



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Crecimiento poblacional y tabla de vida de *Hydra* sp.
(Cnidaria: Hydrozoa) alimentada con diferentes densidades
de cladóceros (*Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 y *Daphnia*
pulex Leydig, 1860)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

P R E S E N T A

Aguirre Rodríguez Edgar Giovanni

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Singaraju Sri Subrahmanya Sarma

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, septiembre 2023





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.

Wake up, world

Can't you see the earth is crying.

Wake up, world

Can't you see all the clouds are dying. mc

A mis padres Rosa Elena y Miguel Aguirre por estar siempre conmigo en cada etapa de mi vida, por estar en mis momentos de felicidad y alegría, pero también en los instantes que no creí sobrevivir. Por su apoyo familiar para poder continuar con mis estudios y no limitarme a ser quien soy.

A una persona que quiero y admiro mucho, a mi abuelita Berna por ser una persona fuerte ante las circunstancias que te ha presentado la vida y jamás desistir.

A mis hermanos Karina y Erik por ser siempre como son, estoy feliz de cada uno de ustedes. Así como una mención especial a la sobrina de la casa Nelly, por ser una pequeña esperanza de la futura sociedad. Te amo.

A lo largo de mi vida, me he puesto en circunstancias de las cuales agradezco cada momento, pero también circunstancias en las cuales solo podría ver obscuridad.

Agradecer a una persona muy especial que no creí que pudiese existir, Agustín Rueda, que me ha apoyado hasta el último instante en cada una de mis tormentas, pero que, se ha hecho presente en cada uno de mis mejores momentos provocándome una gran felicidad. *“Like everthing I’ll never find again at the bottom of the ocean”*. De igual manera a la familia Rueda-Castellanos por su apoyo total.

A cada una de las personas con las cuales compartí el maravillo mundo de la biología y otros mundos surrealistas. Gracias por enseñarme las cosas buenas y también los excesos. No me arrepiento de coincidir con ustedes.

Agradecimientos

Agradezco a los miembros de mi comité: Dr. Singaraju Sri Subrahmanya Sarma, Dra. Nandini Sarma, Dr. Pedro Ramírez García, Dr. José Luis Gama Flores y Dra. Patricia Bonilla Lemus por todos sus comentarios que ayudaron a que este trabajo tuviera la virtud para ser presentado ante ustedes. Gracias por cada una de sus aportaciones.

A la Dra. Michael Figueroa y Dr. Cesar Zamora por todas sus enseñanzas dentro del laboratorio de zoología acuática, así como a cada miembro que me apoyo durante mi estancia.

A cada una de las personas con las que he conocido en esta vida, que me han ayudado a mejorar cada día.

De igual manera al proyecto PAPIIT- IN208223.

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN	8
<i>Características generales de Hydra</i>	10
<i>Los cladóceros como presa en la depredación de Hydra</i>	15
ANTECEDENTES	17
HIPÓTESIS	25
OBJETIVOS	26
<i>General</i>	26
<i>Particulares</i>	26
MATERIALES Y MÉTODOS	27
<i>Obtención de Hydra y cultivos en laboratorio</i>	27
<i>Cultivo de zooplancton</i>	29
<i>Cultivo de microalga</i>	30
<i>Crecimiento poblacional de Hydra sp.</i>	30
<i>Tabla de vida de Hydra sp.</i>	31
<i>Tasa de consumo de presa por Hydra sp.</i>	33
RESULTADOS	34
<i>Crecimiento poblacional de Hydra sp. con la presa Ceriodaphnia dubia</i>	35
Día máximo de abundancia	38
<i>Crecimiento poblacional de Hydra sp. con la presa Daphnia pulex</i>	40
Día máximo de abundancia	43
<i>Tabla de Vida de Hydra sp.</i>	45
Promedio de vida.....	45
Esperanza de vida	45
Tiempo generacional	45
Tasa reproductiva con la presa <i>Ceriodaphnia dubia</i>	47
Tasa reproductiva con la presa <i>Ceriodaphnia dubia</i>	49
Tasa reproductiva neta con la presa <i>Daphnia pulex</i>	51
Tasa reproductiva bruta con la presa <i>Daphnia pulex</i>	53
DISCUSIÓN	55
CONCLUSIONES	61
REFERENCIAS	62
ANEXOS	68

Resumen

En cuerpos de agua pequeños de poca profundidad existen interacciones entre zooplancton herbívoro como los cladóceros y depredadores como *Hydra*. La depredación es una de las interacciones más importantes en sistemas acuáticos para la regulación de la distribución y abundancia de las especies planctónicas, incluyendo los cladóceros. Las interacciones entre los cladóceros y sus depredadores tienen implicaciones directas en el crecimiento poblacional o indirectamente causando cambios morfológicos. Dentro de sistemas dulceacuícolas, *Hydra* se encuentra involucrada en diversas interacciones con invertebrados. La presencia o ausencia de *Hydra* en el cuerpo de agua podría significar un impacto en la composición y abundancia en la comunidad de invertebrados y sus posibles efectos en la estructuración de las comunidades de zooplancton dulceacuícola. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de las densidades (3, 6 y 12 ind. día⁻¹) de dos presas (*Daphnia pulex* y *Ceriodaphnia dubia*) sobre el crecimiento poblacional de *Hydra* sp. y otras variables demográficas. Se colocaron 24 cajas Petri de vidrio (50 mm diámetro con 10 mm profundidad) (2 presas X 3 densidades X 4 repeticiones cada tratamiento). En cada caja Petri fue colocado un pólipo de *Hydra* sp. Después de cada 24 h, se cuantificaron y eliminaron las presas no consumidas y se repuso la densidad de presas de acuerdo con el tratamiento para cuantificar las densidades de *Hydra* sp. Los resultados mostraron que cuando se alimentaba de especies grandes (*D. pulex*) y una mayor densidad de presa (12 ind. día⁻¹), la población de *Hydra* sp. era mayor (8.5 ± 0.28 ind. 15mL⁻¹) en comparación con presas más pequeñas (*C. dubia*) y misma densidad de presa (4.25 ± 0.08 ind. 15 mL⁻¹). Por lo tanto, el aumento en la densidad de presas (12 ind. día⁻¹) provocó una mayor abundancia de *Hydra* sp. Estos resultados indican que *Hydra* puede ser un depredador capaz de controlar la densidad y diversidad de cladóceros en cuerpos de agua dulceacuícolas.

Introducción

En cuerpos de agua pequeños de poca profundidad (menor a 3 metros) existen interacciones entre especies en la columna de agua y el sedimento que favorece la presencia de comunidades de macrófitas (Scheffer, 1998; Krajina et al., 2017). En los sistemas acuáticos, en la zona litoral de lagos pocos profundos, la presencia de macrófitas permite la riqueza de las comunidades relacionadas, porque son refugio tanto de invertebrados, entre ellos el zooplancton, como de otras especies de vertebrados como anfibios, reptiles, peces y aves (Rodríguez, 1999). Además, son refugio de depredadores como *Hydra oligactis*, moluscos, varias larvas de insectos y peces (Krajina et al., 2017). De manera ecológica, las macrófitas mantienen un estado de mesotrofia u oligotrofia, retienen nutrientes y sedimentos debido a sus raíces sumergidas (de Kluyver et al., 2015; Janssen et al., 2020).

El zooplancton es uno de los principales eslabones de la cadena alimentaria acuática y es un recurso de importancia en el estudio de ecosistemas terrestres y marinos, se alimentan principalmente de algas, bacterias y materia orgánica particulada de los ecosistemas acuáticos. Funcionan en la acuicultura como alimento vivo para peces de ornato y otras especies acuáticas de importancia comercial o de conservación por ser dietas ricas en proteínas, carbohidratos, ácidos grasos, aceites esenciales, y enzimas que aseguran la nutrición adecuada de las larvas de peces o alevines (Latib et al., 2020; Ismiño et al., 2020).

El zooplancton herbívoro comparte nichos ecológicos similares y compiten por recursos alimentarios. Los cladóceros son organismos filtradores, con una talla en adultos que oscila entre los 200 a 1800 μm de longitud y su dieta está compuesta principalmente por algas verdes o diatomeas entre 1 a 25 μm , incluyendo bacterias y detritus. La diversidad de zooplancton y fitoplancton varía de acuerdo a las características físicas y químicas del cuerpo de agua, así como su estacionalidad (Domínguez -Pascual, 2006). Por otra parte, las poblaciones del zooplancton se encuentran limitadas por los recursos alimentarios, variaciones en la abundancia y la calidad del alimento (Martínez, 2000; Lampert y Sommer, 2007; Ocampo et al., 2010).

Los cladóceros comprenden un gran porcentaje de la biomasa del zooplancton en cuerpos de agua dulce (Nandini et al., 2000) y se encuentran en varios de ellos, como ríos, lagos, océanos y hasta en cuerpos de agua estacionales, como lagos con poca profundidad o estanques y piscinas, así como en charcas de lluvia (Nandini y Sarma, 2019). La mayoría de estos organismos son herbívoros que se alimenta por filtración, y estos a su vez, son depredados por otros invertebrados y larvas de peces (Sarma et al., 2005).

Los cladóceros son organismos sensibles a las variaciones ambientales, como la temperatura del agua, pH, salinidad, contaminantes y disponibilidad de alimento, que pueden influir directamente en su biomasa y estructura comunitaria y así afectar la distribución de depredadores todo el año. Además, la diferencia en las longitudes de las distintas presas puede provocar variaciones en el flujo de energía de los productores primarios a más altos niveles de energía (Li et al., 2022). Cuando son sometidos a algún tipo de estrés por factores ambientales, como la temperatura, fotoperiodo, o bien, por factores bióticos, como la densidad poblacional o algunas kairomonas inducidas por los depredadores, generalmente se producen machos y efípias que son tolerantes a condiciones extremas durante varios años para asegurar la supervivencia y reproducción de estos organismos (Nandini y Sarma, 2019).

Los cladóceros tienen una gran interacción con otras especies, de tal manera que los depredadores y la competencia tienen implicaciones directas en el crecimiento poblacional, o indirectamente, causando cambios morfológicos o de comportamiento de estos crustáceos, coexistiendo con otros grupos de invertebrados que pueden afectar las dinámicas poblacionales y la abundancia de los cladóceros, como la inducción o reconocimiento químico (aleloquímico o kairomonas) o directamente por depredación de los organismos de tipo adulto, neonatos o incluso con huevos sin eclosionar (Sarma et al., 2004).

Características generales de Hydra

El cnidario *Hydra* ha sido reportado en diferentes hábitats de diversas altitudes y latitudes de todos los continentes excepto la Antártida (Jankowski et al., 2008). Éste puede formar parte del plancton al ser capaz de segregar una burbuja de gas del disco basal, que le permite moverse en la columna de agua a través de la corriente. Generalmente, es parte del perifiton del fondo rocoso o de la vegetación sumergida (macrófitas) como *Myriophyllum*, o sobre materia vegetal muerta, y alrededor de tallos de *Typha*. Incluso se ha observado a *H. oligactis* en lagos eutróficos y se ha reportado la presencia de *H. vulgaris* en lagos entre 300-400 m de profundidad (Link y Kenen, 1995). La capacidad de movimiento es a partir de la contracción de la columna y deslizamiento del disco pedal (Deserti et al., 2017).

Los cnidarios son un grupo basal de metazoos, el cual comprende grupos como Anthozoa, Scyphozoa, Staurozoa, Cubozoa e Hydrozoa, conocidos comúnmente como corales, anemonas, medusas y pólipos, incluyendo a las hidras. Estos grupos son fundamentales en la estructura de los ecosistemas más diversos del mundo: los ecosistemas arrecifales; teniendo éxito por su gran variedad de ciclos de vida, morfología y su amplia distribución en otros ambientes como cuerpos de agua epicontinentales y aguas oceánicas profundas que comprenden este Filo (Ocampo et al., 2015; Adachi et al., 2017).

Los pólipos de *Hydra* son invertebrados comúnmente pequeños, sésiles, solitarios y depredadores en la zona litoral de cuerpos dulceacuícolas, se alimentan de algunas especies de crustáceos (cladóceros y copépodos), insectos, larvas de peces, anélidos y rotíferos; siendo *Hydra* presa de algunos peces o moluscos que se alimentan de las macrófitas, causando un gran impacto en las comunidades de zooplancton que viven en la zona litoral de lagos pequeños (Deserti et al., 2017; Boutry et al., 2022).

Una *Hydra* está compuesta por un cuerpo con forma de tubo (columna) de 3 a 30 mm de longitud y de 2 a 3 mm de espesor, que cuando está en estado de relajación se encuentra cilíndrica, pero puede perder rápidamente esa apariencia al ser muy contráctiles y poseer también unos tentáculos contráctiles (5-7) que rodean al

hipostoma (Zamponi y Deserti, 2009) capaces de capturar y consumir presas de una longitud mayor que ella misma (Deserti et al., 2017).

La *Hydra* tiene estructuras punzocortantes llamadas nematocistos que se encuentran con abundancia en los tentáculos y en el extremo oral del cuerpo para captura de alimento como peces o para protección contra otros depredadores. El número de tentáculos y largo de ellos depende de la especie, además son responsables de la captura de las presas que servirán como alimento. Cerca del hipostoma se encuentran abundantes células glandulares que segregan enzimas que facilitan la digestión extracelular antes de ser ingerida por el pólipo; además de segregar un líquido lubricante que contribuye a la ingestión del alimento (Meglitsch, 1983). Sin embargo, parecen existir pocos depredadores que atacan directamente a *Hydra* por tener un sabor desagradable al consumo del depredador (Massaro et al., 2013).

Hydra muestra una alimentación típica de la siguiente manera (Massaro et al., 2013):

1. La presa es intoxicada por la acción de los nematocistos al ser activados por accidente al pasar cerca de los tentáculos.
2. Contracción de los tentáculos hacia la región oral, donde ocurre la apertura de la boca y el arrastre de la presa a la cavidad corporal.
3. Cierre de la región oral, con contracciones corporales e inhibición de los tentáculos. Se realiza la digestión de la presa.

La columna se divide en cuatro regiones (Zamponi y Deserti, 2009): a) Región gástrica (entre la boca y zona de gemación); b) Región de gemación; c) Un pedúnculo que puede estar presente o ausente, si es así suele ser más delgado que el resto de la columna; d) Disco basal o pedal mediante el cual segrega mucosa para adherirse al sustrato.

Dentro de estos ecosistemas, las hidras se encuentran involucradas en diversas interacciones con vertebrados e invertebrados (Boutry et al., 2022). La depredación es una de las interacciones más importantes en sistemas acuáticos para la regulación de la distribución y abundancia de las especies acuáticas (Rivera-De la

Parra et al., 2016). La presencia o ausencia de *Hydra* en el cuerpo de agua podría significar un impacto en la composición y abundancia en la comunidad de invertebrados (Walsh, 1995), entre ellas las comunidades de zooplancton dulceacuícola (Deserti et al., 2017).

Estos invertebrados son depredadores activos, la presencia de cnidocitos permite la captura de alimento sin la necesidad de perseguir a su presa, sin embargo, éstas pueden ser elegidas por el tamaño con una gran agresividad predatoria (Zamponi y Deserti, 2009; Deserti, 2012). Se conoce que *Hydra* es un potencial depredador, pero podría tener una relación más estrecha con la selección de presa de lo que se piensa, por su capacidad reproductiva, estrategias de depredación y alta longevidad (Slobodkin y Bossert, 2010; Rivera-De la Parra et al., 2016).

Algunos invertebrados de aguas dulceacuícolas que viven en ambientes estacionales o temporales variables se reproducen asexualmente a inicios de primavera cuando existe una densidad poblacional baja, como algunos cladóceros y rotíferos (ciclo partenogénico), oligoquetos (fragmentación), hidras (gemación), etc., posteriormente, al final de temporada, cambian a la reproducción sexual (Tökölyi et al., 2014).

Estos organismos modifican los rasgos en sus historias de vida como el crecimiento, la reproducción, el número de descendencia, o la inversión de energía en funciones de auto mantenimiento y supervivencia; de esta manera enfrentan las restricciones en ambientes cambiantes y realizan las compensaciones necesarias para poder asignar de manera eficiente los recursos entre el crecimiento, la reproducción y la supervivencia (Schaible et al., 2011). Periodos de alta disponibilidad de alimento permiten realizar actividades de alto costo energético, como la reproducción, mientras que, en periodos de condiciones adversas, se realizan estrategias fisiológicas o de comportamiento que aseguran la supervivencia en estas condiciones subóptimas o de estrés (Rosa et al., 2015).

Los animales que se someten a una escasez de recursos podrían reducir la inversión reproductiva para aumentar la supervivencia, así periodos de baja disponibilidad propician niveles más altos de tolerancia al estrés y tasas de

envejecimiento más bajas por una restricción dietética. Por otro lado, la escasez de alimentos podría indicar un alto riesgo de mortalidad en el futuro, resultando en una mayor inversión en reproducción y una reducción en la supervivencia, denominada inversión terminal (Tökölyi et al., 2017). En las especies que se reproducen asexualmente, la producción de descendientes genéticamente idénticos (clon) se considera una estrategia que permite la alta reproducción de individuos sin la necesidad de aparearse, dando como resultado, descendientes generalmente de mayor tamaño y con capacidad de reproducirse antes en comparación con la descendencia producida de manera sexual (Tökölyi et al., 2014).

Hydra se reproducen asexualmente por gemación de los tejidos del cuerpo de la columna por un proceso de mitosis y migración celular (Schaible et al., 2011), pero puede realizar la reproducción sexual en otoño, seguida de una senescencia post-reproductiva, al asignar mayores recursos a la reproducción, a expensas de las funciones de auto-mantenimiento (Tökölyi et al., 2017; Boutry et al., 2022). Un brote o yema es un clon de un organismo parental que se origina por reproducción asexual, éste puede permanecer indefinidamente unido al pólipo original o desprenderse de la columna para ser un individuo independiente (pólipo) (Deserti et al., 2012), siendo el principal modo de reproducción, mientras que la reproducción sexual ocurre con menos frecuencia (Schaible et al., 2011).

Cuando un brote o yema comienza a formarse en la columna inferior del cuerpo, aun se considera parte del pólipo que lo origina, ya que carece de tentáculos y disco basal (David et al., 2005; Hannah et al., 2022). Además, ambas columnas están interconectadas anatómicamente (se continúan una con la otra), de manera que el brote recibe el agua y los nutrientes necesarios de su parental. La cantidad de brotes puede variar, desde uno solo a incluso seis en un mismo organismo (Deserti, 2012).

La reproducción sexual es seguida por una reducción en el número de células madre intersticiales, una menor tasa de captura de alimento y de digestión, así como disminución en los movimientos contráctiles de la columna y tentáculos; también una disminución en el tamaño corporal, en la reproducción y un aumento exponencial de la tasa de mortalidad (Yoshida et al., 2006; Tökölyi et al., 2017).

Los individuos de *H. oligactis* inician la reproducción sexual cuando la temperatura se reduce y posteriormente mueren en unos pocos meses (Tökölyi et al., 2017), así este tipo de reproducción ocurre en otoño para la producción de huevos de resistencia fertilizados resistentes a ambientes extremos como el invierno (Ruppert y Barnes, 1994). Los pólipos de *Hydra* que se alimentan regularmente se multiplican por gemación (reproducción asexual), mientras que la gametogénesis (reproducción sexual), ocurre en respuesta a condiciones ambientales como la inanición en *H. vulgaris* o la baja temperatura en *H. oligactis* (Ocampo, 2015).

En ambientes dulceacuícolas, los pólipos de *Hydra* están expuestos a sufrir variaciones ambientales que podrían modificar las estrategias de vida de estos organismos, estas variaciones bióticas y abióticas como la temperatura, el fotoperiodo, así como la densidad poblacional y la disponibilidad de alimento podrían tener un impacto en su dinámica poblacional (Rosa et al., 2015). Como consecuencia, las especies utilizan la reproducción clonal para lograr altas tasas de crecimiento poblacional (Tökölyi et al., 2014). Por lo tanto, durante periodos de alta disponibilidad de alimento, son adecuados para realizar actividades de alto costo energético, como la reproducción, mientras que periodos desfavorables permiten realizar estrategias de comportamiento y supervivencia en estas condiciones de estrés (Rosa et al., 2015).

Los cladóceros como presa en la depredación de Hydra

La presencia de depredadores puede eliminar las formas más grandes permitiendo que el zooplancton de tamaño pequeño se vuelva dominante (Domínguez-Pascual, 2006; Jiang et al., 2014). Las presas pueden tener estrategias para evitar la depredación como el cambio de tamaño o realizar cambios en las variables en sus historias de vida como adaptaciones relacionadas al comportamiento, cambios en la edad de reproducción, que permitan la supervivencia a la presencia de los aleloquímicos liberados por los depredadores (Gama-Flores et al., 2013). Cuando los cladóceros como *Daphnia pulex* compite directamente con *Simocephalus vetulus*, la presencia de *Hydra* como depredador favoreció el crecimiento *S. vetulus*, después de que *D. pulex* fuera eliminada por el depredador (Jiang et al., 2014), de igual manera el efecto aleloquímico que presenta *Hydra*, tiene efectos en la tasa de reproducción de *Daphnia cf. mendotae* (Rivera-De la Parra et al., 2016).

Para escapar de los depredadores, las especies de zooplancton desarrollan estrategias como movimientos natatorios rápidos a manera de salto, un menor tamaño que proporcione menor energía para el depredador, formación en grupos para evitar ser capturados, así como cambios fenotípicos que implican un alargamiento corporal o elongación de espinas (Aguilar-Acosta, 2013). El alargamiento o presencia de espinas en el caparazón de cladóceros como *Daphnia*, *Ceriodaphnia* y *Macrothrix* puede ser una adaptación morfológico-funcional para evitar los depredadores (Nandini y Sarma, 2005; Rivera-De la Parra et al., 2016).

En zonas tropicales, el zooplancton presenta mayor endemismo, especialmente de copépodos calanoideos, y los cladóceros que abundan son menores a 1mm. Mientras que, los tres principales cladóceros dulceacuícolas de zonas templadas son *D. pulex*, *S. vetulus* y *Bosmina longirostris* que representan especies de tamaño largo, mediano y pequeño respectivamente (Aguilar-Acosta, 2013; Jiang et al., 2014). Especies de gran tamaño como *Moina* son vulnerables a un encuentro con *Hydra*, de tal manera que el tamaño no es una limitante para la selección de presa por parte de *Hydra*, sino que otras características como el hábitat (pelágico y/o litoral) de las especies de zooplancton puede ser un factor de vulnerabilidad a la depredación de los pólipos de *Hydra* (Rivera-De la Parra et al., 2016).

Los cladóceros como *Ceriodaphnia* y *Simocephalus*, así como la mayoría de los copépodos ciclopoideos, son más abundantes en la zona litoral en presencia de macrófitos, en comparación con la zona pelágica. Además, *Ceriodaphnia* es capaz de tolerar condiciones de poco oxígeno en comparación con *Daphnia*, que se encuentra en la zona pelágica y con menor frecuencia en la zona litoral (Sarma et al., 2005).

El desarrollo de un exoesqueleto más grueso es poco probable en especies pelágicas, ya que implicaría costos adicionales, además de ser un factor limitante en la natación. Por lo tanto, especies de cladóceros con caparazón más grueso son más abundantes en las regiones litorales o bénticas, desarrollando un caparazón más fuerte y grueso a expensas de otras estructuras asociadas a la natación o las antenas (Rivera-De la Parra et al., 2016).

Antecedentes

Morales y colaboradores (2018) estudiaron la cuenca del Duero (España) describiendo la presencia de aguas someras (hasta 6 m de profundidad) con estado oligotrófico y un pH ligeramente ácido, dominado por la presencia de micrófitos como *Myriophyllum alternifolium*, *Ranunculus peltatus* y *Potamogeton natans*. Mostraron que los géneros *Hydra vulgaris*, *H. oligactis* e *H. viridissima* se encontraban sobre sustratos como hojarasca, fondo rocoso de gravas y arenas; teniendo un comportamiento depredatorio sobre el gusano oligoqueto *Sylodrilus heringianus*.

Elliot et al. (1997) realizaron un análisis ANOVA de dos factores sobre la interacción depredador-presa y la tasa de depredación de *Hydra canadensis* sobre larvas de *Lepomis macrochirus* (~5mm) en un mesocosmos de 10², donde el 25% de las larvas fue capturada en un sólo intento y el 36% con dos o más intentos de captura por parte de *Hydra*, y sólo el 26% murió luego de escapar de los tentáculos de *Hydra*. Las tasas de depredación en el Lago Opinicon (Ontario) sugieren que las altas densidades de *Hydra* (9,738 ± 3,127 ind. m²) en la macrófita sumergida *Myriophyllum spicatum* podrían eliminar por ataque o captura al 20% de la población de larvas de *L. macrochirus* (Concentración larval de 30 ind. L⁻¹).

Link y Kenen (1995) determinaron la selectividad alimentaria de *Hydra* (proporción en el celenterón / proporción en el ambiente) de la comunidad de zooplancton de la península Keweenaw (Ohio), encontrando que el copépodo *Limnocalanus macrurus* (2.5mm) comprendía un 16% (29 ind. m³) de la comunidad de zooplancton en el lago y representaba un 86% de la dieta de *Hydra*, mientras que, *Diaptomus sicilis*, un calanoideo de menor tamaño (1.6mm) comprendía el 54% (96.5 ind. m³) de la comunidad del zooplancton, pero solo representó el 9% en la dieta de *Hydra*.

Yoshida y colaboradores (2006) examinaron que en la degeneración post reproductiva se ven afectadas funciones como la captura de alimentos, sus movimientos, digestión, reproducción y la composición celular de *H. oligactis* después de ocurrir la diferenciación sexual. A una temperatura de 18°C, *Hydra* puede alimentarse con un promedio de 30 *Artemia* sp. (1 a 60 días), mientras que

al ocurrir una diferenciación en la temperatura de 10°C durante 60 días más, *H. oligactis* sólo captura menos de 5 *Artemia* sp., además de un acortamiento progresivo de tentáculos hasta el atrofiamiento (120 días) y la desintegración de *Hydra* alrededor del día 150. Por otra parte, *Hydra magnipapillata* puede seguir realizando la reproducción asexual a temperaturas de 10°C, e inclusive continuar la reproducción asexual en fase sexual. El cambio en la composición celular a 10°C fue variable, aumentando el número de células germinales a partir del día 30 y en contraparte una disminución de células somáticas, incluidas células nerviosas, nematocistos y células glandulares. Así, un menor número de células de nematocisto y células nerviosas provocan la disminución en la captura de alimento, siendo un factor que aumenta su mortalidad.

Otros trabajos que ahondan con más claridad la relación entre la alimentación y las tasas de crecimiento, reproducción y supervivencia son los realizados por Sebestyén et al. (2017) que sometieron a *H. vulgaris* a un régimen de alimentación con nauplios de *Artemia* sp. con densidades de 10, 30 y 90 μL (1 μL contiene 7-8 nauplios) y una respuesta al estrés con densidades bajas (~ 0.6 ind. /mL) y altas (~ 1.8 ind. /mL), obteniendo densidades promedio de *Hydra* desde 0.054 a 0.264 ind./ 2 días, utilizando un modelo mixto lineal generalizado. Dando como resultado que la densidad fue influida por la reproducción asexual y su tolerancia al estrés dependía de la disponibilidad de alimento.

En la investigación de Tökölyi et al. (2017) en la que estudiaron mediante un modelo lineal generalizado y un modelo mixto lineal generalizado el equilibrio fecundidad/supervivencia en diferentes niveles de alimentación 3, 6, 10 o 20 μL (1 μL contiene 7-8 nauplios de *Artemia*) en organismos machos y hembras de *H. oligactis* durante 150 días, se demostró que la baja temperatura inhibe la reproducción asexual temporalmente (~ 2 semanas). Desde el inicio de la manipulación de la temperatura (7°C) la reproducción sexual comenzó a los 38 ± 3.91 días en machos y 47 ± 5.65 días en hembras, disminuyendo la supervivencia después de este tipo de reproducción, posteriormente, los pólipos enfrentaron un aumento exponencial en la tasa de mortalidad, del 30% de individuos muertos (n=360). La manipulación experimental de la disponibilidad de alimentos afectó

significativamente la fecundidad, pero la tasa de supervivencia no estuvo relacionada con la cantidad de alimento disponible, demostrando en este estudio que la supervivencia de pólipos de *H. oligactis* estuvo a expensas de la reproducción. La alta tasa de supervivencia post-reproductiva de la población de *Hydra* en el mencionado estudio puede indicar que los animales que sobreviven a la reproducción sexual convierten menos células madre en células germinales y quedan suficientes células madre para regenerar a *Hydra* completamente.

Krajina et al. (2017) realizaron un análisis de redundancia (RDA) para determinar la composición cualitativa y cuantitativa de la comunidad de invertebrados presentes en la macrófita sumergida *Myriophyllum spicatum*, del lago Osijek (Croacia) mostrando una variación en la temperatura entre 13.5°C - 26°C, donde la presencia de *H. oligactis* fue la más abundante a lo largo de este estudio, contribuyendo un 30% de la abundancia de fauna total, teniendo mayor presencia durante el verano. Así también, la presencia de cladóceros estuvo en todo el muestreo, con un 93.3% de presencia en el lago y un 12.2% con respecto a la abundancia de la fauna total. También se determinó la existencia de grupos como Nematoda (25.3%), larvas de Chironomidae (33.4%), Copépoda (2.1%) y Gasterópoda (etapa juvenil) de abundancia total de la fauna del cuerpo de agua.

Rosa et al. (2015) evaluaron, mediante un modelo lineal y ANOVA de un factor, la tasa de reproducción asexual y tolerancia al estrés de *H. viridissima* con cambios en la disponibilidad de alimento (niveles de alimento alto y bajo en periodos estables y aleatorios), observando tasas de gemación más altas en una cantidad de alimentación alta y estable (0.65 yemas/*Hydra*/día), mientras que las tasas más bajas se presentaron con una dieta aleatoria baja (0.31 yemas/ *Hydra* /día). Por otra parte, la frecuencia de alimentación (diario, 2 y 4 días) obtuvo la tasa de gemación más alta en niveles de frecuencia intermedia (cada 2 días). La *Hydra* que fue mantenida con una dieta aleatoria mostró una respuesta más lenta a corto plazo frente a cambios en la reproducción y el auto mantenimiento. Al haber una notable reducción en la alimentación de *Hydra viridissima* se presentaron altas tasas de gemación, y posterior a 8 días, la reproducción asexual se detuvo, sugiriendo que

la baja disponibilidad de alimentos provocó una tasa de reproducción asexual baja y una menor tolerancia al estrés.

De manera más directa se ha estudiado la tasa de crecimiento poblacional a través de diferentes tipos de dietas y especies de zooplancton, como en Massaro y Rocha (2008), quienes determinaron la tasa de crecimiento poblacional de *H. viridissima* (3 *Hydra* por tratamiento) alimentándola con neonatos del cladóceros *Ceriodaphnia silvestrii* (3-4 ind. /día) durante 65 días. Obtuvieron una tasa de 109.12 ± 6.44 pólipos de *Hydra* y un tiempo medio de duplicación de la población de 14 ± 2.63 días. Además, de una tasa de crecimiento individual (k) de 0.43 y de un tiempo generacional de 6.6 ± 1.5 días.

Mientras tanto, Deserti et al. (2017) determinaron la frecuencia y tipo de presas en la cavidad gástrica (celentéreo) de *Hydra vulgaris* encontrando que las especies de diatomeas *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana* y *Navicula zanonii* estaban presentes en la cavidad de *Hydra* durante todas las temporadas de muestreo y hubo una mayor preferencia de éstas en la temporada de invierno. Por otra parte, los cladóceros *Alonella* se encontraron en las temporadas de primavera, verano y de otoño y *Daphnia* sólo en verano, ocupando un gran espacio de la cavidad gástrica, así como el copépodo *Acanthocyclops robustus* (en invierno) y larvas de dípteros quironómidos. Se mostró que durante el invierno las diatomeas parecen ser el único recurso alimenticio que permite sobrevivir a *Hydra* en estos periodos desfavorables que son cruciales para la supervivencia, sin embargo, se desconoce si estos organismos tengan un aporte nutricional.

De igual manera, Massaro y colaboradores (2013) realizaron experimentos de depredación y selectividad en *Hydra viridissima* e *H. salmacidis* con cuatro repeticiones cada experimento. Se estableció la longitud de los posibles depredadores de *Hydra*, eligiendo ninfas de Anisoptero: Odonato (~5 mm), larvas de mosquito *Chaoborus* (~5mm) y adultos de copépodos (~1.6mm), así como el pez *Poecilia reticulata* (~2.5mm) como depredadores. Cada repetición contenía 10 hidras adultas sin yema, se colocaron tres depredadores y se revisó a las 24 h. No se encontró disminución de los individuos de *Hydra* en los tratamientos. Por otra parte, para las preferencias de presa de *H. viridissima* e *H. salmacidis* se

seleccionaron nauplios y copepoditos de las especies de calanoideos *Argyrodiaptomus furcatus* y *Notodiaptomus iheringi* (~0.27 -0.68 mm), adultos no ovígeros (~0.67mm) y neonatos (~0.35) del cladóceros *Ceriodaphnia silvestrii* y ostrácodos (1.37 mm). Cada repetición contenía 5 *Hydras* adultas sin yema con 5 individuos de presa como alimento y se observó su respuesta después de 5 h. El índice de relación de forraje normalizada arrojó diferencias significativas en el tamaño de especies de presas seleccionadas, donde *H. viridissima* no consumió adultos de copépodos ni ostrácodos, teniendo una preferencia por los nauplios de copépodos y adultos de *C. silvestrii*, seguidos de los copepoditos y neonatos de *C. silvestrii*. Mientras que *H. salmacidis* tuvo una preferencia por adultos, nauplios y copepoditos de *A. furcatus* y *N. iheringi*, seguidos de los estadios adultos y neonatos de *C. silvestrii*. No hubo preferencia por los ostrácodos. Los mismos autores concluyeron que *H. viridissima* no pudo consumir presas de grandes tamaños debido a factores como el tamaño del cuerpo, el tamaño y la eficiencia de natación de la presa y dureza del caparazón en el caso de ostrácodos. Sin embargo, debido a su mayor tamaño *H. salmacidis* podía capturar fácilmente a los adultos de copépodos. Además, *H. salmacidis* consumió un mayor número de presas, posiblemente relacionado con su tamaño, en comparación con *H. viridissima* que consumió un menor número de presas como consecuencia de la simbiosis que realiza con el alga verde *Chlorella vulgaris*.

De manera más específica, Rivera-De la Parra y colaboradores (2016) realizaron experimentos de comportamiento alimentario de *Hydra*, alimentándola con una densidad de cladóceros y copépodos (1,75 ind. mL⁻¹ por especie) y rotíferos (1,5 ind. mL⁻¹ por especie) con diez repeticiones a dos temperaturas (15°C y 25°C) y 2 individuos de *Hydra* durante un período de observación de 45 min en cajas de Petri (Ø 50 mmx15 mm) con 10 mL de medio de cultivo. La preferencia alimentaria se realizó en estado de inanición de *Hydra* durante 24 h con un individuo de *Hydra* alimentada con 10 individuos de cada presa con tres repeticiones.

Estos mismos autores utilizaron 10 especies de cladóceros, entre ellas *Daphnia pulex* y *Ceriodaphnia dubia*, así como dos especies de rotíferos y un copépodo. El comportamiento alimentario mostró que el tiempo en que *Hydra* captura a su presa

estaba significativamente relacionado con el tamaño, ya que todas las presas fueron capturadas sin mostrar diferencias en la supervivencia, sin embargo, no hubo diferencias significativas en los tiempos de ingestión y digestión respecto al tamaño. *Daphnia pulex* fue más probable a un encuentro con *Hydra*, siendo ésta capaz de consumir un individuo cada minuto, en contraparte, *Pleuroxus aduncus* fue el menos probable a un encuentro. La preferencia alimentaria no se vio afectada por la temperatura, y tuvo preferencia por *Diaphanosoma* y *Moina macrocopa*, mientras que el resto de presas no fue elegida.

Hydra se alimenta principalmente de zooplancton como cladóceros y rotíferos y su abundancia y distribución puede estar asociada con las características fisicoquímicas del cuerpo de agua, así como con la distribución de las diferentes especies de cladóceros que comprenden la comunidad zooplanctónica. De acuerdo a la zona de estudio donde se obtuvo el ejemplar de *Hydra* sp., Presa del Llano (Edo. de México), autores como Moreno-Díaz (2014) han determinado variables fisicoquímicas, encontrando un pH de 6.3 (ligeramente ácido) y la saturación de oxígeno disuelto fue de 6.5 mg. L⁻¹, catalogándolas como aguas muy oxigenadas, además de la concentración y estabilidad de la materia orgánica, parámetros característicos de agua de buena calidad. Muñoz-Colmenares (2017) encontró características muy similares en la misma presa, describiendo un pH de 6.4 y aguas bien oxigenadas (7mg. L⁻¹), características de aguas con estado oligotrófico. Además, encontró la presencia de 86 especies de rotíferos, 13 especies de cladóceros, incluidas *Daphnia cf. mendotae* y *Ceriodaphnia dubia*. La mayor parte del año *C. dubia* se encuentra en bajas densidades poblacionales (>10 ind. L⁻¹), pero durante el periodo de lluvia (junio y julio) aumentan hasta densidades de 120 ind. L⁻¹. Por otra parte, la dominancia en la estructura comunitaria de la presa, estuvo dominada por nauplios de copépodos, mencionando que especies de gran tamaño eran más susceptibles a la depredación de larvas y adultos de *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris).

De esta manera la interacción entre el depredador *Hydra* y sus presas es altamente probable. La presencia de las especies de zooplancton en los diversos cuerpos de agua de la parte central de México, está influenciada por la temporalidad estacional,

pudiendo tener afectaciones directas en la selección de presa y la cantidad de ingesta de alimentos por parte de *Hydra* sp. que puede tener implicaciones directas en su abundancia y distribución.

Relacionado a cuerpos de agua en la misma latitud, otros autores como Domínguez-Pascual (2006), trabajó en la laguna de Zumpango, cuerpo de agua con características eutróficas, y reportó la presencia de cladóceros como *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pavula*, *Simocephalus vetulus* durante un periodo de abril-septiembre con densidades de 20 ind. L⁻¹ en *D. pavula* y 2.5 ind. L⁻¹ en *S. vetulus*, siendo parte del zooplancton de mayor tamaño, así como los copépodos y copepoditos durante un largo periodo de tiempo y ausencia durante los meses de bajas temperaturas. Determinó que cuando existe una disminución del zooplancton de talla grande, especies como *Bosmina longirostris* junto con *Diaphanosoma birgei* aumentaron en densidades de hasta 70 ind. L⁻¹ al igual que la población de rotíferos.

Aguilar-Acosta (2013) determinó la relación entre el largo y ancho en la talla de algunos cladóceros y otras especies de zooplancton en diferentes temporalidades estacionales (seco-cálido, lluvias, seco-frío) en presa Iturbide, Estado de México. Explicó que las especies de rotíferos y cladóceros presentaron una talla pequeña (6 a 300 µm) durante la temporada seca-cálida, sin embargo, el cladóceros *Pleuroxus denticulatus* y *C. dubia* incrementaron su talla (600 µm) durante esta época y en temporada seca-fría (8°C) hay tallas pequeñas y medianas entre 300 a 1200 µm, siendo *Chydorus brevilabris* el cladóceros más pequeño (315 ± 16 µm) y *S. vetulus* el más largo (1050 ± 100 µm) junto con cladóceros *Macrothrix rosea* (850 µm). Por otra parte, en la cantera Oriente (CDMX), Frías de la Cruz (2019), reportó la presencia de *Daphnia obtusa* con densidades de 134 ind. L⁻¹.

Justificación

Distintos grupos del género *Hydra* Linnaeus, 1758, han sido utilizados ampliamente en bioensayos de toxicidad, estudios genéticos y moleculares, histológicos y de fisiología animal para poder comprender con más claridad los procesos de regeneración de tejidos o hasta la total senescencia. Sin embargo, aspectos relacionados a la ecología reproductiva y alimentaria de este cnidario son limitados, pues de acuerdo a *Web of Science* < 6% de 3000 artículos en los últimos 30 años tienen un enfoque ecológico (Rivera-De la Parra et al, 2016).

Además, los grupos de *Hydra* y cladóceros del género *Daphnia* son utilizados ampliamente en estudios ecológicos por su amplia distribución geográfica, tamaño pequeño, facilidad de cultivo y altas tasas de crecimiento poblacional (Barrera et al., 2019) y su alta plasticidad fenotípica como respuesta a cambios ambientales o ecotoxicológicos (Morales et al., 2018). Además, sin considerar el periodo post-degenerativo que sufre *Hydra*, estos podrían considerarse organismos “inmortales” por su alta capacidad de longevidad (Boutry et al., 2022).

La presencia de *Hydra* en comunidades acuáticas ha demostrado que *H. oligactis* es un depredador más exitoso que otras especies de *Hydra* (Kaliszewicz, 2013), ya que no es un depredador selectivo respecto con el tamaño de presa u otras características (Krajina et al., 2017).

El objetivo de este trabajo es evaluar si existe una diferencia significativa respecto al tipo de dieta que recibe el pólipo de *Hydra* sp. durante el crecimiento poblacional y tabla de vida por reproducción asexual en condiciones de laboratorio, para así conocer su posible efecto como depredador de especies diferentes de cladóceros en cuerpos de agua dulce.

Hipótesis

Si el crecimiento poblacional del cnidario *Hydra* sp. en presencia de altas densidades de zooplancton como alimento es capaz de continuar con la reproducción asexual; entonces, con el aumento en las densidades de diferentes especies de presa (*Daphnia pulex* y *Ceriodaphnia dubia*), este depredador será capaz de generar mayor número de individuos por día, reflejando cambios en sus conductas ecológicas asociados a sus principales variables demográficas.

Objetivos

General

Evaluar la dinámica poblacional de *Hydra sp.* alimentada con dos dietas diferentes de cladóceros.

Particulares

Determinar el crecimiento poblacional de *Hydra sp.* alimentada con diferentes densidades (3, 6 y ind. día⁻¹) de *Daphnia pulex* y *Ceriodaphnia dubia*.

Cuantificar las variables demográficas de *Hydra sp.* alimentada con diferentes densidades (3, 6 y ind. día⁻¹) de *D. pulex* y *C. dubia*.

Materiales y Métodos

Obtención de Hydra y cultivos en laboratorio

El cnidario de agua dulce *Hydra* sp. es una especie de amplia distribución en el hemisferio norte y parte de Australia, encontrándose generalmente en orillas someras con abundante vegetación acuática y raíces sumergidas en cuerpos de aguas no contaminados; preferentemente en pozas de arroyos, lagunas y lagos templados (Morales et al., 2018).

Hydra sp. fue colectado del embalse permanente Presa del Llano, ubicado en el municipio de Villa del Carbón, en la parte central del Estado de México (19° 39' 37" N y 99° 30' 24" O) a una altitud de 2841 metros sobre nivel del mar. El cuerpo de agua se encuentra en un bosque de *Pinus-Quercus* y bosque mixto con pastizales inducidos; con clima templado subhúmedo y temperatura promedio anual de 16° C, así durante el año se registran dos épocas climáticas: las lluvias, que comprenden el periodo de mayo-septiembre, y la temporada de secas, desde octubre hasta abril, siendo las temporadas de invierno más frías (~7.6°C) que las temporadas de primavera - verano con ~22.2 °C (Muñoz-Colmenares, 2017) (Figura 1).

El cuerpo de agua tiene una extensión de superficie de 45,932.44 m² y una zona litoral de 1,490.47 m (datos personales). Tiene una profundidad de 55 m con una capacidad de almacenamiento de 15,000 m³ (Moreno-Díaz, 2014). Por otra parte, este embalse ha sido utilizado por los habitantes del lugar para la producción acuícola, recreación y ecoturismo, además de ser reserva abastecimiento de agua potable y riego agrícola para la zona.



Figura 1. Presa del Llano, Villa del Carbón, Estado de México

De la vegetación de macrófitas sumergidas (*Egeria densa*) fueron recolectados en frascos de 2 litros y transportados al laboratorio para examinar y obtener los individuos de *Hydra* y su posterior determinación, utilizando las claves de Thorp y Rogers (2016). Cada individuo de *Hydra* sp. encontrado fue removido del sustrato (Hojas de macrófitas) con una pipeta Pasteur y aguja fina y posteriormente se transfirió a una caja de Petri de vidrio (\varnothing 50mm X 10mm) y se cultivó en el Laboratorio de Zoología Acuática, de la Unidad de Morfología y Función (UMF) de la FES Iztacala, UNAM, en un medio de agua reconstruida moderadamente dura EPA con 15 ml del medio de cultivo. El medio EPA se preparó disolviendo 1.2 mg de CaSO_4 , 1.2 mg de MgSO_4 , 1.9 mg de NaHCO_3 y 0.04 de KCl en 20 L de agua destilada (Weber, 1993).

Los parámetros del medio de cultivo fueron: pH 7.8 ± 0.05 , conductividad de $1478.17 \pm 16.44 \mu\text{s}/\text{cm}^2$, temperatura de $18 \pm 2^\circ\text{C}$ y fotoperiodo de 16 h luz/ 8 h oscuridad para favorecer la reproducción asexual; como lo sugieren diversos autores (Pascoe et al., 2003; Yoshida, 2006; Tökölyi et al., 2014; Lauro y Kass-Simon, 2018; Yamindago et al., 2018; Lee et al., 2020).

La *Hydra* se alimentó diariamente con una mezcla de las especies *Daphnia pulex* Leydig, 1860 y *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 a una densidad de 1-3 ind. día⁻¹ y

se realizaron cambios del medio de cultivo de *Hydra* sp. y de las presas cada 2 - 3 días. Cuando la densidad de *Hydra* sp. fue de aproximadamente 10 ind. 15 mL⁻¹ se separaron en cajas Petri individuales para realizar el crecimiento poblacional y tabla de vida (Figura 2).

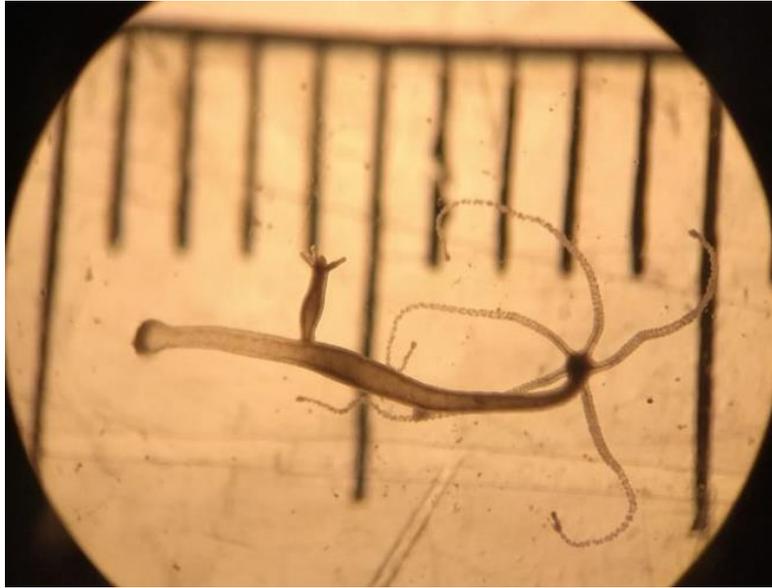


Figura 2. Pólipo de *Hydra* sp. con yema de reproducción asexual. En la escala 1:100 cada línea equivale 1mm

Cultivo de zooplancton

Los cladóceros utilizados como alimento para *Hydra* sp. fueron *Daphnia pulex* y *Ceriodaphnia dubia*, (Figura 3) como ya se mencionó. Estas especies de cladóceros fueron colectadas del lago de Xochimilco (19°17'17" N, 99°06'05" O). Se utilizó *Scenedesmus acutus* como alimento con una densidad de 1x 10⁶ cel. mL⁻¹ diariamente. Se cultivó de manera independiente cada especie a una densidad aproximada de 200 ind. mL⁻¹ y se cosechó una parte para evitar la producción de machos y hembras con efípias. El cultivo stock de cada especie de cladóceros se inició a partir de hembras partenogénicas en medio de cultivo EPA en contenedores de vidrio de 450 ml a temperatura ambiente (18 ± 2 °C) durante 6 meses antes de iniciar el experimento. Se realizaron cambios del medio de cultivo 3 veces a la semana y se seleccionaron las hembras no grávidas de cada especie de cultivo para ser utilizadas en la alimentación de *Hydra*.

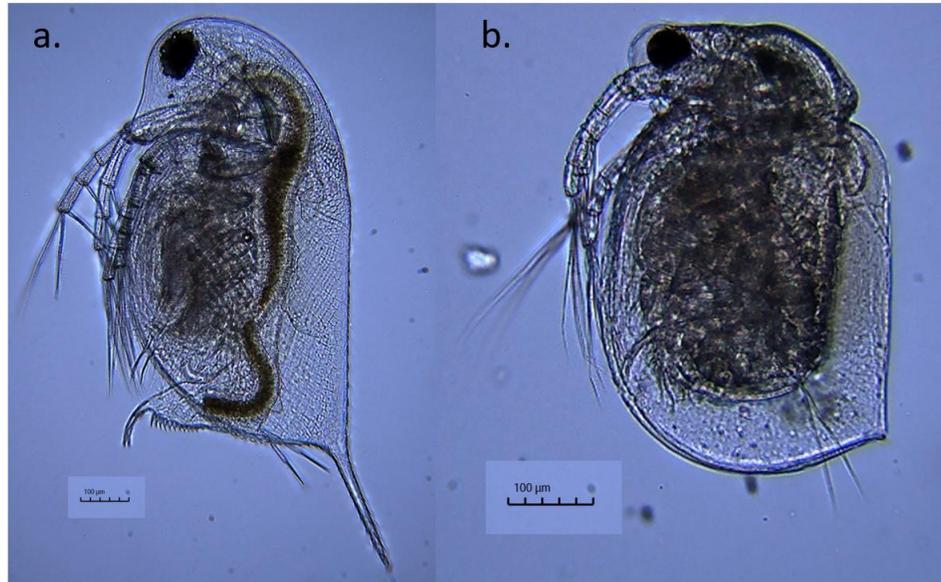


Figura 3. Cladóceros no grávidos ofrecidos como presa: a) *Daphnia pulex* b) *Ceriodaphnia dubia* en la alimentación de *Hydra* sp.

Cultivo de microalga

Se cultivaron las especies de microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* utilizando medio basal BOLD (Borowitzka y Borowitzka, 1988), con iluminación (12 h de luz / 12 h oscuridad) y aireación continua durante 7 días.

Crecimiento poblacional de Hydra sp.

Se colocaron en cada caja Petri de vidrio (Ø 50mm X 10mm) un individuo de *Hydra* en 15 ml de medio de cultivo EPA y se alimentó diariamente con hembras no grávidas de las especies *D. pulex* y *C. dubia* por separado. Se realizaron tratamientos con las dos especies por separado con densidades de 3, 6 y 12 individuos como alimento con 4 repeticiones cada tratamiento. Se alimentó a *Hydra* con las diferentes densidades de las presas cada 24 horas durante 15 días y se cambió el medio EPA diariamente. Los nuevos individuos generados por gemación de *Hydra* por día en cada tratamiento no fueron retirados de la caja Petri hasta concluir el experimento.

La tasa de crecimiento poblacional se determinó a partir del número de individuos producidos por gemación por día con la ecuación de Krebs (1985):

N_0 = Densidades de población inicial.

N_t = Densidades de población final.

t = tiempo en días.

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

Tabla de vida de Hydra sp.

Se colocó en cada caja Petri de vidrio (Ø 50mm X 10mm) un individuo de *Hydra* en 15 ml de medio de cultivo EPA y se alimentó diariamente con hembras no grávidas de las especies *D. pulex* y *C. dubia* por separado. Se realizaron tratamientos con las dos especies por separado con densidades de 3, 6 y 12 individuos de alimento con 4 repeticiones cada tratamiento. Se alimentó a *Hydra* con las diferentes concentraciones mediante sustitución de individuos muertos para obtener la misma concentración cada 24 horas durante 30 días y se realizó cambio de medio EPA diario. Se contaron los individuos generados por gemación de *Hydra* por día en cada tratamiento y fueron contados diariamente y retirados de las cajas Petri hasta concluir el experimento.

A partir de los datos obtenidos en el experimento durante 30 días, se calculó la supervivencia y fecundidad y los parámetros de tabla de vida con las fórmulas propuestas por Krebs (1985):

Promedio de vida

l_x = Proporción de organismos que sobreviven al inicio del intervalo x.

$$= \sum_0^{\infty} l_x^{\infty}$$

Esperanza de vida

e_x = Esperanza promedio de vida para los organismos que están vivos al comienzo del periodo de edad x .

T_x = Sumatoria de número de individuos vivos en promedio, durante el intervalo de edad.

n_x = Número de individuos al inicio del intervalo de edad x .

$$e_x = \frac{T_x}{n_x}$$

Tasa Reproductiva bruta

m_x = Proporción de hembras nacidas en el intervalo de tiempo x .

$$= \sum_0^{\infty} m_x$$

Tasa Reproductiva neta

R_0 = Índice de multiplicación por generación o promedio del número de descendientes por hembra.

$$= \sum_0^{\infty} l_x m_x$$

Tiempo generacional

T = Duración promedio de una generación o periodo promedio que transcurre entre el nacimiento de la hembra progenitora y la descendencia.

$$T = \frac{\sum l_x m_x x}{R_0}$$

Tasa de consumo de presa por Hydra sp.

Se determinó a partir de las dietas de 3, 6 y 12 3 ind. día⁻¹ de las especies *D. pulex* y *C. dubia* derivadas del crecimiento poblacional de *Hydra* sp. con las cuatro réplicas y las mismas condiciones controladas. Las presas se introdujeron en una caja Petri de vidrio (Ø 50mm X 10mm) con 15 ml de medio EPA y las presas no consumidas en 24 horas fueron removidas, cuantificadas y repuestas para tener el número de presa diario de acuerdo a la dieta. Basado en la diferencia entre el valor inicial y la densidad final de presas, se calculó el porcentaje de presa consumido por el depredador *Hydra* sp.

Para el análisis de los datos obtenidos se realizó una prueba ANDEVA de un factor y un análisis de *post-hoc* de Tukey. La realización de las figuras gráficas y estadísticos se llevaron a cabo con el programa Sigma Plot 11.0. y las fotografías fueron tomadas con una lente NIKON SMZ 645 y cámara fotográfica de celular.

Resultados

Se ofrecieron cladóceros sin huevos de diferente talla en la experimentación con las diferentes densidades de dieta (Tabla1), obteniendo la tasa de consumo de presa seleccionada por el pólipo de *Hydra* sp. (Tabla 2).

Tabla 1. Medidas del zooplancton utilizado en las diferentes dietas experimentales en la alimentación de *Hydra* sp.

Especies presas (μm)		Tamaño mínimo	Tamaño máximo	Tamaño promedio	Desviación estándar
<i>C. dubia</i>	largo	379.62	619.13	480.11	63.73
	ancho	239.00	429.46	316.77	61.41
<i>D. pulex</i> (con espina)	largo	866.75	1498.44	1113.82	171.19
	ancho	370.67	649.24	484.22	77.01

Tabla 2. Porcentaje de consumo de presas por *Hydra* sp. durante 15 días; promedios de cuatro réplicas.

Especies presas	Densidad de alimento	Presas consumidas durante el experimento	Presas totales al final del experimento	Porcentaje de consumo (%)
<i>C. dubia</i>	3 ind. día ⁻¹	37	45	82.77
	6 ind. día ⁻¹	67	90	73.88
	12 ind. día ⁻¹	101	180	55.97
<i>D. pulex</i>	3 ind. día ⁻¹	44	45	96.66
	6 ind. día ⁻¹	75	90	83.33
	12 ind. día ⁻¹	153	180	85.00

La tasa de consumo de *Hydra* sp. se vio afectada por las diferentes densidades de cada presa. En este experimento al utilizar *C. dubia* como presa se ve una relación inversamente proporcional a la densidad. Es decir, a una mayor densidad de *C. dubia* como presa existe una menor tasa de consumo por parte de *Hydra* sp. Por otra parte, la tasa de consumo de *Hydra* sp. con la presa *D. pulex*, existe una relación independiente con la densidad de presa.

Crecimiento poblacional de *Hydra* sp. con la presa *Ceriodaphnia dubia*

Cuando se ofreció la presa *C. dubia* a una densidad de 3 ind. día⁻¹, el crecimiento de la población de *Hydra* comenzó a aumentar de manera lenta pero continuamente sin observarse mortalidad en los frascos de prueba. La densidad de población máxima de *Hydra* al momento de finalizar la experimentación fue de $2,75 \pm 0,088$ ind. 15 ml⁻¹ (Figura 4) (Anexo 1).

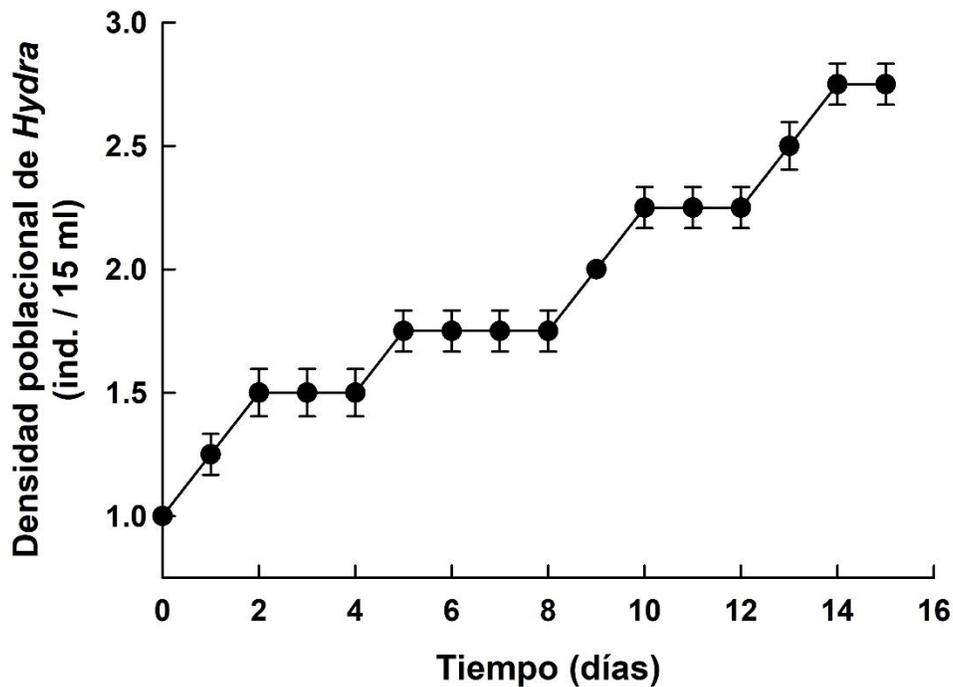


Figura 4. Crecimiento poblacional asexual de *Hydra* sp. alimentado con 3 individuos de *Ceriodaphnia dubia* por día durante 15 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Por otra parte, al ofrecer la densidad de presa de 6 ind. día⁻¹, el crecimiento de la población de *Hydra* comenzó a aumentar de manera continua sin presentar mortalidad en las diferentes pruebas. La densidad de población máxima de *Hydra* al momento de finalizar la experimentación fue 4 ind. 15 ml⁻¹ (Figura 5) (Anexo 1).

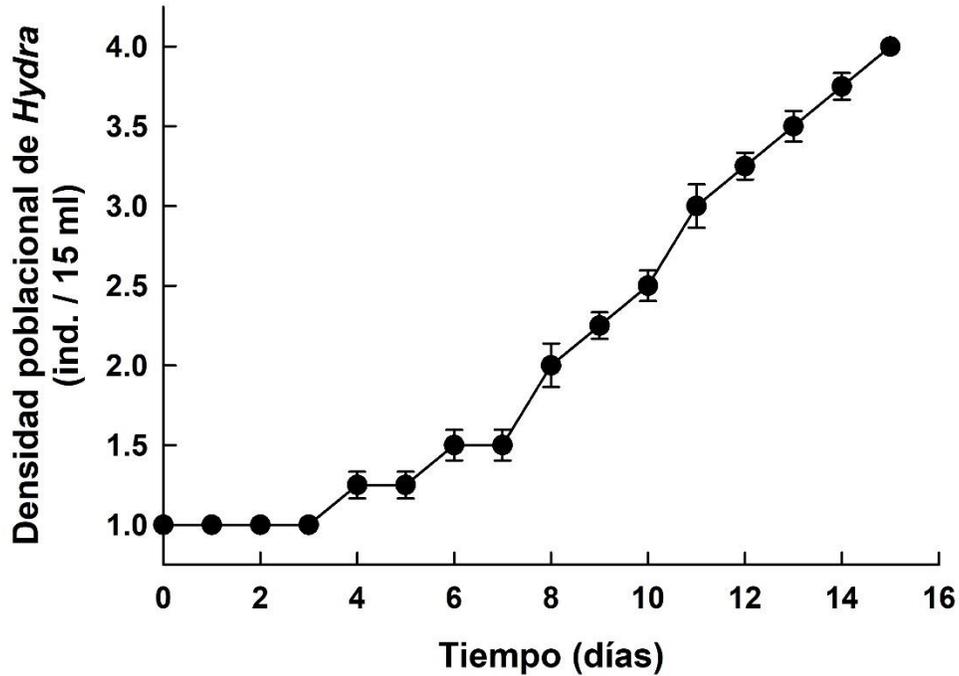


Figura 5. Crecimiento poblacional asexual de *Hydra* sp. alimentado con 6 individuos de *Ceriodaphnia dubia* por día durante 15 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Finalmente, con la densidad de presa correspondiente a 12 ind. día⁻¹, el crecimiento de la población de *Hydra* comenzó a aumentar de manera continua sin presentar mortalidad en las diferentes pruebas. La densidad de población máxima de *Hydra* al momento de finalizar la experimentación fue de 4.25 ± 0 ind. 15 ml⁻¹ (Figura 6) (Anexo 1).

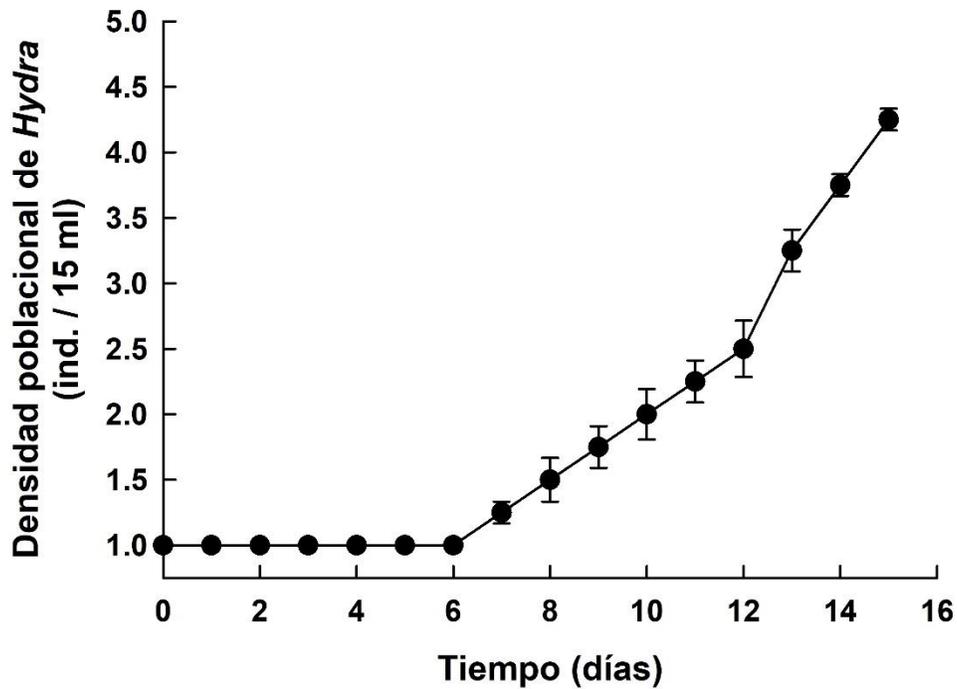


Figura 6. Crecimiento poblacional asexual de *Hydra* sp. alimentado con 12 individuos de *Ceriodaphnia dubia* por día durante 15 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Se realizó un ANOVA de un factor para comparar si existen diferencias significativas en el crecimiento poblacional con diferentes densidades de *C. dubia*, observando que no existen diferencias entre ellas ($P=0.056$) (Figura 7) (Anexo 2 y 3).

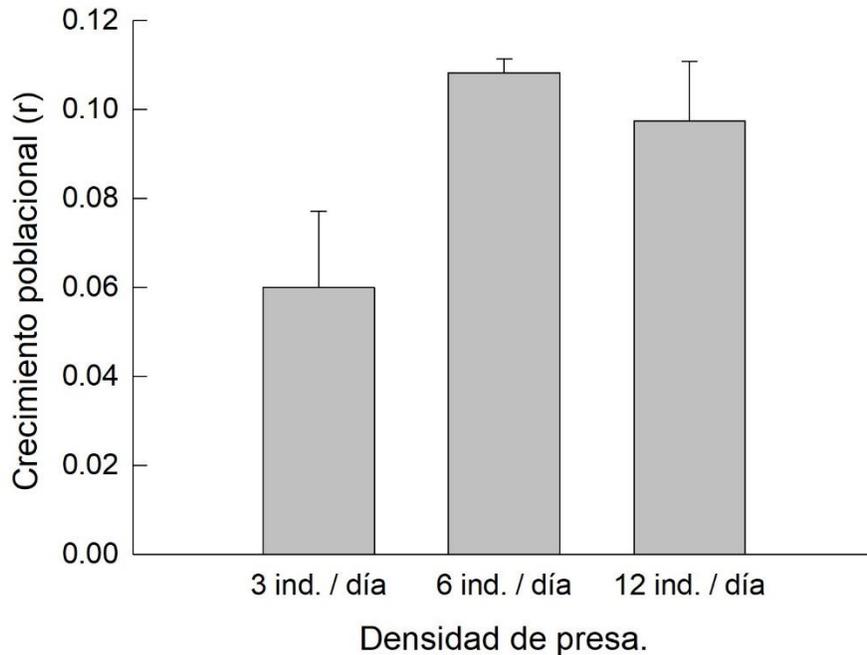


Figura 7. Crecimiento poblacional (r) de *Hydra* sp. con dieta de *C. dubia* durante 15 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Día máximo de abundancia

Por otra parte, el día máximo de abundancia se determinó mediante un ANOVA de un factor para comparar si existen diferencias significativas entre los días máximos de abundancia en cada tratamiento observando que existe una diferencia entre ellas ($P=0.025$) (Tabla 4).

El análisis de *post-hoc* de Tukey mostró que hay diferencia significativa ($P<0.050$) entre la densidad de 6 ind. día⁻¹ y 3 ind. día⁻¹ de *C. dubia* como presa, en comparación con las otras densidades de presa que no mostraron diferencias significativas entre ellas (Tabla 5).

Tabla 4. ANOVA de un factor entre los diferentes días máximos de abundancia de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *C. dubia* como alimento.

Fuente de Variación	GL	SC	PSM	F	P
Densidad de presa	2	3.50	1.75	5.727	0.025
Error	9	2.75	0.306		
Total	11	6.25			

Tabla 5. Análisis de *post-hoc* de Tukey entre los diferentes días máximos de abundancia de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *C. dubia* como alimento.

Comparación entre densidades	Diferencias de medias	P	q	P	P<0.050
6 ind. día ⁻¹ vs. 3 ind. día ⁻¹	1.250	3	4.523	0.027	Sí
6 ind. día ⁻¹ vs. 12 ind. día ⁻¹	1.000	3	3.618	0.072	No
12 ind. día ⁻¹ vs. 3 ind. día ⁻¹	0.250	3	0.905	0.803	No

Crecimiento poblacional de *Hydra* sp. con la presa *Daphnia pulex*

Cuando se ofreció la presa *D. pulex* a una densidad de 3 ind. día⁻¹, el crecimiento de la población de *Hydra* comenzó a aumentar de manera lenta pero constante sin observarse mortalidad en los frascos de prueba. La densidad de población máxima de *Hydra* al momento de finalizar la experimentación fue de 3.75 ± 0 ind. 15 ml⁻¹ (Figura 8) (Anexo 4)

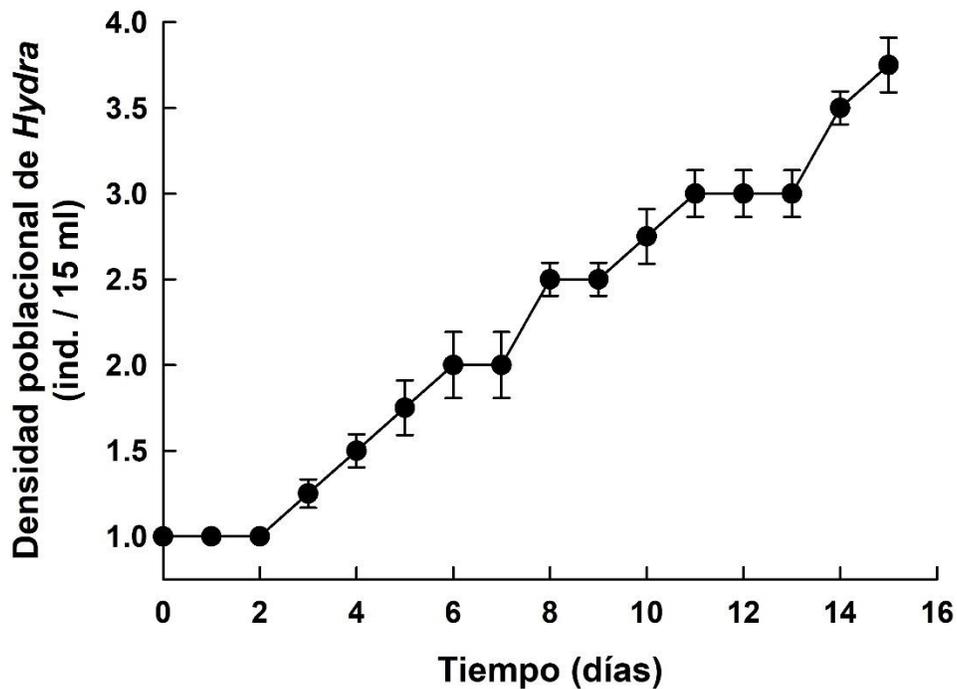


Figura 8. Crecimiento poblacional de asexual *Hydra* sp. alimentado con 3 individuos de *Daphnia pulex* por día durante 15 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Con la densidad de presa correspondiente a 6 ind. día⁻¹, el crecimiento de la población de *Hydra* sp. comenzó a aumentar rápidamente en comparación con las diferentes densidades de presa en el experimento, además no se presentó mortalidad en las diferentes pruebas. La densidad de población máxima de *Hydra* sp. al momento de finalizar la experimentación fue de 3.75 ± 0.16 ind. 15 mL⁻¹ (Figura 9) (Anexo 4)

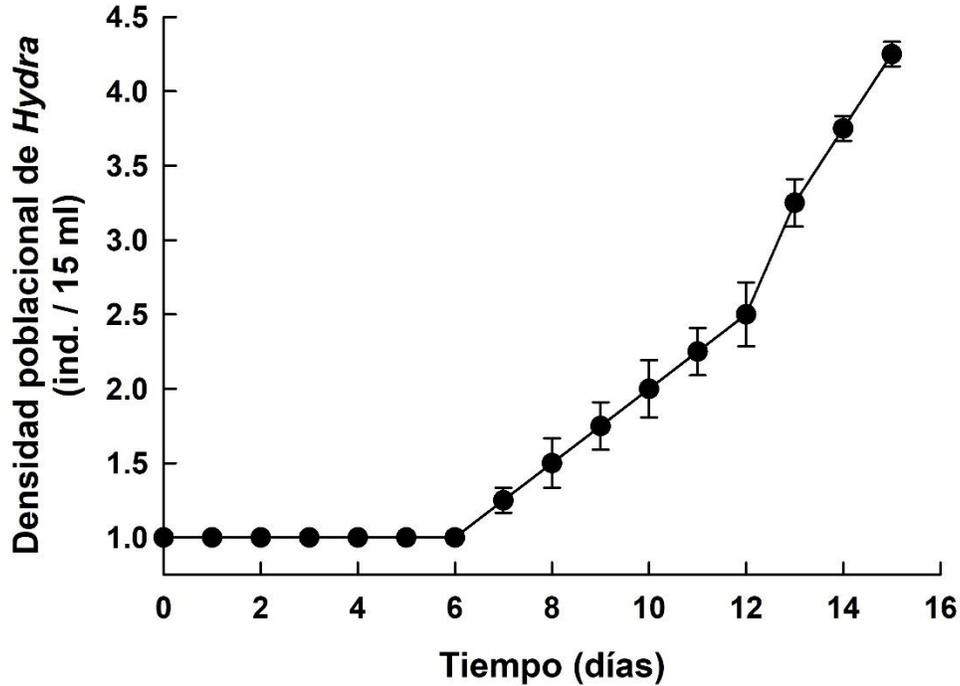


Figura 9. Crecimiento poblacional asexual de *Hydra* sp. alimentado con 6 individuos de *Daphnia pulex* por día durante 15 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Finalmente, al ofrecer la densidad de presa de 12 ind. día⁻¹, el crecimiento de la población de *Hydra* comenzó a aumentar de manera exponencial, sin presentar mortalidad en las diferentes pruebas. La densidad de población máxima de *Hydra* al momento de finalizar la experimentación fue 8.5 ± 0.2887 ind 15 mL⁻¹ (Figura 10), el mayor crecimiento poblacional observado en *Hydra* sp. en este experimento (Anexo 4)

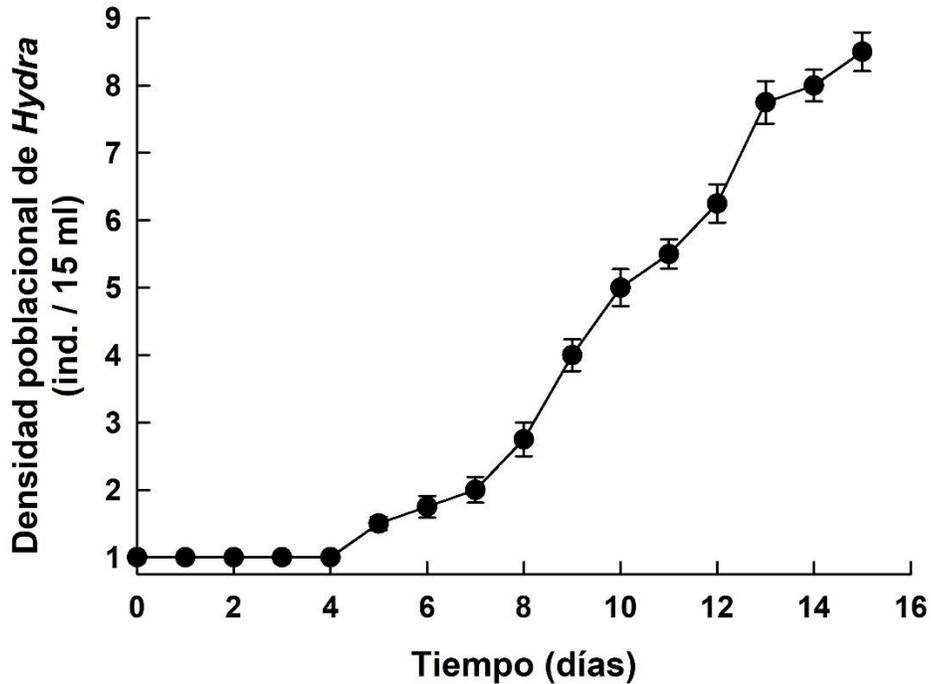


Figura 10. Crecimiento poblacional asexual de *Hydra* sp. alimentado con 12 individuos de *Daphnia pulex* por día durante 15 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Se realizó un ANOVA de un factor (Anexo 2 y 3) para comparar si existen diferencias significativas entre las densidades de *D. pulex*, observando una gran diferencia entre ellas (P 0.022).

El análisis de *post-hoc* de Tukey mostró que hay diferencia significativa (P<0.050) entre la densidad de 12 ind. día⁻¹ y las otras dos dietas de *D. pulex* como presa en comparación con las otras densidades de presa que no mostraron diferencias significativas entre ellas (Figura 11)

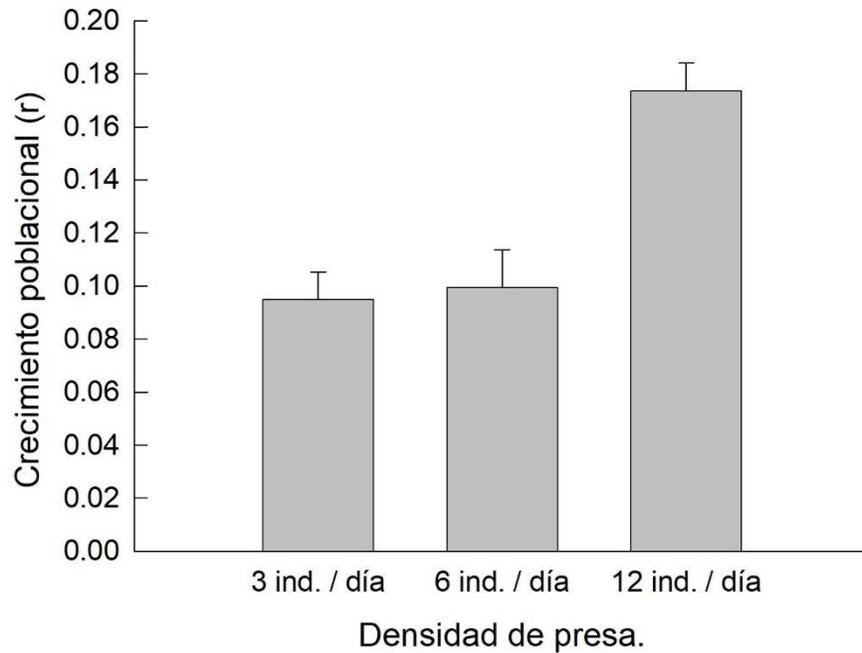


Figura 11. Crecimiento poblacional (r) de *Hydra* sp. con dieta de *D. pulex* durante 15 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Día máximo de abundancia

Por otra parte, el día máximo de abundancia se determinó mediante un ANOVA de un factor para comparar si existen diferencias significativas entre los días máximos de abundancia de cada tratamiento observando una diferencia significativa entre ellas ($P < 0.001$) (Tabla 6).

El análisis de *post-hoc* de Tukey mostró que hay diferencia significativa ($P < 0.050$) entre las tres densidades de *D. pulex* como presa (Tabla 7).

Tabla 6. ANOVA de un factor entre los diferentes días máximos de abundancia de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento.

Fuente de Variación	GL	SC	PSM	F	P
Densidad de presa	2	54.5	27.25	19.62	<0.001
Error	9	12.5	1.389		
Total	11	67.0			

Tabla 7. Análisis de *post-hoc* de Tukey entre los diferentes días máximos de abundancia de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento.

Comparación entre densidades	Diferencia de medias	p	q	P	P<0.050
12 ind. día ⁻¹ vs. 3 ind. día ⁻¹	4.750	3	8.061	<0.001	Si
3 ind. día ⁻¹ vs. 6 ind. día ⁻¹	4.250	3	7.212	0.002	Si
6 ind. día ⁻¹ vs. 3 ind. día ⁻¹	0.500	3	0.849	0.824	No

Tabla de Vida de *Hydra* sp.

Promedio de vida

El promedio de vida de *Hydra* sp. fue independiente entre cada especie de cladóceros utilizado como presa y la densidad de alimento. No se mostró ninguna muerte de los pólipos de *Hydra* sp. durante la experimentación. La tendencia se observó similar a la esperanza de vida (Anexo 5).

Esperanza de vida

La esperanza de vida se mantuvo constante sin mostrar ningún cambio significativo a lo largo de 30 días con las diferentes dietas de especies de cladóceros utilizados y la densidad en la alimentación de *Hydra* sp. (Anexo 5).

Tiempo generacional

El tiempo generacional de *Hydra* sp. fue diferente en cada uno de los tratamientos con un valor entre 16.94 y 20.19 días; donde el tiempo generacional con la dieta de 3 ind. día⁻¹ de *C. dubia*, es similar a la dieta de 12 ind. día⁻¹ con *D. pulex* (20.15 días). El tratamiento que obtuvo un tiempo generacional menor fue la dieta de 12 ind. día⁻¹ de *C. dubia* (Figuras 12 y 13) (Anexo 5).

Se realizó un ANOVA de un factor para comparar si existen diferencias significativas entre los tiempos generacionales con la dieta de *C. dubia* y *D. pulex* observando que existe una diferencia entre ellas ($P < 0.001$). El análisis *post-hoc* de Tukey ($P < 0.050$) mostró que en la dieta con *C. dubia* no existen diferencias entre la densidad de 6 ind. día⁻¹ y 12 ind. día⁻¹. En las dietas con *D. pulex* no se mostró diferencias entre las densidades de 6 ind. día⁻¹ y 3 ind. día⁻¹ (Anexo 6).

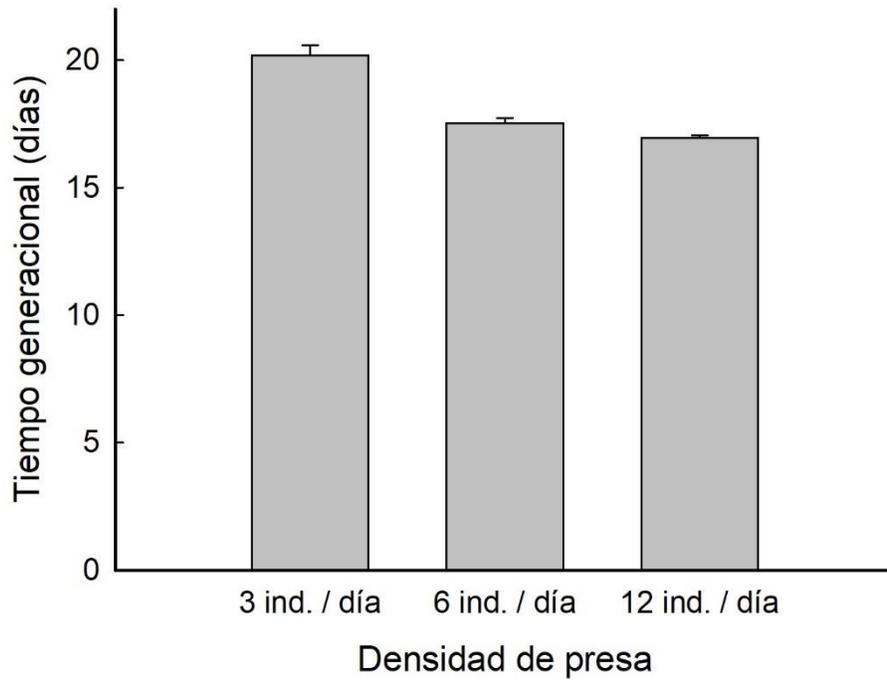


Figura 12. Tiempo generacional de *Hydra* sp. con dieta de *C. dubia* durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

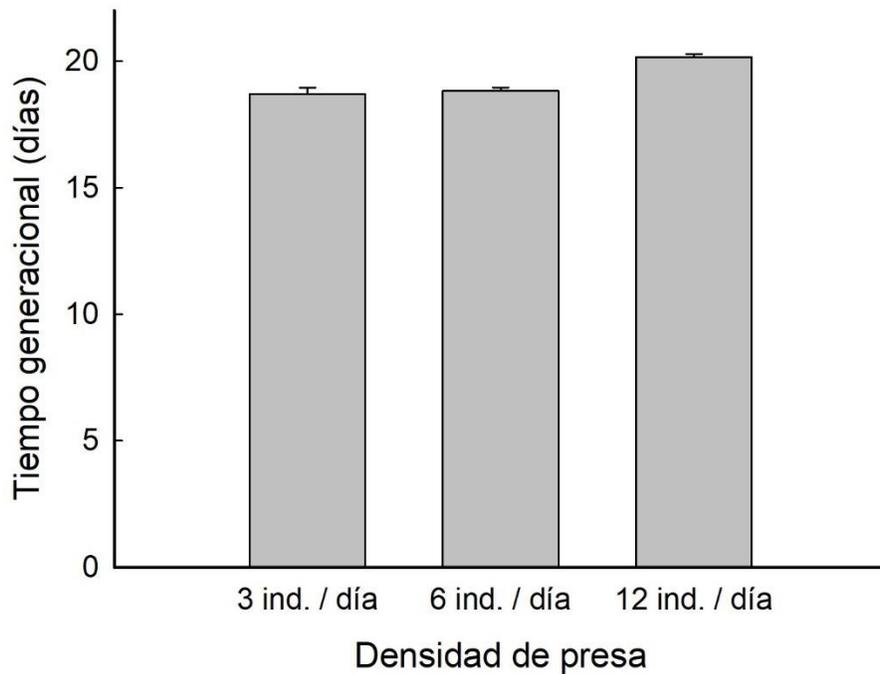


Figura 13. Tiempo generacional de *Hydra* sp. con dieta de *D. pulex* durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Tasa reproductiva neta con la presa *Ceriodaphnia dubia*

La tasa reproductiva neta de *Hydra* sp. con las diferentes dietas de *C. dubia* como alimento posee pocas diferencias entre cada una de ellas. La tasa reproductiva neta de *Hydra* sp. con la dieta de 3 ind. día⁻¹ comienza a partir del día 10, siendo fluctuante a lo largo de 30 días, siendo el día 14 la mayor producción de neonatos con 0.75 y una producción total de 4 ± 0.88 descendientes/*Hydra*/día (Figura 14) (Anexo 7).

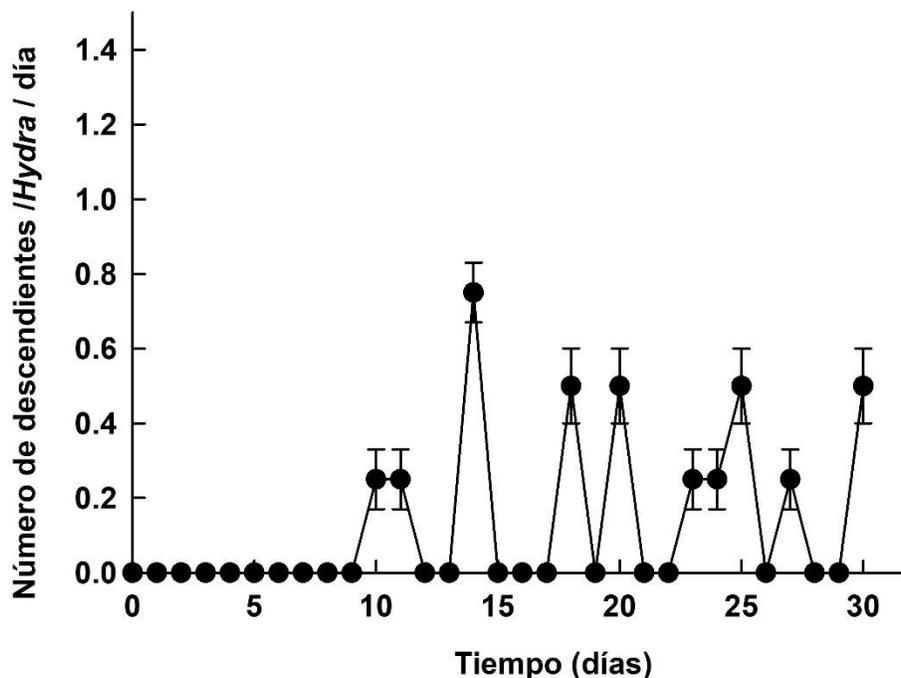


Figura 14. Tasa reproductiva neta (m_x) (descendientes/*Hydra*/día) de *Hydra* sp. alimentado con 3 individuos de *Ceriodaphnia dubia* por día durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Por otra parte, la tasa reproductiva neta de *Hydra* sp. con la dieta de 6 ind. día⁻¹ comienza a partir del día 9, siendo variable a través a de los 30 días, donde el día 10 se obtuvo la mayor producción de neonatos (0.75) (Figura 15). La tasa reproductiva fue de 4.5 ± 1.12 descendientes/*Hydra*/día, una diferencia de 0.5 a la dieta anterior (Anexo 7).

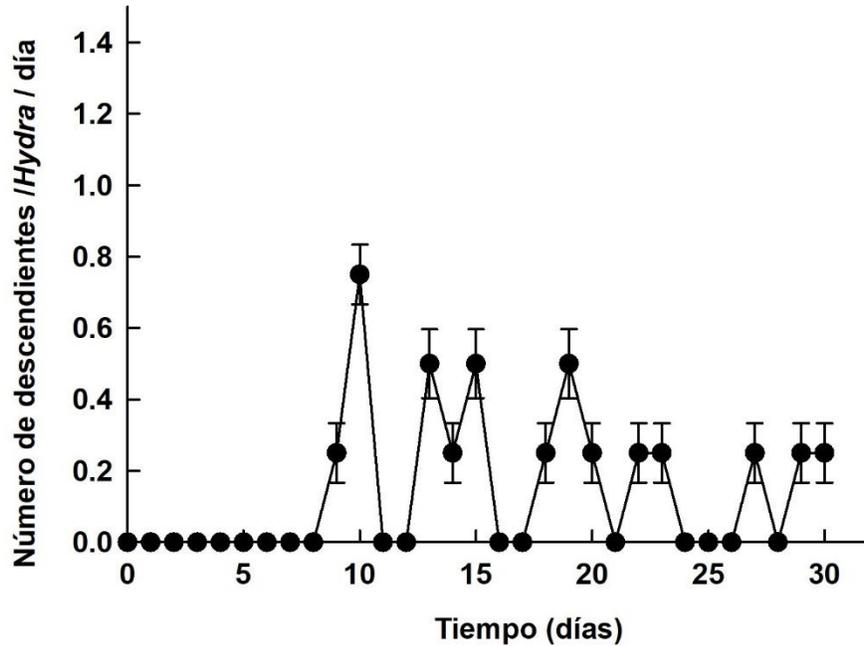


Figura 15. Tasa reproductiva neta (m_x) (descendientes/*Hydra*/día) de *Hydra* sp. alimentado con 6 individuos de *Ceriodaphnia dubia* por día durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

En comparación con las anteriores dos dietas, la tasa reproductiva neta de *Hydra* sp. con 12 ind. día⁻¹ es una diferencia de 0.75 descendientes/*Hydra*/día siendo fluctuante a lo largo de 30 días, comenzando a partir del día seis. La tasa reproductiva neta fue 4.755 ± 0.97 descendientes/*Hydra*/día, (Figura 16) donde los días 13 y 24 se obtuvo la mayor tasa reproductiva con 0.75. (Anexo 7)

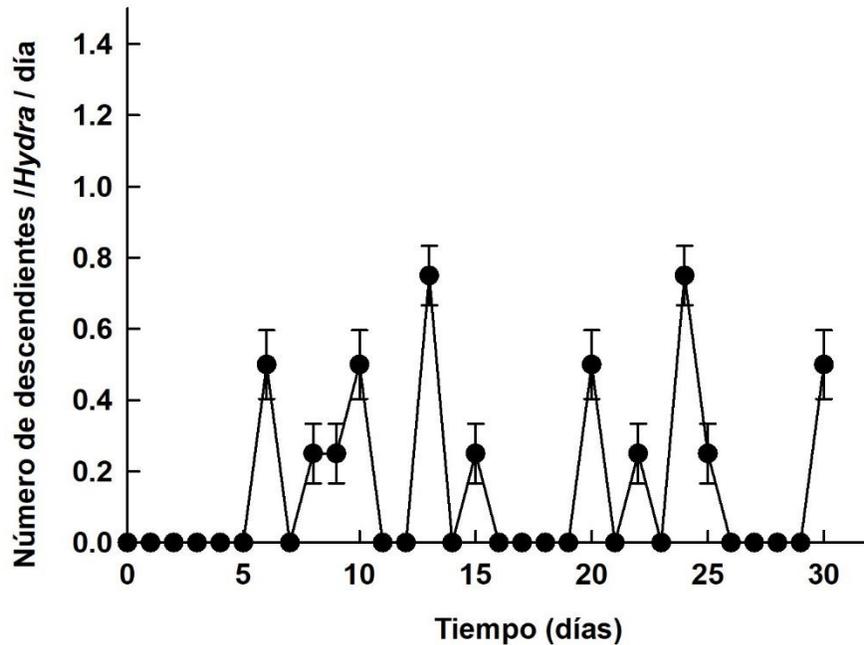


Figura 16. Tasa reproductiva neta (m_x) (descendientes/*Hydra*/día) de *Hydra* sp. alimentado con 12 individuos de *Ceriodaphnia dubia* por día durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Tasa reproductiva bruta con la presa *Ceriodaphnia dubia*

La tasa de reproducción bruta (Anexo 5) fue más alta con la densidad de presa de 12 ind. día⁻¹ con 19 individuos de *Hydra* sp. a lo largo del experimento, seguida por la densidad de 6 ind. día⁻¹ con 18 individuos y finalmente con 16 individuos de *Hydra* sp. la densidad de presa correspondiente a 3 ind. día⁻¹ (Figura 17).

Se determinó mediante un ANOVA de un factor para comparar si hay diferencias significativas entre las densidades de alimento, observando que no existe una diferencia entre ellas ($P= 0.653$) (Anexo 8).

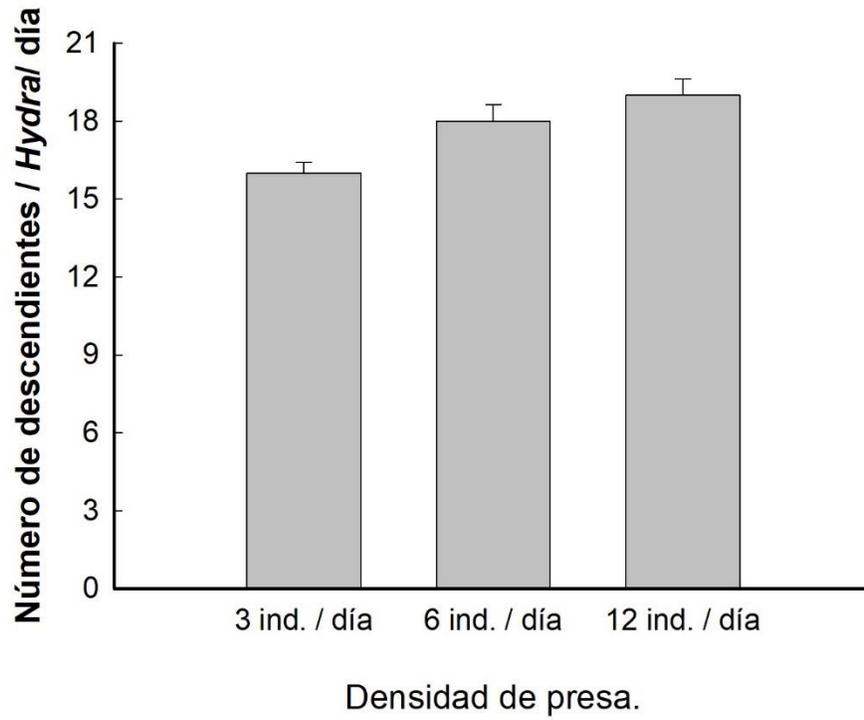


Figura 17. Tasa reproductiva bruta de *Hydra sp.* con las diferentes densidades de *C.dubia* durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Tasa reproductiva neta con la presa *Daphnia pulex*

En la tasa de reproducción neta de *Hydra* sp. con las diferentes dietas de *D. pulex* como alimento se puede observar una diferencia entre cada una de las dietas (Figura 18). La tasa reproductiva con la dieta de 3 ind. día⁻¹ a través de 30 días es oscilante con una tasa reproductiva neta de 7.5 ± 1.58 descendientes/*Hydra*/día, comenzando desde el día cuatro del inicio del experimento. En este experimento se obtuvo la mayor tasa de reproducción los días 12, 16 y 21 con 0.75 respectivamente (Anexo 9).

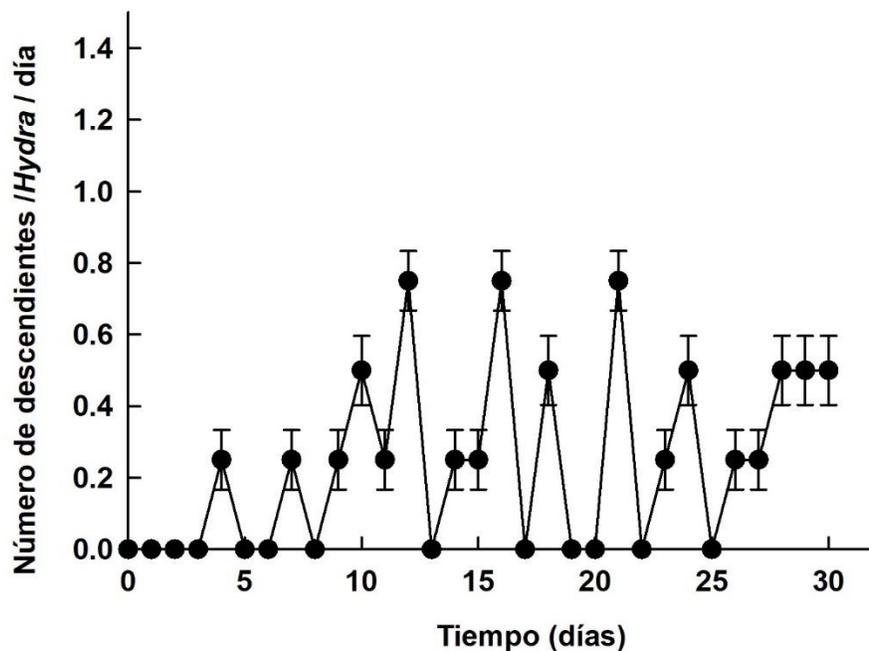


Figura 18. Tasa reproductiva neta (m_x) (descendientes/*Hydra*/día) de *Hydra* sp. alimentado con 3 individuos de *Daphnia pulex* por día durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

En cambio, la dieta con 6 ind. día⁻¹ muestra que la tasa reproductiva neta de *Hydra* sp. fue de 10.25 ± 1.69 descendientes/*Hydra*/día, a lo largo de 30 días, comenzando a partir del día ocho (Figura 19). En este tratamiento, los días 10 y 14 se generó 1

descendientes/*Hydra*/día. Además, mostró una diferencia con la dieta anterior de 2.75 descendientes/*Hydra*/día. (Anexo 9).

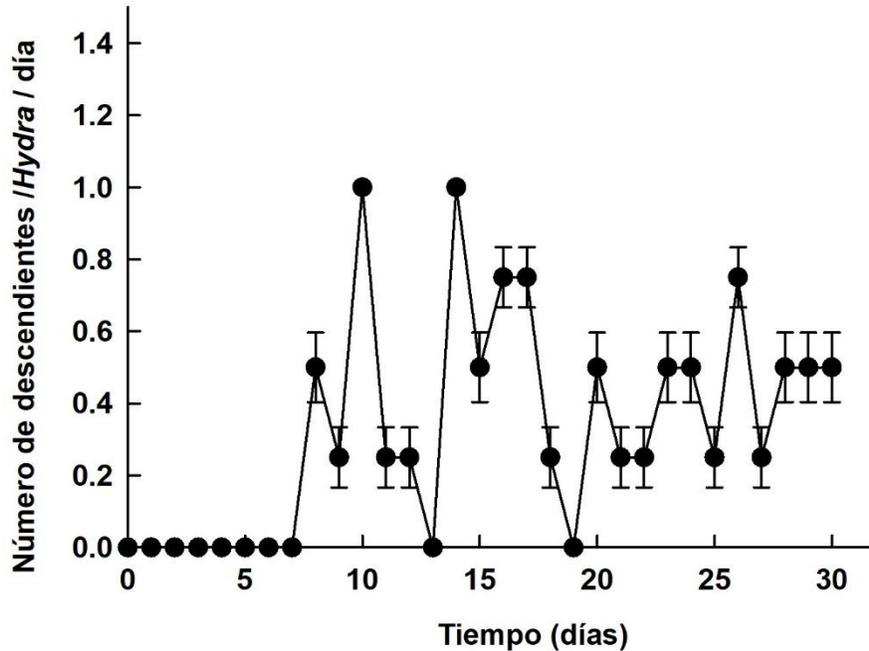


Figura 19. Tasa reproductiva neta (m_x) (descendientes/*Hydra*/día) de *Hydra* sp. alimentado con 6 individuos de *Daphnia pulex* por día durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Por otra parte, en la tasa reproductiva neta de *Hydra* sp. con la dieta de 12 ind. día⁻¹ se observa la mayor tasa reproductiva de todos los tratamientos de este experimento, con una tasa reproductiva neta de 13.75 ± 1.64 descendientes/*Hydra*/día durante 30 días, en la cual se puede observar que en este tratamiento se generaron más individuos que en otros tratamientos de este experimento, siendo los días 11, 14, 16, 22, 26 y 27 cuando *Hydra* sp. generó 1 descendientes/*Hydra*/día, siendo particularmente el día 16 la mayor tasa reproductiva con 1.25 descendientes/*Hydra*/día (Figura 20) (Anexo 9).

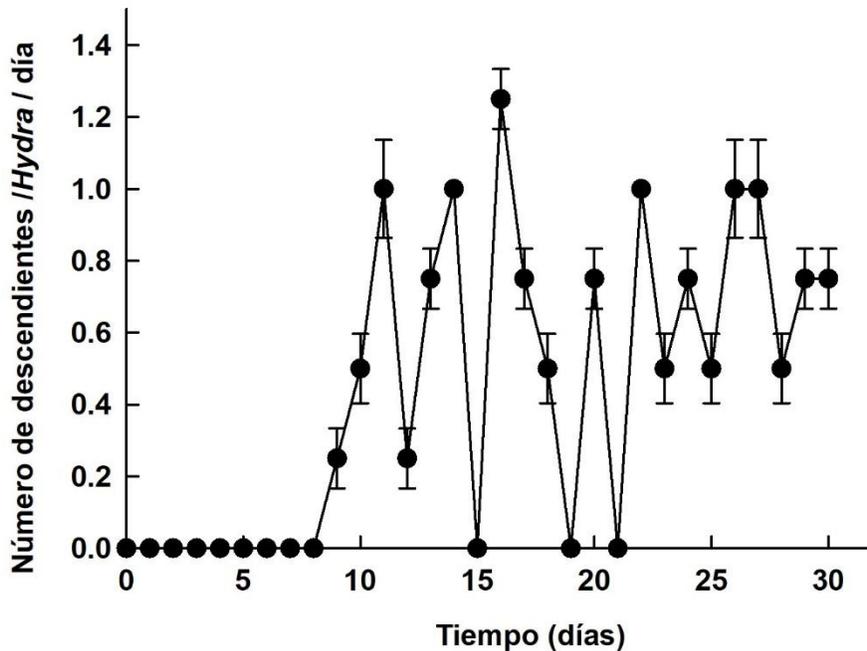


Figura 20. Tasa reproductiva neta (m_x) (descendientes/*Hydra*/día) de *Hydra* sp. alimentado con 12 individuos de *Daphnia pulex* por día durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Tasa reproductiva bruta con la presa *Daphnia pulex*

La tasa de reproducción bruta (Anexo 5) fue más alta con la densidad de presa de 12 ind. día⁻¹ con 55 individuos de *Hydra* sp. a lo largo del experimento, seguido por la densidad de 6 ind. día⁻¹ con 41 individuos y finalmente con 30 individuos de *Hydra* sp. la densidad de presa correspondiente a 3 ind. día⁻¹ (Figura 21).

Se determinó mediante un ANOVA de un factor para comparar si existen diferencias significativas entre las densidades de alimento, observando que sí existe diferencia entre ellas ($P < 0.001$).

El análisis *post-hoc* de Tukey mostró que en todas las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento para *Hydra* sp. existen diferencias significativas ($P < 0.050$) (Anexo 10).

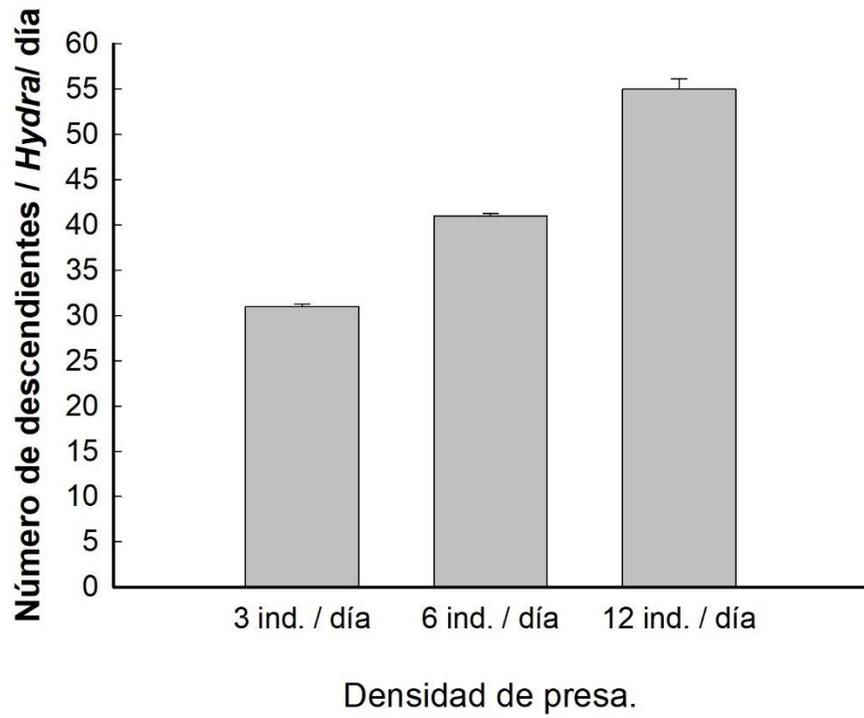


Figura 21. Tasa reproductiva bruta de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *D. pulex* durante 30 días. Se muestran los valores promedio de 4 réplicas \pm error estándar.

Discusión

En México, existen lagos tropicales de alta montaña (lagos fríos polimíctico). Por la localización geográfica latitudinal del sitio de estudio, “Presa del Llano” (19° 39’ 37” N y 99° 30’ 24” O) podría ser clasificado como un cuerpo de aguas tropicales. Sin embargo, las variaciones climáticas ocasionadas por la altitud modifican las características de la temperatura y algunos parámetros físicos y químicos del agua, haciéndolos similares a los lagos de zonas templadas (Aguilar-Acosta, 2013; Frías de la Cruz, 2019).

Hydra oligactis parece tener un amplio rango de óptimos de temperatura (18 y 24°C). Por encima de los 37°C podría verse perjudicado y morir (Bosch et al., 1988). Por otra parte, la baja temperatura inhibe la reproducción asexual temporalmente, pero es capaz de realizar la fase asexual en bajas temperaturas y posteriormente continúa con un periodo de reproducción sexual, sugiriendo que la temperatura es una señal, más que una restricción fisiológica, pudiendo indicar el momento ecológico donde la reproducción sexual es favorable en periodos de otoño (Tökölyi et al., 2017). Por lo tanto, la metodología sugerida favorece un crecimiento de manera asexual sin mostrar señales que indiquen el inicio de la reproducción sexual.

En condiciones ambientales naturales, la tasa de crecimiento (r) de una población puede verse fuertemente afectada por factores intrínsecos de la población (estructura de edad, sexo, composición genética) o condiciones ambientales adversas. En condiciones de laboratorio es posible eliminar algunos factores que interfieren con la capacidad natural del crecimiento poblacional (Massaro y Rocha, 2008). Aquí, en el presente trabajo, se mantuvieron las cepas de *Hydra* y cladóceros en condiciones de laboratorio a temperatura constante ($18 \pm 2^\circ\text{C}$) y se modificaron las condiciones de calidad y cantidad de alimento en ambas especies. Dando como resultado la modificación en la tasa de crecimiento poblacional (r) del pólipo de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de presas como alimento.

En condiciones de laboratorio, Martínez (1998) menciona que una *Hydra* es capaz de producir 448 ± 63 individuos en 4 años. Además, otros géneros de *Hydra* han mostrado una capacidad adaptativa a los cultivos de laboratorio, como *H.*

magnipapillata e *H. vulgaris*, las cuales pueden mantener tasas de fertilidad y supervivencia durante un periodo de 8 años (Schaible et al., 2015). De igual manera, *H. vulgaris* es capaz de realizar la reproducción en fase asexual durante 4 años sin mostrar cambios en la mortalidad o función reproductiva. Por otra parte, Kaliszewicz (2018) menciona que *Hydra* puede alcanzar densidades de hasta 430,000 individuos en 100 g de macrófitos, mientras que Elliot et al. (1997) determinó que existen alrededor de $9,738 \pm 3,127$ individuos de *Hydra* por m² de la macrófita *Myriophyllum spicatum*. En este trabajo, la mayor producción de individuos de *Hydra* correspondió a la densidad de presa 12 ind. día⁻¹ con la especie *D. pulex* con un valor de 55 descendientes/*Hydra* durante 30 días. Mientras que la menor tasa de producción de individuos de *Hydra* fue la densidad de presa 3 ind. día⁻¹, con la especie *C. dubia* con un valor de 16 descendientes/*Hydra* durante 30 días.

Los pólipos de *Hydra* pueden producir individuos constantemente debido a la proliferación de células madre epiteliales e intersticiales en toda la columna del cuerpo, sin embargo, los pólipos no incrementan de talla, ya que estas células son utilizadas en la gemación de la reproducción asexual (David et al., 2005). En condiciones de altas densidades, los individuos optan por continuar con la reproducción asexual, o bien aumentar su inversión en auto mantenimiento, mejorando las perspectivas de supervivencia hasta que sean favorables para la reproducción (Sebestyén et al., 2017). Diversos autores han reportado tasas de crecimiento en diversas especies de *Hydra*. Así, se han registrado valores de *Hydra viridissima* de r de 0.0468, o de *H. magnipapillata* valores de r de 0.06 a 0.26 (Massaro y Rocha, 2008). También la tasa de reproducción obtenida por Rosa et al. (2015) con valores entre 0.31 y 0.65 yemas/*Hydra*/día. Sebestyén et al. (2017) obtuvo un crecimiento de *Hydra* de 0.054 a 0.264 ind. /2 días, de igual manera Lee et al. (2020) reportaron una tasa de reproducción (N/N_0) en *H. oligactis* de 2.3 a 3.2 individuos y 4.8 individuos en *H. viridissima*. De esta manera, los organismos de prueba usados en este experimento que fueron alimentados con densidades de 3 a 12 ind. día⁻¹ de dos presas diferentes durante 15 días, mostraron valores de r entre 0.0599 a 0.1735, estando dentro de los parámetros obtenidos por los autores mencionados anteriormente.

Las poblaciones de organismos experimentan mortalidad a medida que aumenta la edad de la población. Por lo tanto, la tasa reproductiva bruta siempre es más alta que la tasa reproductiva neta. Esto se debe a que la tasa reproductiva bruta no tiene en cuenta la mortalidad específica por edad de la población, mientras que la tasa reproductiva neta es el producto de la supervivencia proporcional de adultos y la tasa reproductiva bruta. Bridge y Martínez (2012) mencionan que *Hydra* no presenta ninguna mortalidad de los pólipos durante el periodo de su experimento. En el caso de los pólipos de *Hydra*, las tasas reproductivas brutas y netas son similares y en este trabajo, por lo tanto, la tasa reproductiva se consideró como tasa reproductiva neta.

En este experimento, no se encontró ningún pólipo de *Hydra* sp. sin vida, la mayoría de los tratamientos con las diferentes presas continuaron la reproducción asexual, sin embargo, las dietas con una densidad de 3 ind. día⁻¹ en ambas especies de presas (*C. dubia* y *D. pulex*) mostraron una menor tasa de crecimiento poblacional ($r = 0.0599$ y $r = 0.0948$) y una menor tasa reproductiva (4 ± 0.88 y 7.5 ± 1.58 descendientes/*Hydra*) respectivamente, en comparación con el resto de los tratamientos. El mayor crecimiento poblacional registrado corresponde a la dieta de 12 ind. día⁻¹ con la especie *D. pulex* ($r = 0.1735$). En cuanto a la densidad de 6 ind. día⁻¹ con la presa de *C. dubia*, se determinó que hay una mejor eficiencia de las variables demográficas de *Hydra* evaluadas con esta dieta durante 15 días ($r = 0.1082$). Respecto a las tasas reproductivas, la dieta de *C. dubia* obtuvo valores entre 0 y 0.75 descendientes/*Hydra*/día. En contraparte, la dieta con *D. pulex* mostró valores entre 0 y 1.25 descendientes/*Hydra*/día durante los 30 días del experimento.

Sebestyén et al. (2017) hacen mención que en alta disponibilidad de recursos alimentarios, la reproducción y el auto-mantenimiento pueden ser maximizados simultáneamente y en condiciones experimentales *Hydra* produce pocas yemas, incluso en todos los regímenes de alimentación, proponiendo que la división celular ocurre incluso en bajas densidades, haciendo compensaciones entre los rasgos de vida que contribuyen a la supervivencia y la reproducción, siendo procesos clave en la evolución de las historias de vida. Durante el experimento se le proporcionó alimento a *Hydra* sp. diariamente favoreciendo la reproducción asexual aún en todos

los regímenes de alimentación (3, 6, 12 ind. día⁻¹) sin observarse las fases que indican el inicio de la reproducción sexual.

A niveles bajos de alimento, ocurre una reducción en la tasa de reproducción asexual y una menor tolerancia al estrés (Rosa et al., 2015). Posteriormente, el pólipo reduce su tamaño y utiliza como fuente de alimento células muertas de la apoptosis, al igual que realiza la autofagia, sobreviviendo a niveles bajos de alimento o periodos de inanición durante varios días. El tamaño de un pólipo de *Hydra*, el tamaño de su descendencia y su tasa de reproducción depende de la ingesta de alimentos, una vez que alcanza su talla máxima y al existir una alimentación constante, las células madre producidas serán utilizadas para la gemación (reproducción asexual), así como para el auto mantenimiento que influye directamente en la supervivencia (Schaible et al., 2011). En cambio, durante la reproducción sexual, el desarrollo de células germinales de *Hydra* depende de la actividad de las células madre intersticiales, por lo tanto, una mayor producción de estas células germinales reduce la diferenciación de células madre multipotentes en posibles células epiteliales, células madre intersticiales y derivados somáticos (nematocitos, células nerviosas y células glandulares) (Tökölyi et al., 2017).

En la reproducción sexual de *H. oligactis*, la degeneración post reproductiva podría ser la consecuencia de que las células madre se conviertan en células germinales en lugar de células nematocisto, lo que impide la alimentación efectiva durante todo el ciclo sexual (Reisa, 1973; Tökölyi et al., 2017). En este experimento ningún pólipo de *Hydra* sp. realizó la reproducción sexual y no se mostraron diferencias entre la esperanza de vida y vida media entre las diferentes densidades de presa concluyendo que la tasa de reproducción asexual se ve influenciada principalmente por la temperatura y la disponibilidad de alimento (Yoshida et al., 2006; Schaible et al., 2011; Kaliszewicz, 2013; Sebestyén et al., 2017; Tökölyi et al., 2017).

La *Hydra* es un depredador sésil, por lo que la eficacia de su estrategia es la capacidad de captura y la probabilidad de que la presa se encuentre al alcance de este depredador (Massaro y Rocha, 2008). Las diferencias mecánicas o químicas, la capacidad de detectar, capturar y retener los diferentes grupos de zooplancton podría deberse a (Link, 1997):

- a) Diferencias en la micro distribución.
- b) Diferencias adaptativas de los grupos de zooplancton, como la resistencia de los exoesqueletos ante los nematocistos de *Hydra* o de comportamiento, haciéndolos más vulnerables a la depredación.
- c) Tasa de digestión de *Hydra* puede ser diferente para cada especie de zooplancton.

La selectividad alimentaria de *Hydra* no está relacionada con el tamaño de presa, sino con características como el grosor del caparazón y la eficiencia de natación del zooplancton, que pueden afectar la capacidad de la presa para escapar de la depredación (Massaro y Rocha, 2008). Se ha reportado que un solo individuo de *Hydra littoralis* en condiciones de laboratorio, puede consumir y matar de 2 a 7 larvas de *Culicoides sonorensis* (~5mm) por día (Reeves, 2010). Krajina et al. (2017) describe que *Hydra* tiene una preferencia por presas de menor tamaño como el cladóceros *Bosmina* o el copépodo del género *Cyclops*, de igual manera, Rivera-De la Parra et al. (2016) menciona que *Daphnia pulex* es más probable a un encuentro depredador-presa con *Hydra*. En este estudio, las presas ofrecidas se encuentran dentro de los rangos de tamaño de presa que *Hydra* sp. puede consumir y existe una relación de consumo respecto a la densidad y tamaño de presa.

Massaro et al. (2013) determinó que *H. viridissima* consumió estadios jóvenes de copépodos de las especies *Argyrodiaptomus furcatus* y *Notodiptomus iheringi* (0.27 - 0.68 mm) así como, adultos de *C. silvestrii* (~0.67mm), evitando las especies presa de gran tamaño. En comparación con *H. salmacidis* que es capaz de consumir todos los tamaños de presa. Elliot et al. (1997), menciona que el copépodo *Limnocalanus macrurus* (2.5mm) representa el 86% de la dieta de *Hydra*. Durante este experimento, *Hydra* sp. mostró diferencias en la tasa de consumo con las distintas presas. *Daphnia pulex*, aunque presenta una espina como estructura de defensa y es de gran tamaño (~1.12 mm), en estos resultados obtuvo una selección entre 86 y 97% en la tasa de consumo (entre 44 y 153 individuos durante 15 días). Por lo tanto, estas estrategias de defensa no son efectivas contra la depredación de *Hydra*. Mientras que, *Ceriodaphnia dubia*, aunque carece de una espina y es de

menor tamaño (~0.48 mm) obtuvo una tasa de consumo menor, que fue entre 55 y 83% de selección (entre 37 y 101 individuos durante 15 días).

La disponibilidad de alimento puede ser un factor importante en la distribución y abundancia de *Hydra*. En los diversos cuerpos de agua en el Valle de México, se ha reportado que cladóceros de gran tamaño como el género *Daphnia* spp. son capaces de alcanzar densidades poblacionales de 20 hasta 134 ind. L⁻¹ (Domínguez-Pascual, 2006; Frías de la Cruz, 2019) representando la mayor proporción de biomasa del zooplancton. Mientras que *C. dubia* es un cladóceros de menor tamaño con densidades poblacionales menores (>10 ind. L⁻¹) durante gran parte del año y puede alcanzar un mayor tamaño (600 µm) en primavera y grandes densidades (120 ind. L⁻¹) en periodos de lluvias (Aguilar-Acosta, 2013; Moreno-Díaz; 2014; Frías de la Cruz, 2019). Estos datos pueden ser consistentes con la preferencia en la selección de presa de *Hydra* al momento de realizar la reproducción asexual, de acuerdo a la distribución temporal, densidad poblacional, así como la disponibilidad de alimento para las especies de zooplancton que pueden estar presentes en cuerpos de agua naturales. En este estudio, *Hydra* sp. tuvo preferencia por especies de gran tamaño (*D. pulex*) que en ambientes naturales puede presentar altas densidades en el cuerpo de agua, mientras que especies de menor tamaño como *C. dubia*, aún en altas densidades de presa no fue seleccionada por *Hydra* sp.

Las especies de zooplancton que habitan en las zonas litorales pueden desarrollar mecanismos para la coexistencia y defensa de los depredadores, estos incluyen la reducción en la activación de células nematocistos de *Hydra*, en algunas especies siendo inmune a las toxinas y en otras desarrollando mayor resistencia a su penetración por poseer dureza en su caparazón (David et al., 2005). Otro factor que puede influir es el tamaño: si las presas presentan un mayor tamaño, existe mayor probabilidad de escapar de la depredación de *Hydra*, incluso después del contacto con los nematocistos (Massaro et al., 2013). Inclusive cladóceros de los géneros *Simocephalus*, *Scapholeberis* y *Chydorus*, al igual que los ostrácodos son inmunes a la depredación de *Hydra*, así como otros animales de exoesqueleto grueso que le permite escapar del ataque y ser capturados por *Hydra* (Massaro y Rocha, 2008).

Conclusiones

Presa del Llano, Villa del Carbón podría considerarse un sitio en el que la actividad humana es limitada o afecta insignificante la carga de nutrientes en la presa, favoreciendo la presencia de macrófitos que favorecen la diversidad del zooplancton y otros invertebrados, al ser zonas con mayor riqueza específica y densidad. Reconocer el cuerpo de agua permite obtener información para conocer la distribución y relacionar las dinámicas poblacionales y reproductivas de *Hydra* sp. ecológicamente.

Por lo tanto, es necesario realizar muestreos para estudiar o analizar la diversidad en las zonas limnéticas y pelágicas; de igual manera, en zonas con algún tipo de perturbación para reconocer con más claridad la interacción entre las especies de zooplancton e *Hydra* en el sitio y su relación con los factores bióticos (disponibilidad de alimento, la competencia intra e inter específica, la depredación) y factores abióticos asociados a los parámetros de calidad de agua como el pH, temperatura, oxígeno disuelto, transparencia, contaminación, etc. que afectan la densidad y diversidad del zooplancton, teniendo impacto en las dinámicas poblacionales de las comunidades que coexisten en el cuerpo de agua. Así como los efectos alelopáticos de depredadores como *Hydra* y de los macrófitos presentes que pueden influir directamente en el crecimiento poblacional de las especies del zooplancton litoral.

En este experimento se obtuvo el mayor crecimiento poblacional de *Hydra* sp. con la dieta en densidad de 12 ind. día⁻¹ con una presa de gran tamaño como *D. pulex*. No obstante, en todos los regímenes de alimentación, *Hydra* sp. fue capaz de realizar la reproducción asexual con una menor tasa de crecimiento; concluyendo que la disponibilidad de alimento puede afectar directamente la conducta de *Hydra* sp. ya que es un depredador con capacidad de controlar la densidad y diversidad de cladóceros en cuerpos de agua dulceacuícolas. Por otra parte, la depredación de *Hydra* sp. puede verse influida por las modificaciones evolutivas de las poblaciones de zooplancton que utiliza como alimento, como la eficiencia de natación, el tamaño de sus presas, el grosor del caparazón o movimientos gregarios.

Referencias

- Adachi, K., Miyake, H., Kuramochi, T., Mizusawa, K., I Okumura, S. 2107. Genome size distribution in phylum Cnidaria. *Fish Sci.* 83:107–112.
- Aguiar-Acosta, C.R. 2013. Estudio de la comunidad zooplanctónica (rotíferos, cladóceros y copépodos) en la zona litoral de la presa Iturbide, Estado de México. Tesis de maestría. UNAM, México.
- Barrera, H., J. A., Espinosa R., A. J., Álvarez S., 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):1-23.
- Borowitzka, M. A. Borowitzka, L.J. 1988. Micro-algal biotechnology. Cambridge University Press. London. 1-480pp.
- Bosch, T., Krylow, S.M., Bode, H.R., Steele, R.E. 1988. Thermotolerance and synthesis of heat shock proteins: These responses are present in *Hydra attenuata* but absent in *Hydra oligactis*. *Proc Natl Acad Sci.* 85:7927-7931
- Boutry, J., Mistral, J., Berlioz, L., Klimovich, A., Tökölyi, J., Fontenille, L., Ujvari, B., Dujon, A. M., Giraudeau, M., Thomas, F. 2022. Tumors (re)shape biotic interactions within ecosystems: Experimental evidence from the freshwater cnidarian Hydra. *The Science of the total environment* 803.
- Bridge, D., Martínez, D.E. 2012. *Hydra*, the everlasting embryo, confronts aging. *Int. J. Dev. Biol.* 56: 479-487.
- David, C.N., Schmidt, N., Schade, M., Pauly, B., Alexandrova, O., Böttger. 2005. *Hydra* and the Evolution of Apoptosis. *Integrative and Comparative Biology.* 45(4):631-638.
- Dakić, G., Bogut, I., Vidaković, J., Borić, E., Popović, Ž. 2008. *Myriophyllum spicatum* L. and *Hydra oligactis* (Pallas, 1766) interactions in the small Lake Gornjogradsko in Osijek. *Danube News.* 18(10):7-9.
- de Kluijver, A., Ning, J., Liu, Z., Jeppesen, E., R. D. Gulati, R.D., Middelburg, J.J. 2015. Macrophytes and periphyton carbon subsidies to bacterioplankton and zooplankton in a shallow eutrophic lake in tropical China. *Limnol Oceanogr.*

- Domínguez-Pascual, I.E. 2006. Estudio de la diversidad de zooplancton y fitoplancton de la laguna de Zumpango (Estado de México) para su uso en la biomanipulación. Tesis de maestría. UNAM, México
- Deserti, M. 2012. Cnidarios dulceacuícola: las hidras. *Boletín Biológica* 25(6):4-11.
- Deserti, M., Esquus, K.S. Escalante, A.H., Acuña, F.H. 2017. Trophic ecology and diet of *Hydra vulgaris* (Cnidaria; Hydrozoa). *Animal Biology* 67:287-300.
- Elliott, J. K. Elliott, J. M., Leggitt, W.C. 1997. Predation by Hydra on larval fish: Field and laboratory experiments with bluegill (*Lepomis macrochirus*). *Limnol Oceanogr.* 42(6):1416-1423.
- Frías de la Cruz, D.C. 2019. El papel de *Daphnia obtusa* Kurz, 1875 como posible control de fitoplancton en tres lagos someros adyacentes con diferente estado oligotrófico en cantera oriente, México Tesis de maestría. UNAM, México.
- Gama-Flores, J.L., Huidobro-Salas, M.E., Sarma, S.S S., Nandini, S. 2013. A laboratory study on the effects of allelochemicals released by vertebrates (fish, salamander and tadpole) on the life history parameters of *Moina macrocopa* (Cladocera). *Allelopathy J.* 31:415-425
- Hannah, H., Gagné, F. Trottier, S. Bouchard, P., Farley, G., Auclair, J., Gagnon, C. 2022. Assessment of the toxicity of a mixture of five rare earth elements found in aquatic ecosystems in *Hydra vulgaris*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.
- Hutchinson, G.E. 1967. A treatise of limnology Vol II. Introduction to lake biology and limnoplankton. Wiley and Sons. NewYork. 1115 pp.
- Ismiño O. R.A, Araujo-Solis, J.J., Vargas-Del Castillo, S.M., I, Ruiz-Tafur, K.M., Arbildo-Ortiz, H., Alvan-Aguilar, M.A. 2020. Desarrollo del cladóceros nativo *Ceriodaphnia* sp con clorofitas (*Scenedesmus* sp y *Chlorella* sp) en condiciones de laboratorio. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú.* 31(1):17555.
- Jankowski, T., Allen, G.C., Campbell, R.D. 2008. Global diversity of inland water cnidarians. *Hydrobiologia* 595: 35-40.
- Janssen, A.B.G., Hilt, S., Kosten, S., de Klein, J.J.M., Paerl, H.W., Van de Waal, D.B. 2020. Shifting states, shifting services: Linking regime shifts to changes in ecosystem services of shallow lakes. *Freshwater Biology.* (66): 1–12.

- Jiang, X., Yang, W., Zhang, L., Chen, L., Niu, Y. 2014. Predation and cyanobacteria jointly facilitate competitive dominance of small-bodied cladocerans. *J Plankton Res.* 36(4): 956–965
- Kaliszewicz, A. 2013. Is larger better in sit-and-wait predators? Competitive superiority in *Hydra*. *Hydrobiologia*.714(1): 105-114.
- Krajina, I., Bogut, I., Čerba, D., Popović, Ž., Agić, I. 2017. Phytophilous Fauna of a Small and Artificial Urban Lake. *Croatian Journal of Fisheries* 75(2): 51-57.
- Krebs, C. J., 1985. *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance.* (3rd ed) Harper & Row, New York. 800pp
- Lampert, W., Sommer, U. 2007. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams.* Oxford University Press. Londres.
- Latib, N., Yusoff, Md. F., Nagao, N., Nizar, H. 2020. Growth of tropical cladocerans *Ceriodaphnia cornuta* G.O. Sars, 1885 and *Moina micrura* Kurz, 1875 fed with different diets. *J Environ Biol.* 41:1224-1229.
- Lauro, B.M., Kass-Simon. 2018. *Hydra*'s feeding response: effect of GABA_B ligands on GSH- induced electrical activity in the hypostome of *H. vulgaris*. *Comparative Biochemistry and Physiology* (225):83-93.
- Lee, A. H., Fraz, S., Purohit, U., Campos, A.R. Wilson, J.Y. 2020. Chronic exposure of Brown (*Hydra oligactis*) and green Hydra (*Hydra viridissima*) to environmentally relevant concentrations of pharmaceuticals. *Science of the Total Environment* .732.
- Li, Y., Ge, R., Chen, H., Zhuang, Y., Liu, G., Zheng, Z. 2022. Functional diversity and groups of crustacean zooplankton in the southern Yellow Sea. *Ecological Indicators.* 136.
- Link, J., Keen, R. 1995. Prey of Deep-water Hydra in Lake Superior. *J Great Lakes res.* 21(3):319-323.
- Martinez, D.E. 1998. Mortality patterns suggest lack of senescence in *Hydra*. *Exp Gerontol.* 33: 217–225.
- Martínez, G. 2000. Conducta alimentaria de *Daphnia ambigua* Scourfield 1947, *Moina micrura* Kurz 1874 y *Ceriodaphnia dubia* Richard 1895 (Cladocera) frente a un gradiente de concentración de alimento. *Rev Chi de Hist Nat.* (73): 47-54

- Massaro, F.C. Rocha, O. 2008. Development and population growth of *Hydra viridissima* Pallas, 1766 (Cnidaria, Hydrozoa) in the laboratory. Braz J Biol. 68(2):379-383,
- Massaro, F.C., Negreiros, N.F. Rocha, O. 2013. A search for predators and food selectivity of two native species of Hydra (Cnidaria: Hydrozoa) from Brazil. Biota neotrop. 13 (2):35-40.
- Meglitsch, R.A. 1983. Zoología de invertebrados. Herman Blume Ediciones. Madrid.
- Morales, J., Negro, A.I., Lizana, M. 2018. Observaciones ecológicas, corológicas y taxonómicas de hidrinos dulceacuícolas (Cnidaria, Hydrozoa: hydridae) en la cuenca del Duero. Graellsia 74(2).
- Moreno-Díaz, M. 2014. Diagnóstico ambiental del parque ecoturístico Presa del Llano, Villa del Carbón, Edo, de México. Tesis de licenciatura. UNAM. México.
- Muñoz-Colmenares, M.E. 2017. Diversidad de zooplancton (rotíferos, copépodos y cladóceros) durante un ciclo anual en la presa del llano, Villa del Carbón. Tesis de maestría. UNAM, México.
- Nandini, S., Sarma, S.S.S., Ramírez-García, P. 2000. Life table demography and population growth of *Daphnia laevis* (Cladocera, Anomopoda) under different densities of *Chlorella vulgaris* and *Microcystis aeruginosa*. Crustaceana 73 (10):1273-1286.
- Nandini, S., Sarma, S.S.S. 2005. Life history characteristics of *Asplanchnopus multiceps* (Rotifera) fed rotifer and cladoceran prey. Hydrobiologia 546:491-501.
- Nandini, S., Sarma, S.S.S. 2019. Reproductive strategies of *Moina* (Cladocera) in relation to their hábitat. Limnetica 38(1): 137-145.
- Ocampo, L.E., Botero, M.C., Restrepo, L.F. 2010. Evaluación del crecimiento de un cultivo de *Daphnia magna* alimentado con *Saccharomyces cerevisiae* y un enriquecimiento con avena soya. Rev Colomb Cienc Pecu. 23: 78-85
- Ocampo, I.D., Cadavid, L.F. 2015. Mechanisms of immune responses in Cnidaria. Acta Biológica Colombiana. 20(2):5-11
- Pascoe, D., Karntanut, W., Müller, C.T., 2003. Do pharmaceuticals affect freshwater invertebrates? A study with the cnidarian *Hydra vulgaris*. Chemosphere 51: 521–528.

- Reeves, W.K. 2010. Behavior of larval *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) in response to an invertebrate predator, *Hydra littoralis* (Anthomedusae: Hydridae). *Entomological News* 121(3): 298-301.
- Reisa, J., 1973. Ecology of *Hydra*. In: Burnett, A. (Ed.). *Biology of Hydra*. Academic Press, New York and London. 59–105 p.p
- Rivera-De la Parra, L., Sarma, S.S.S., Nandini, S. 2016. Effects of Predation by *Hydra* (Cnidaria) on Cladocerans (Crustacea: Cladocera). *Journal of Limnology* 75(sl):39-47.
- Rodríguez, J. 1999. *Ecología*. Ed. Pirámide, Madrid. 411 pp
- Rosa, M.E., Bradács, F., Tökölyi, J., 2015. Response of green hydra (*Hydra viridissima*) to variability and directional changes in food availability. *Biologia (Bratisl.)*. 70: 1366–1375.
- Ruppert, E.E., Barnes, R.D., 1994. *Invertebrate Zoology*, 6th edition. Saunders College Publishing.
- Sarma, S.S.S. Dumont, H.J., Nandini, S., 2004. Interactions between the anomopod cladocerans *Ceriodaphnia dubia*, *C. cornuta*, *Simocephalus vetulus* and *S. serrulatus*, the aphanoneurid worm *Aeolosoma* sp., and the fish *Skiffia lermae*: predation or competition, or both? *Hydrobiologia* 526:147–156.
- Sarma, S. S. S., Nandini, S., Gulati, R.D. 2005. Life history strategies of cladocerans: comparisons of tropical and temperate taxa. *Hydrobiologia* 542: 315–333
- Schaible, R., Ringelhan, F., Kramer, B.H., Miethe, T. 2011. Environmental challenges improve resource utilization for asexual reproduction and maintenance in *Hydra*. *Experimental Gerontology* 46:794–802.
- Schaible, R., Scheuerlein, A., Danko', M.J., Gampe, J., Martínez, D.E., Vaupel, J.W. 2015. Constant mortality and fertility over age in *Hydra*. *Proc Natl Acad Sci*. 112: 5701–15706.
- Scheffer, M. 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman & Hall, London
- Sebestyén, Fl., Poliska, S., Rácz, R., Bereczki, J., Lénárt, K., Barta, Z., Lendvai, A., Tökölyi, J. 2017. Insulin/IGF Signaling and Life History Traits in Response to Food Availability and Perceived Density in the Cnidarian *Hydra vulgaris*. *Zoological Science* 34:10

- Slobodkin, L.B., Bossert, P. 2010. Cnidaria. En: J.H. Thorp and A.P. Covich (eds.) Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates. *Academic Press*, London. 125-142p.p.
- Thorp, J.H., Rogers, D.C. 2016. Keys to nearctic fauna. volume II, Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. Elsevier, Amsterdam.
- Tökölyi, J., Rosa, M.E., Bradács, F., Barta, Z. 2014. Life history trade-offs and stress tolerance in green hydra (*Hydra viridissima* Pallas 1766): the importance of nutritional status and perceived population density. *Ecol. Res.* 29: 867- 876.
- Tökölyi, J., Ósz, Z., Sebestyén, F., Barta, Z. 2017. Resource allocation and post-reproductive degeneration in the freshwater cnidarian *Hydra oligactis* (Pallas, 1766). *Zoology* 120: 110-116
- Walsh, E.J. 1995. Habitat-specific predation susceptibilities of a littoral rotifer to two invertebrate predators. In: Ejsmont-Karabin J., Pontin R.M. (eds) Rotifera VII. *Developments in Hydrobiology*. Springer. Dordrech
- Weber. T. 1993. Methods of measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. U.S. Environment Protection Agency, EPA.
- Yamindago, A., Lee, N., Woo, S., Choi, H., Young Mun, J., Seok-Won, J., Yang, S., Anton-Erxleben, F., Thomas C.G., Bosch, T.C.G., Yum, S. 2018. Acute toxic effects of zinc oxide nanoparticles on *Hydra magnipapillata*. *Aquatic Toxicology* 205:130-139.
- Yoshida, K., Fujisawa, T., Hwang, J.S., Ikeo, K., Gojobori, T., 2006. Degeneration after sexual differentiation in hydra and its relevance to the evolution of aging. *Gene* 385: 64–70
- Zamponi, M. O., M. I. Deserti, M.I. 2009. Análisis comparativos entre las morfologías y ecologías de las formas pólipos (Cnidaria, Hydrozoa, Anthozoa) similares en hábitats disímiles. *Real Academia Galega de Ciencias* 28:37-69.

Anexos

ANEXO 1

Valores promedio del crecimiento poblacional (r) de *Hydra* sp. con las diferentes concentraciones de *C. dubia* como alimento. Se muestran los valores de 4 réplicas \pm error estándar.

	<i>Ceriodaphnia dubia</i>		
	3 ind. día⁻¹	6 ind. día⁻¹	12 ind. día⁻¹
Días	Promedio \pm error estándar.		
0	1 \pm 0	1 \pm 0	1 \pm 0
1	1.25 \pm 0.0833	1 \pm 0	1 \pm 0
2	1.5 \pm 0.0962	1 \pm 0	1 \pm 0
3	1.5 \pm 0.0962	1 \pm 0	1 \pm 0
4	1.5 \pm 0.0962	1.25 \pm 0.0833	1 \pm 0
5	1.75 \pm 0.0833	1.25 \pm 0.0833	1 \pm 0
6	1.75 \pm 0.0833	1.5 \pm 0.0962	1 \pm 0
7	1.75 \pm 0.0833	1.5 \pm 0.0962	1.25 \pm 0.0833
8	1.75 \pm 0.0833	2 \pm 0.1361	1.5 \pm 0.1925
9	2 \pm 0	2.25 \pm 0.0833	1.75 \pm 0.1596
10	2.25 \pm 0.0833	2.5 \pm 0.0962	2 \pm 0.1925
11	2.25 \pm 0.0833	3 \pm 0.1361	2.25 \pm 0.1596
12	2.25 \pm 0.0833	3.25 \pm 0.0833	2.5 \pm 0.2152
13	2.5 \pm 0.0962	3.5 \pm 0.0962	3.25 \pm 0.1596
14	2.75 \pm 0.0833	3.75 \pm 0.0833	3.75 \pm 0.0833
15	2.75 \pm 0.0833	4 \pm 0	4.25 \pm 0.0833

ANEXO 2

Valores promedio del crecimiento poblacional (r) de *Hydra sp.* con diferentes dietas de cladóceros. Se muestran los valores de 4 réplicas \pm error estándar.

	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	<i>Daphnia pulex</i>
Densidad de presa	Promedio \pm error estándar.	
3 ind. día ⁻¹	0.0599 \pm 0.0171	0.0948 \pm 0.0104
6 ind. día ⁻¹	0.1082 \pm 0.0031	0.0995 \pm 0.0142
12 ind. día ⁻¹	0.0974 \pm 0.0133	0.1735 \pm 0.0105

ANEXO 3

ANOVA de un factor entre los crecimientos poblacionales (r) de *Hydra sp.* con las diferentes densidades de *C. dubia* como alimento.

Fuente de Variación	GL	SC	PSM	F	P
Densidad de presa	2	0.00514	0.00257	4.023	0.056
Error	9	0.00575	0.000639		
Total	11	0.0109			

ANOVA de un factor entre los crecimientos poblacionales (r) de *Hydra sp.* con las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento.

Fuente de Variación	GL	SC	PSM	F	P
Densidad de presa	2	0.0156	0.00778	13.834	0.002
Error	9	0.00506	0.000563		
Total	11	0.0206			

Análisis de *post-hoc* de Tukey entre los crecimientos poblacionales de *Hydra sp.* con las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento.

Comparación entre densidades	Diferencias de medias	p	q	P	P<0.050
12 ind. día ⁻¹ vs. 3 ind. día ⁻¹	0.0786	3	6.630	0.003	Sí
12 ind. día ⁻¹ vs. 6 ind. día ⁻¹	0.0740	3	6.236	0.004	Sí
6 ind. día ⁻¹ vs 3 ind. día ⁻¹	0.00468	3	0.395	0.958	No

ANEXO 4

Valores promedio del crecimiento poblacional (r) de *Hydra sp.* con las diferentes concentraciones de *D. pulex* como alimento. Se muestran los valores de 4 réplicas \pm error estándar.

	<i>Daphnia pulex</i>		
	3 ind. día⁻¹	6 ind. día⁻¹	12 ind. día⁻¹
Días	Promedio \pm error estándar.		
0	1 \pm 0	1 \pm 0	1 \pm 0
1	1 \pm 0	1 \pm 0	1 \pm 0
2	1 \pm 0	1 \pm 0	1 \pm 0
3	1.25 \pm 0.0833	1 \pm 0	1 \pm 0
4	1.5 \pm 0.0962	1 \pm 0	1 \pm 0
5	1.75 \pm 0.1596	1 \pm 0	1.5 \pm 0.0962
6	2 \pm 0.1925	1 \pm 0	1.75 \pm 0.1596
7	2 \pm 0.1925	1.25 \pm 0.0833	2 \pm 0.1924
8	2.5 \pm 0.0962	1.5 \pm 0.1667	2.75 \pm 0.25
9	2.5 \pm 0.0962	1.75 \pm 0.1596	4 \pm 0.2357
10	2.75 \pm 0.1596	2 \pm 0.1924	5 \pm 0.2722
11	3 \pm 0.1361	2.25 \pm 0.1596	5.5 \pm 0.2152
12	3 \pm 0.1361	2.5 \pm 0.2152	6.25 \pm 0.2846
13	3 \pm 0.1361	3.25 \pm 0.1596	7.75 \pm 0.3155
14	3.5 \pm 0.0962	3.7 \pm 0.0833	8 \pm 0.2357
15	3.75 \pm 0.1596	4.25 \pm 0.0833	8.5 \pm 0.2887

ANEXO 5

Tabla de vida de *Hydra sp.* con diferentes densidades de presas. Se muestran los valores de 4 réplicas \pm error estándar.

Especies	Densidad de presa	Vida media	Esperanza de vida	Tiempo generacional	Tasa de reproducción bruta	Tasa de reproducción neta.
<i>C. dubia</i>	3 ind. día ⁻¹	31 \pm 0	30.5 \pm 0	20.19 \pm 0.4	15 \pm 0.40	4 \pm 0.14
	6 ind. día ⁻¹	31 \pm 0	30.5 \pm 0	17.53 \pm 0.20	18 \pm 0.64	4.5 \pm 0.215
	12 ind. día ⁻¹	31 \pm 0	30.5 \pm 0	16.94 \pm 0.10	19 \pm 0.62	4.75 \pm 0.209
<i>D. pulex</i>	3 ind. día ⁻¹	31 \pm 0	30.5 \pm 0	18.71 \pm 0.25	31 \pm 0.28	7.5 \pm 0.096
	6 ind. día ⁻¹	31 \pm 0	30.5 \pm 0	18.83 \pm 0.13	41 \pm 0.25	10.25 \pm 0.08
	12 ind. día ⁻¹	31 \pm 0	30.5 \pm 0	20.15 \pm 0.14	55 \pm 1.10	13.75 \pm 0.36

ANEXO 6

ANOVA de un factor entre los tiempos generacionales de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *C. dubia* como alimento.

Fuente de Variación	GL	SC	PSM	F	P
Densidad de presa	2	24.014	12.007	42.214	<0.001
Error	9	2.560	0.284		
Total	11	26.574			

Análisis de *post-hoc* de Tukey entre los tiempos generacionales de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *C. dubia* como alimento.

Comparación entre densidades	Diferencias de medias	p	q	P	P<0.050
3 ind. día ⁻¹ vs. 12 ind. día ⁻¹	3.253	3	12.197	<0.001	Si
3 ind. día ⁻¹ vs. 6 ind. día ⁻¹	2.661	3	9.979	<0.001	Si
6 ind. día ⁻¹ vs. 12 ind. día ⁻¹	0.592	3	2.218	0.307	No

ANOVA de un factor entre los tiempos generacionales de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento.

Fuente de Variación	GL	SC	PSM	F	P
Densidad de presa	2	5.163	2.581	19.700	<0.001
Error	9	1.179	0.131		
Total	11	6.342			

Análisis de *post-hoc* de Tukey entre los tiempos generacionales de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento

Comparación entre densidades	Diferencias de medias	p	q	P	P<0.050
12 ind. día ⁻¹ vs. 3 ind. día ⁻¹	1.447	3	7.995	<0.001	Sí
12 ind. día ⁻¹ vs. 6 ind. día ⁻¹	1.328	3	7.338	0.002	Si
6 ind. día ⁻¹ vs 3 ind. día ⁻¹	0.119	3	0.657	0.889	No

ANEXO 7

Valores promedio de la tasa reproductiva neta (descendientes/*Hydra*/día) de *Hydra* sp. con las diferentes concentraciones de *C. dubia* como alimento. Se muestran los valores de 4 réplicas \pm error estándar.

	<i>Ceriodaphnia dubia</i>		
	3 ind. día⁻¹	6 ind. día⁻¹	12 ind. día⁻¹
Días	Promedio \pm error estándar.		
0	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
1	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
2	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
3	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
4	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
5	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
6	0 \pm 0	0 \pm 0	0.5 \pm 0.096
7	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
8	0 \pm 0	0 \pm 0	0.25 \pm 0.083
9	0 \pm 0	0.25 \pm 0.083	0.25 \pm 0.083
10	\pm 0.083	0.75 \pm 0.083	0.5 \pm 0.096
11	\pm 0.0833	0 \pm 0	0 \pm 0
12	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
13	0 \pm 0	0.5 \pm 0.096	0.75 \pm 0.083
14	0.75 \pm 0.083	0.25 \pm 0.083	0 \pm 0
15	0 \pm 0	0.5 \pm 0.096	0.25 \pm 0.083
16	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
17	0 \pm 0	0 \pm 0	0 \pm 0
18	0.5 \pm 0.0962	0.25 \pm 0.083	0 \pm 0
19	0 \pm 0	0.5 \pm 0.096	0 \pm 0

20	0.5±0.0962	0.25±0.083	0.5± 0.096
21	0±0	0±0	0±0
22	0±0	0.25±0.083	0.25±0.083
23	0.25±0.083	0.25±0.083	0±0
24	0.25±0.083	0±0	0.75± 0.083
25	0.50±0.096	0±0	0.25±0.083
26	0±0	0±0	0±0
27	0.25±0.083	0.25±0.083	0±0
28	0±0	0±0	0±0
29	0±0	0.25±0.083	0±0
30	0.50±0.096	0.25±0.083	0.5± 0.096
Total por tratamiento	4 ± 0.88	4.5 ±1.12	4.75 ± 0.97

ANEXO 8

ANOVA de un factor de la tasa reproductiva bruta de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *C. dubia* como alimento.

Fuente de Variación	GL	SC	PSM	F	P
Densidad de presa	2	1.167	0.583	0.447	0.653
Error	9	11.750	1.306		
Total	11	12.917			

ANEXO 9

Valores promedio de la tasa reproductiva neta (descendientes/*Hydra*/día) de *Hydra* sp. con las diferentes concentraciones de *D. pulex* como alimento. Se muestran los valores de 4 réplicas \pm error estándar.

	<i>Daphnia pulex</i>		
	3 ind. día⁻¹	6 ind. día⁻¹	12 ind. día⁻¹
Días	Promedio \pm error estándar.		
0	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
1	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
2	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
3	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
4	0.25 \pm 0.08	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
5	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
6	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
7	0.25 \pm 0.08	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
8	0 \pm 0.00	0.50 \pm 0.10	0 \pm 0.00
9	0.25 \pm 0.08	0.25 \pm 0.08	0.25 \pm 0.08
10	0.50 \pm 0.10	1.0 \pm 0.00	0.50 \pm 0.10
11	0.25 \pm 0.08	0.25 \pm 0.08	1.0 \pm 0.14
12	0.75 \pm 0.08	0.25 \pm 0.08	0.25 \pm 0.08
13	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00	0.75 \pm 0.08
14	0.25 \pm 0.08	1.0 \pm 0.00	1.0 \pm 0.00
15	0.25 \pm 0.08	0.50 \pm 0.10	0 \pm 0.00
16	0.75 \pm 0.08	0.75 \pm 0.08	1.25 \pm 0.08
17	0 \pm 0.00	0.75 \pm 0.08	0.75 \pm 0.08
18	0.50 \pm 0.10	0.25 \pm 0.08	0.50 \pm 0.10
19	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00	0 \pm 0.00
20	0 \pm 0.00	0.50 \pm 0.10	0.75 \pm 0.08

21	0.75± 0.08	0.25± 0.08	0± 0.00
22	0± 0.00	0.25± 0.08	1.0± 0.00
23	0.25± 0.08	0.50± 0.10	0.50± 0.10
24	0.50± 0.10	0.50± 0.10	0.75± 0.08
25	0± 0.00	0.25± 0.08	0.50± 0.10
26	0.25± 0.08	0.75± 0.08	1.0± 0.14
27	0.25± 0.08	0.25± 0.08	1.0± 0.14
28	0.50± 0.10	0.50± 0.10	0.5± 0.10
29	0.50± 0.10	0.50± 0.10	0.75± 0.08
30	0.5± 0.10	0.50± 0.10	0.75± 0.08
Total por tratamiento	7.5 ± 1.58	10.25 ± 1.69	13.75 ± 1.64

ANEXO 10

ANOVA de un factor de la tasa reproductiva bruta de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento.

Fuente de Variación	GL	SC	PSM	F	P
Densidad de presa	2	78.500	39.250	21.409	<0.001
Error	9	16.500	1.833		
Total	11	95.000			

Análisis de *post-hoc* de Tukey de la tasa reproductiva bruta de *Hydra* sp. con las diferentes densidades de *D. pulex* como alimento.

Comparación entre densidades	Diferencias de medias	p	q	P	P<0.050
12 ind. día ⁻¹ vs. 3 ind. día ⁻¹	6.250	3	9.232	<0.001	Sí
3 ind. día ⁻¹ vs 6 ind. día ⁻¹	3.500	3	5.170	0.013	Sí
6 ind. día ⁻¹ vs. 3 ind. día ⁻¹	2.750	3	4.062	0.044	Sí