de alimento en el cultivo de *Moina micrura* (Kurz, 1874) (Anomopoda: Moinidae) en condiciones de laboratorio. *Hidrobiológica*, 13(3), 239-245.
- Román-Reyes J. C., Castañeda-Rodríguez D. O., Castillo-Ureta H., Bojórquez-Domínguez R., & Rodríguez-Montes de Oca G. A. (2014). Dinámica poblacional del rotífero *Brachionus ibericus* aislado de estanques para camarón, alimentado con diferentes dietas. *Latin American journal of aquatic research*, 42(5), 1159-1168.
- Roselli L., Fabbrocini A., Manzo C. & D'Adamo R. (2009). Hydrological heterogeneity, nutrient dynamics and water quality of a non-tidal lentic ecosystem (Lesina Lagoon, Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84(4), 539-552.
- Runge J. A. & Roff J. C. (2000). The measurement of growth and reproductive rates. In *ICES zooplankton methodology manual* (pp. 401-454). Academic Press.
- Ruther J., Meiners T. & Steidle J. L. (2002). Rich in phenomena-lacking in terms. A classification of kairomones. *Chemoecology*, 12(4), 161-167.

- Safi C., Zebib B., Merah O., Pontalier P. Y. & Vaca-Garcia C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 265-278.
- Sarma S.S.S., Iyer N. & Dumont H. J. (1996). Competitive interactions between herbivorous rotifers: importance of food concentration and initial population density. *Hydrobiologia*, 331(1), 1-7.
- Sarma S. S. S., Resendiz R. A. L. & Nandini S. (2011). Morphometric and demographic responses of brachionid prey (*Brachionus calyciflorus* Pallas and *Plationus macracanthus* (Daday)) in the presence of different densities of the predator *Asplanchna brightwellii* (Rotifera: Asplanchnidae). *Hydrobiologia*, 662(1), 179-187.
- Sarma S. S. S., González-Pérez B. K., Moreno-Gutiérrez R.M. & Nandini S. (2014). Effect of paracetamol and diclofenac on population growth of *Plationus patulus* and *Moina macrocopa*. *Journal of Environmental Biology* 35: 119-126
- Sarma S. S. S., Jiménez-Santos M. A., Nandini S. & Wallace R.L. (2017). Demography of the sessile rotifers, *Limnia ceratophylli* and *Limnias melicerta* (Rotifera: Gnesiotrocha), in relation to food (*Chlorella vulgaris* Beijerinck, 1890) density. *Hydrobiologia* 796: 181-189
- Sarma S.S.S., Guevara-Franco J.A., Almaraz-Ornelas B. & Nandini S. (2018). Interspecific effects of allelochemicals of 4-species of Brachionidae (Rotifera: Monogononta) on the population growth. *Allelopathy Journal* 45(2): 277-290.
- Sarma S.S.S. & Nandini S. (2018). Allelopathic interactions in freshwater ecosystems with special reference to zooplankton. *Advances in Fish and Wildlife Ecology and Biology* 7: 195-221.
- Sarma S.S.S., López-Rocha A. N. & Nandini S. (2020). Changes in life histories of cladocerans (Cladocera) from the rotifer-mediated allelochemicals. *Chemistry and Ecology*, 36(7), 637-650.
- Segers H. (2008). Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. In *Freshwater Animal Diversity Assessment* (pp. 49-59). Springer, Dordrecht.



- Sharma B. K. & Sharma S. (1997). Lecanid rotifers (Rotifera: Monogononta: Lecanidae) from North-Eastern India. *Hydrobiologia*, 356(1-3), 157-163.
- Smirnov N. N. (2017). Physiology of the Cladocera. 2<sup>nd</sup> edition, Elsevier, Amsterdam. 418 pp.
- Smith R. L. & Smith T. M. (2007). *Ecología 6ta edición*. Madrid, España: Pearson Educación. 575 pp.
- Snell T. W. (1998). Chemical ecology of rotifers. *Hydrobiologia*, 387, 267-276.
- Snell T. W. (2017). Analysis of proteins in conditioned medium that trigger monogonont rotifer mictic reproduction. *Hydrobiologia*, 796(1), 245-253.
- Stevenson R. A. A., Sarma S.S.S. & Nandini S. (1998). Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera: Brachionidae) in waste water from food-processing industry in Mexico. *Revista de biología tropical*, 595-600.
- Timmermeyer, N., & Stelzer, C. P. (2006). Chemical induction of mixis in the rotifer *Synchaeta tremula*. *Journal of Plankton Research*, 28(12), 1233-1239.
- Tubatsi G., Bonyongo M. C. & Gondwe M. (2014). Water quality dynamics in the Boro-Thamalakane-Boteti river system, northern Botswana. *African Journal of Aquatic Science*, 39(4), 351-360.
- Vázquez-Sánchez A., Reyes-Vanegas G., Nandini S. & Sarma S.S.S. (2014). Diversity and abundance of rotifers during an annual cycle in the reservoir Valerio Trujano (Tepecoacuilco, Guerrero, Mexico). *Inland Waters*, 4(3), 293-302.
- Van Donk E. (2007). Chemical information transfer in freshwater plankton. *Ecological informatics*. 2: 112-120.
- Vet L. E. (1999). From chemical to population ecology: infochemical use in an evolutionary context. *Journal of Chemical Ecology*, 25(1), 31-49.
- Villalobos M. J. & González E. J. (2006). Estudios sobre la biología y ecología de *Ceriodaphnia cornuta* Sars: una revisión. *Interciencia*, 31(5), 351-357.

- Villar Argañiz M. (1999). *Redes tróficas pelágicas: una perspectiva estequiométrica*. Universidad de Granada.
- Wallace R.L. & Snell W. T. (2001). “Rotifera”, en Thorp, H. y P. Covich. *Ecology a classification of North American freshwater invertebrates*. Colorado State University, Department of Fishery and Wildlife. Biology, Fort Collins, E.U.A.
- Weber C. I. (1991). *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms* (p. 197). Washington, DC: Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.
- Wetzel R. R. G. (1981). *Limnología*. Barcelona. Omega.
- Yoshimatsu T. & M. Amzad Hossain (2014). Recent advances in the high-density rotifer culture in Japan. *Aquacult Int.* 22(5): 1587-1603

## Anexo 1

### Medio Bold Basal para cultivo del alga

La preparación del Medio Bold Basal se realizó utilizando los siguientes nutrientes:

1. NaNO <sub>3</sub>	250 gr L <sup>-1</sup>
2. MgSO <sub>4</sub>	75 gr L <sup>-1</sup>
3. K <sub>4</sub> HPO <sub>4</sub>	75 gr L <sup>-1</sup>
4. KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	75 gr L <sup>-1</sup>
5. NaCl	75 gr L <sup>-1</sup>
6. EDETA	50 gr + 31 gr de KOH L <sup>-1</sup>
7. FeSO <sub>4</sub>	4.98 gr L <sup>-1</sup> +(1 ml 31 gr de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> L <sup>-1</sup> )
8. H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.42 gr L <sup>-1</sup>
9. CaCl <sub>2</sub>	25 gr L <sup>-1</sup>
10. Elementos traza	
a. ZnSO <sub>4</sub>	8.82 gr L <sup>-1</sup>
b. MnCl <sub>2</sub>	1.44 gr L <sup>-1</sup>
c. MoO <sub>3</sub>	0.71 gr L <sup>-1</sup>
d. CuSO <sub>4</sub>	1.75 gr L <sup>-1</sup>
e. Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	0.49 gr L <sup>-1</sup>

Para comenzar el cultivo de la microalga se realizó una solución de los reactivos antes mencionados, tomando 30 ml de cada uno de los nutrientes, posteriormente se tomaron 30 ml de la solución preparada total. Se agregó 1.8 L de agua destilada y después se le adicionó de 5 a 10 ml del cultivo puro del alga.

## Glosario

### A

**Amíctico:** Hembras de rotíferos que únicamente producen huevos diploides que no pueden ser fecundados.

**Anfípodos:** Orden de pequeños crustáceos malacostráceos que en su mayoría son marinos, aunque un pequeño número de especies son limiticos o terrestres.

**Apomixis:** Reproducción biológica sin fertilización, meiosis o producción de gametos que dan pie a productos genéticamente idénticas al progenitor.

### B

**Biomasa:** Peso de materia viva, habitualmente expresado como peso seco por unidad de superficie

### C

**Cianobacterias:** Organismos microscópicos procariotas con células simples que realizan fotosíntesis y contribuyen a la generación de oxígeno.

**Cohorte:** Grupo de individuos nacidos en un mismo período de tiempo.

**Comensalismo:** Relación entre especies que es beneficiosa para una, pero neutra o que no aporta ningún beneficio a la otra.

**Competencia:** Cualquier interacción que produce un perjuicio mutuo a ambos participantes y que se da entre especies que comparten recursos limitados.

### D

**Demografía:** Estudio estadístico del tamaño y estructura de las poblaciones y de los cambios que ocurren dentro de ellas.

**Depredación:** Relación en la cual un organismo vivo sirve como fuente de alimento para otro.

**Detritus:** Materia procedente de los organismos, de fresca a parcialmente descompuesta.

**Diapausa:** Periodo de letargo o dormancia que consiste en la interrupción espontánea del desarrollo de ciertos animales, marcada por la disminución de la actividad metabólica.

**Diploide:** Que posee cromosomas en pares homólogos, o dos veces el número haploide de cromosomas.

## E

**Estratificación:** División de una comunidad acuática o terrestre en capas o estratos diferenciados según la temperatura, humedad, luz, estructura vegetativa y otros factores similares, creándose zonas para los diferentes tipos de plantas y animales.

**Eutrófico:** Término aplicado a un cuerpo de agua con un alto contenido de nutrientes y alta productividad.

## F

**Fitoplancton:** Microorganismos acuáticos platónicos que son autótrofos.

## H

**Helminetos:** Organismos multicelulares que por lo general se observan a simple vista cuando son adultos. Pueden ser de vida libre o de naturaleza parasitaria.

**Hipolimnion:** Estrato profundo de un lago, con aguas frías y pobres de oxígeno, situado por debajo de la termoclina.

## L

**Lótico:** Perteneciente a las aguas corrientes

## M

**Macroplankton:** Denominación que se aplica a los componentes del plancton de grandes dimensiones, tanto los de naturaleza vegetal como de naturaleza animal.

**Metalimnion:** Zona de transición de un lago entre el hipolimnion y el epilimnion, región de rápida disminución de la temperatura.

**Microalga:** Microorganismos unicelulares que tienen la capacidad de la fotosíntesis.

**Microplancton:** Término aplicado a componentes microscópicos del plancton, de igual manera aplica para los de naturaleza vegetal y animal.

**Mítico:** Relativo al huevo haploide de los rotíferos o de las hembras

**Mortalidad:** Proporción de defunciones.

## N

**Natalidad:** Producción de nuevos individuos en una población.

## O

**Oligotrófico:** Término que se aplica en un cuerpo de agua pobre en nutrientes y con una productividad reducida.

**Ostrácodos:** Clase de crustáceos de tamaño muy reducido, muchas veces microscópicos

## P

**Parasitismo:** Relación entre dos especies por lo cual una se beneficia mientras que la otra resulta dañada.

**Partenogénesis:** Forma de reproducción basada en el desarrollo de células sexuales femeninas (óvulos) no fecundadas las cuales se segmentan; se da con cierta frecuencia en platelmintos, rotíferos, tardígrados, crustáceos, insectos, anfibios y reptiles.

**Piscicultura:** Crianza de peces.

**Plancton:** Vegetales o animales de tamaño reducido, flotantes o de escasa capacidad para nadar que habitan en los ecosistemas de agua dulce o salada.

**Población:** Grupo de individuos de la misma especie que viven en un área definida y en un tiempo concreto.

**Protozoos:** Organismos microscópicos, unicelulares protistas, heterótrofos que viven en ambientes húmedos o directamente en medios acuáticos.

## Q

**Quimiorreceptores:** Receptor sensorial que traduce una señal química en un potencial de acción.

## Z

**Zooplankton:** Animales flotantes o con reducida capacidad nadadora, que habitan en ecosistemas marinos o de agua dulce.