



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA**

**Impacto de la especie invasora *Oreochromis niloticus*  
sobre la red trófica del lago de Xochimilco influenciando  
el comportamiento alimentario del anfibio endémico  
*Ambystoma mexicanum***

**T E S I S**

**Que para obtener el título de:**

**Licenciado en Biología**

**P R E S E N T A :**

**Miguel Angel Sánchez Gómez**



**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera**

**Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México 2020**



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.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA**

**Impacto de la especie invasora *Oreochromis niloticus*  
sobre la red trófica del lago de Xochimilco influenciando  
el comportamiento alimentario del anfibio endémico  
*Ambystoma mexicanum***

**T E S I S**

**Que para obtener el título de:**

**Licenciado en Biología**

**P R E S E N T A :**

**Miguel Angel Sánchez Gómez**



**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera**

**Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México 2020**

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la cual me siento orgulloso de pertenecer.

A mi *alma máter* la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por formarme como profesionista con carácter y conocimiento.

Al laboratorio de Conservación Ecológica y de Medio Ambiente por brindarme el espacio para desarrollar el presente proyecto.

Al proyecto PAPIIT IA209118 por el apoyo económico brindado para la culminación este proyecto de investigación.

A REDES (Restauración Ecológica y Desarrollo, A.C. por el apoyo brindado para la culminación este proyecto de investigación.

A mi asesor de tesis el Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera por haber confiado en mí, por fomentar esa fuerza por seguir creciendo, por aprender a su lado, por apoyarme en todo momento, guiarme durante todo el tiempo dentro y fuera del laboratorio tanto en la formación académica como personal.

A mi sinodal Dr. Pedro Ramírez García por su apoyo, la confianza en la realización de este proyecto, por su asesoramiento para que el presente proyecto lograra cumplir las características necesarias para ser aprobado. Así como ser parte importante en mi formación como

profesionista y ser uno de mis ejemplos a seguir en esta formación como biólogo.

A Dr. Sergio Cházaro Olvera por guiarme en clases, su amabilidad, consejos, por sus correcciones para la elaboración de este escrito, de igual manera por estar al pendiente de mi proyecto y por brindarme su apoyo en todo momento.

A la Dra. Sandra Fabiola Arias Balderas por compartirme sus conocimientos en clases, por sus consejos, dedicación y asesoramiento en la elaboración de este proyecto.

A mi Sinodal Antonio Cisneros Cisneros por su confianza, asesoramiento, sus conocimientos, por sus consejos a lo largo de la carrera, y la revisión de este proyecto.

A mis profesores que siempre dieron su granito de arena para mi crecimiento académico, principalmente a Gabriela Jiménez Casas y Alejandro Martínez por la inspiración y motivación para ser biólogo, Marco Ocampo, Irma e Ismael por confiar en mis conocimientos y habilidades durante la carrera y por último a Dolores Hurtado Bocanegra por inculcarme la disciplina y trabajo como pilares en la formación en mi desarrollo de mi profesión.

A la M. en C. Elsa Valiente Riveros, Directora General de REDES, Biol. Erika Rodríguez Flores, Coordinadora de Áreas Operativas, Dra. Claudia

Ponce De León Facultad de Ciencias, UNAM. Por su apoyo en campo y en los muestreos realizados en este proyecto.

A mis amigos y compañeros de la carrera, especialmente a Hugo Escalante, Paola Vázquez, Ricardo Gutiérrez, Rocío Fernández, Nayelit López, Darío Rueda, Yabín Castro, Abigail Hernández, Sandra Aguilar, Julio Parra, Daniel Gutiérrez, Fernanda Carrillo, Samantha Jiménez, Frida Garnica, Gaby Zabala, Rocío Ibarra, Frida Barrón, Lulu Zamora, Liliana Rentería, Cristian López, Paulina Ascencio por su apoyo, amistad, compañerismo, convivencia y aprendizaje.

A mis amigos de la vida que son Gabriel Vera, Noé García, Cesar Ávila, Alexis Matus, Karla Ramírez por ser unos pilares importantes para la formación de mi carácter y en mi desarrollo profesional.

A mi mejor amiga durante la carrera Ana por ser una consejera, motivación y cómplice en mis proyectos y Estudios.

A mi amiga Elizabeth Balbuena por ser una consejera, amiga y una inspiración

A las familias Vera de la Garza, Ávila Morales, Matus Mojica, Gómez, Abrego por su apoyo para terminar mis estudios y por hacerme parte de su familia.

## Dedicatoria

Para mis padres les agradezco el darme su confianza, esfuerzo, sus recursos, su apoyo en malos y buenos momentos, es para mí un placer llevar sus genes, al mismo tiempo estoy orgulloso de ustedes porque son personas trabajadoras, honestas, responsables y nunca se rinden, siempre han amado a sus hijos. Si no fuera por ustedes este logro no se hubiera concretado los amo mucho tanto a Sra. María de la Luz Verónica Gómez como al Sr. Cándido Sánchez Bárcenas por siempre demostrarme su cariño, igual que a mis hermanos y reiterar que ustedes son la energía para que siempre quiera superarme.

Para mis hermanos Ricardo Sánchez Gómez eres el mejor amigo que tengo te agradezco ser tan noble, honesto y responsable. Llegaste a este mundo para darme una alegría de ser el hermano mayor, de poder jugar contigo, convivir mucho tiempo juntos. A Claudia Sánchez Gómez te agradezco el siempre estar en los momentos difíciles, eres la mayor y de la que siempre aprendí muchas cosas y también te agradezco por tener a dos niños estupendos de los que estoy orgulloso y al igual que cuando nació Richard nos llenaron nuestras vidas de mucha felicidad.

Para mis sobrinos Santiago y Dulcinea. El verlos crecer y ser parte de su crecimiento me llena de orgullo y son una motivación para esta carrera llena de vida.

Para mis abuelos les agradezco el haber criado a mis padres y siempre tener ese cariño hacia sus nietos, Al Sr. Cándido Sánchez. A al Sr. Epifanio Gómez y a mis abuelas La Sra. Otilia Loa porque me demostró que el amor esta siempre por encima de cualquier problema, por apoyarme en todo, porque la compasión, el perdón es algo que nos puede liberar, porque de usted recibí todo el amor que un nieto puede querer. También agregar que de usted aprendí de botánica con todos los remedios que aplicaba. Y A la Sra. Micaela Jiménez García gracias a usted por darme ese gusto de vivir, de viajar, de reír, de soñar, por cuidarme, quererme, enseñarme tantas cosas y por confiar en mí. Con ambas pase momentos increíbles y se fueron en el momento menos indicado se fueron en el trascurso de esta carrera tan hermosa y que las dos apoyaron tanto, fueron mi ejemplo de amar a la familia y compartir aquello que tenemos con las personas que queremos.

Esta tesis va dedicada para todos ustedes.

“como biólogo puedes tener o crear vida en tus manos,  
pero basta un instante de olvido o descuido  
para terminar con la vida”



<b>1.1. -INDICE</b> .....	pág. 2
<b>2.1. -RESUMEN</b> .....	pág. 4
<b>3.1. -ABSTRACT</b> .....	pág.5
<b>4.1- INTRODUCCION</b> .....	pág. 6
4.2. Biología.....	pág. 7
4.3. Problemática .....	pág. 8
4.4. Especies invasoras.....	pág. 9
4.5. Zooplancton.....	pág. 10
4.6. Ecología alimentaria .....	pág. 10
<b>5.1. ANTECEDENTES</b> .....	pág.12
<b>6.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	pág.14
6.2 Objetivos particulares.....	pág.14
<b>7.1. JUSTIFICACIÓN</b> .....	pág.15
<b>8.1. HIPÓTESIS</b> .....	pág.16
<b>9.1 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	pág.17
9.2. Zona de muestreo .....	pág. 17
9.3. Campo .....	pág. 18
9.3.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos .....	pág. 18
9.3.2. Toma de muestra para el zooplancton .....	pág. 18
9.4. Laboratorio .....	pág. 19
9.4.1 Cultivos de fitoplancton .....	pág. 19
9.4.2. Cultivos de zooplancton .....	pág. 19
9.4.3. Conteo e identificación de Zooplancton .....	pág. 19
9.4.4. Mantenimiento de <i>A. mexicanum</i> .....	pág. 20
9.4.5. Mantenimiento de <i>O. niloticus</i> .....	pág. 21
9.4.6. Fase experimental .....	pág. 21
9.4.7. Experimentos de preferencia Alimentaria .....	pág. 22
9.5.1. Shannon Wiener .....	pág. 23
9.5.2. Índice de Alfa de Manly .....	pág. 23
9.5.3. Análisis estadístico ANOVA .....	pág. 23
9.6.1. Diagrama de flujo.....	pág. 24

<b>10.1. RESULTADOS</b> .....	pág. 25
10.2. Presencia de zooplancton en las zonas de muestreo .....	pág. 25
10.3. Densidad de Zooplancton en los 20 sitios de muestreo de SGA en el Lago de Xochimilco (2017) .....	pág. 27
10.4. Densidad de Zooplancton en los 20 sitios de muestreo de SGA en el Lago de Xochimilco (2018) .....	pág. 28
10.5. Parámetros fisicoquímicos .....	pág. 29
<b>11.1. DISCUSIÓN</b> .....	pág. 49
<b>12.1. CONCLUSIONES</b> .....	pág. 67
<b>13.1 BIBLIOGRAFÍA</b> .....	pág. 69
<b>14.1. ANEXOS</b> .....	pág. 78
14.2. Medio Basal Bold .....	pág. 78
14.3. ANOVAS .....	pág. 79
14.4. Nombre de los sitios de muestreo y coordenadas .....	pág. 80
14.5. Índice de Alfa de Manly .....	pág. 81
14.6. Índice de Shannon- Wiener .....	pág. 82
14.7. Índice de Figuras .....	pág. 83

## 2.1. Resumen

*Ambystoma mexicanum* es una especie endémica de la cuenca del valle de México con remanente en el Lago de Xochimilco, clasificada en peligro de extinción por la alta presión que ejerce el pez invasor *Oreochromis niloticus* y la contaminación del agua. Este estudio se realizó en los canales de San Gregorio Atlapulco (SGA) (Lago de Xochimilco) durante 2017 y 2018, con el objetivo de determinar la variación espacial del zooplancton en relación con los factores fisicoquímicos del agua. La presencia de zooplancton se caracterizó por tener una temperatura promedio de 14.9 a 22.3 °C, OD 0.00-6.42 mg/L, pH 6.7-8.0, conductividad 543.5-1811µS y TDS 295mg/L en promedio. Los resultados de zooplancton en los canales de SGA Lago de Xochimilco en los muestreos del 2017 y 2018 mostraron un dominio de los cladóceros con un valor de 2689.66 y 3150.8 org/mL representando un 46 a 76% respectivamente de la densidad total. La presencia de cladóceros se ve favorecida por la presencia de parámetros como la temperatura, pH, conductividad, TDS y profundidad. Aleatoriamente se realizaron pruebas experimentales de preferencia alimentaria y se evaluó el impacto de la competencia entre la especie del pez invasor *O. niloticus* (tilapia) y la especie del anfibio nativo *A. mexicanum* (ajolote) durante su etapa larval de 0 a 9 semanas por medio de pruebas de comportamiento alimentario, observando el consumo en diferentes horarios, 8, 14 y 20 horas. La preferencia alimentaria se observó con tres especies de zooplancton. *Brachionus calyciflorus*, *Heterocypris incongruens*, y *Daphnia sp*, observando en *A. mexicanum* un periodo de alimentación de mayor captura de presas en el horario 8 y 20 hrs en ausencia de luz, con una preferencia por el ostrácodo *H. incongruens*. Mientras que para *O. niloticus* el horario de mayor consumo se observó a las 14 hrs con preferencia del 100% por *Daphnia sp* a partir de la segunda semana en los horarios 8, 14 y 20 hrs. Observándose un solapamiento en la segunda y sexta semana.

**Palabras clave:** *Ambystoma mexicanum*, comportamiento alimentario, ecología, niveles tróficos, competencia, especies invasoras, *Oreochromis niloticus*

### 3.1. Abstract

*Ambystoma mexicanum* is an endemic species in the basin of the Valley of Mexico with remnants in Lake Xochimilco, classified as endangered, due to the high pressure of invasive fish *Oreochromis niloticus* and water contamination. This study was carried out in the (SGA) San Gregorio Atlapulco (Lake Xochimilco) channels during 2017 and 2018, with the aim of determining the spatial variation of zooplankton in relation to the physicochemical factors of water. The presence of zooplankton was characterized by having an average temperature of 14.9-22.3 ° C, OD 0.00-6.42 mg / L, pH 6.7-8.04, conductivity 543.5-1811µS, TDS 295 mg / L. The results of Zooplankton in the channels of SGA Lago de Xochimilco in the samplings of 2017 and 2018 showed a dominance by cladocerans with a value of 2689.66 and 3150.8 org / mL, representing 46 - 76% respectively of the total density. The presence of cladocerans is favored by the presence of parameters such as temperature, pH, conductivity, TDS and depth. Random y food preference experimental tests were carried out and the impact of competition between the invasive fish species *O. niloticus* (tilapia) with the native amphibian species *A. mexicanum* (axolotl) was evaluated during its larval stage from 0 to 9 weeks by means of eating behavior tests, observing consumption at different times, 8, 14. and 20 hrs. The food preference was observed with three zooplankton species such as *Brachionus calyciflorus*, *Heterocypris incongruens*, and *Daphnia sp*, observing in *A. mexicanum* a feeding period of greater prey capture at 8 and 20 hrs. in the absence of light, with a preference for the ostracod *H. incongruens*. While for *O. niloticus* the hours of greatest consumption were observed at 14 hrs. with preference for 100% *Daphnia sp*. from the second week on at 8, 14 and 20hrs. Observing an overlap in the second and sixth week.

**Key words:** *Ambystoma mexicanum*, feeding behavior, ecology, trophic levels, competition, invasive species, *Oreochromis niloticus*

#### 4.1. Introducción

En el mundo hay 32 especies del género *Ambystoma* de las cuales 21 especies se distribuyen en diferentes hábitats de México (Chaparro-Herrera *et al.*, 2013; AmphibiaWeb, 2020) siendo la más importante y estudiada (*Ambystoma mexicanum*) (Shaw & Nodder, 1798) ya que se utiliza en diversos modelos de investigación en embriología, reproducción y regeneración. Es un anfibio endémico de la cuenca del Valle de México, actualmente remanentes del Lago de Xochimilco ubicado al sur de la Ciudad de México (Robles *et al.*, 2009; Alcaraz *et al.*, 2015). El lago de Xochimilco es reconocido por su inclusión en la Convención Ramsar y en la lista de la UNESCO 1987 para su conservación por su importancia cultural, ecológica y ambiental (Bride *et al.*, 2008; Robles *et al.*, 2009; Figueroa-Torres *et al.*, 2015).

Sin embargo, el cambio climático y el crecimiento de la ciudad ha causado que este sistema de canales e islas artificiales (chinampas) sufran una degradación ambiental importante, ya que afecta principalmente a los anfibios incluido *A. mexicanum* debido principalmente a la disminución en la calidad del agua del lago de Xochimilco, los efectos causados por la influencia antropogénica y la contaminación del hábitat (Alcaraz *et al.*, 2015). Además, esta alteración de la calidad del agua también se debe al vertimiento de aguas residuales y una gran cantidad de químicos inorgánicos y orgánicos (Chaparro-Herrera *et al.*, 2013; Alcaraz *et al.*, 2015), además de la introducción de fauna y flora exótica (Zambrano *et al.*, 2010).

Debido a estos factores la densidad de la población de *A. mexicanum* “ajolotes” se ve amenazada, y ha sido reducida drásticamente en los últimos años, la suma de estos eventos podría llevarlo a la extinción. Por esta razón actualmente *A. mexicanum* se encuentra en peligro “crítico” en la Lista Roja de la UICN y en la NOM-059-SEMARNAT-2001, 2010, 2014 (Alcaraz *et al.*, 2015).

## 4.2. Biología

*A. mexicanum* es una salamandra que presenta paedomorfosis, que es la retención de caracteres larvarios en estado adulto durante todo su ciclo de vida, rasgo que lo restringe a un estado acuático, originando que sea un organismo que presenta neotenia, característica que se presenta cuando alcanza la madurez sexual en formas larvales (Pulido-Flores & Scott, 2013). Usualmente este evento ocurre cuando las hembras alcanzan entre los 12 y los 18 meses de edad. En esta misma etapa ocurre una diferenciación sexual representada por dos características físicas, la primera dada por presentarse el vientre más amplio en las hembras y la segunda el ensanchamiento de la cloaca en el caso de los machos (Mena y Servín, 2014); su ciclo de vida comienza en la reproducción que está relacionado con las estaciones del año (invierno) y con las bajas temperaturas en promedio de 12 °C (Chaparro-Herrera, 2014).

*A. mexicanum* tiene una fecundación interna por medio de un espermátforo que es colocado por el macho y absorbido por la cloaca de la hembra, en su desove liberan de 200 a 1500 huevecillos, su vida reproductiva óptima tiene una duración de cinco a seis años (Díaz, 2015). Su desarrollo larval comienza a partir de la eclosión del huevo rodeado por vitelo y presentando una mayor sobrevivencia a una temperatura de 16 a 18 °C. Sin embargo, durante las primeras semanas las larvas se desarrollan mejor a una temperatura entre los 16 a 22 °C (Mena y Montes, 2014). Cuando hay un mayor crecimiento, empieza el desarrollo de una característica distintiva como son los tres pares branquiales, en el dorso tiene una membrana rígida que se prolonga por toda la cola formando una aleta y presenta 12 pliegues de cada lado a lo largo del cuerpo, durante las primeras 10 semanas se desarrollan las patas presentando 4 dedos finos y prolongados en las patas anteriores, y cinco en las posteriores, no desarrollan uñas, de adulto el cuerpo es

robusto y alargado alcanzando una longitud de 35 cm, (Montes, 2018). *A. mexicanum* tiene un sistema digestivo con un tracto gastrointestinal relativamente corto y delgado. En estados larvarios son principalmente detritívoros y zooplancbívoros.

#### **4.3. Problemática**

Las amenazas a la especie son numerosas, comprende la pérdida de hábitat y la contaminación de los cuerpos de agua (Bride *et al.*, 2008). Los efectos de la contaminación pueden observarse en el crecimiento y la reproducción, las altas concentraciones de nitrógeno y nitratos afectan el consumo de alimentos y la movilidad que resulta en pérdida severa de peso (Chaparro-Herrera *et al.*, 2013). Esta disminución dramática del axolotl podría ser relacionada con la presencia de las interacciones depredador-presa que juegan un papel central en la influencia de la dinámica de la población y estructura de la comunidad en diversos ecosistemas (Zambrano *et al.*, 2010).

El aumento dramático de las especies introducidas afecta la población de *A. mexicanum* por la competencia de los recursos obligándolos a disminuir su movilidad y utiliza refugios o diferentes áreas para evitar la depredación, los depredadores exóticos alteran las comunidades acuáticas con consecuencias negativas disminuyendo poblaciones tanto de depredadores como de presas (Alcaraz *et al.*, 2015).

#### **4.4. Las especies invasoras**

Las especies exóticas se encuentran en una región como resultado de un largo proceso de adaptación a las condiciones ambientales existentes y del desarrollo de complejas interacciones con otras especies, estos organismos transportados por medio naturales o por actividades humanas que llegan a establecerse fuera de su área de distribución

natural siendo una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad en todo el mundo (Aguilar *et al.*, 2010; De Alba *et al.*, 2017; Koleff *et al.*, 2010).

Aunque las invasiones biológicas pueden ser parte de un proceso natural la dispersión y colonización de nuevos hábitats, en las últimas décadas las actividades humanas como fue la presencia de dos especies exóticas como son carpa común (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) y muy pocos (*O. aureus*), que fueron introducidos a Xochimilco como parte de programa de acuicultura. Sus altas tasas de reproducción implico un fuerte aumento de la población en los últimos 10 años y han acelerado la dispersión de las especies de diferentes grupos taxonómicos. (Zambrano *et al.*, 2010). Los impactos ecológicos que causan las especies invasoras pueden ser dramáticos y llegan incluso a causar la extinción de las poblaciones de especies nativas. Alterando los procesos y las funciones ecológicas.

Las especies invasoras deterioran los recursos naturales y en consecuencia los servicios ambientales, afectando la producción de alimentos y la calidad del agua. Siendo los sistemas acuáticos los más sensibles a las extinciones de especies que habitan esos ambientes con relación a depredación y competencia como en el caso de *A. mexicanum*, (Aguilar *et al.*, 2010; De Alba *et al.*, 2017; Koleff *et al.*, 2010; Zambrano *et al.*, 2010). Afectando la dinámica de lagos poco profundos incluidos los hábitos alimenticios de ambas especies acuícolas importantes como tilapia y el ajolote principalmente bentívoros, mientras que la tilapia es omnívora. Sin embargo, las dos especies compiten en sus etapas larvarias por el Zooplancton. (Chaparro-herrera *et al.*, 2011).



#### **4.5. El zooplancton**

El zooplancton tiene una gran variedad de formas y tamaños que van desde 2.0 a 2000 micras y un intervalo de nado de 2 a 80 mm/s (Valiente *et al.*, 2010). *A. mexicanum* ingieren a su presa de uno en uno, así mismo seleccionan su presa con base en el tamaño del cuerpo de la presa relacionándolo con la capacidad del tamaño de la boca del depredador (Chaparro-Herrera *et al.*, 2011). Las presas que se adaptan a estas características son los rotíferos, cladóceros y ostrácodos, estos grupos coexisten en una gran diversidad de tamaños y formas con el ajolote en condiciones naturales (Chaparro-Herrera, 2014).

El Lago de Xochimilco tiene una abundancia de rotíferos de 70 sp, 10 sp de cladóceros, y 2 sp ostrácodos, colocándolos entre los principales componentes de las comunidades de zooplancton del Lago Xochimilco (Chaparro-herrera *et al.*, 2011 & S. Nandini *et al.*, 2005). Las variaciones estacionales son importantes en la diversidad del zooplancton ya que promueven una gran riqueza de especies durante el año influenciado también por los cambios en las condiciones fisicoquímicas principalmente por la temperatura, oxígeno, profundidad, nutrientes y pH (Sarma *et al.*, 2008; Valiente *et al.*, 2010).

Durante los primeros días las larvas de *A. mexicanum* se alimenta del saco vitelino, posteriormente al absorber el saco vitelino las larvas se nutren de algunas microalgas y micro crustáceos (Zooplancton) (Mena y Servín, 2014), teniendo un consumo selectivo por presas principalmente, cladóceros y ostrácodos (Chaparro-Herrera, 2014).

#### **4.6. Ecología alimentaria**

*A. mexicanum* compite por el alimento con varios grupos de vertebrados (aves, anfibios y peces), al competir afecta su sobrevivencia, crecimiento

y reproducción, por lo que es de suma importancia conocer su ecología alimentaria (Chaparro-Herrera, 2014). La ecología alimentaria de *A. mexicanum* tiene relación entre depredadores (competencia) y entre el depredador y sus presas. Originalmente *A. mexicanum* era depredador superior en Xochimilco ahora aparece como amenazado por estas especies (Alcaraz *et al.*, 2015). *A. mexicanum*, así como *O. niloticus* son depredadores que eligen cuándo comer, dónde comer, qué comer y cuánto, basado en el número de compensaciones en la energía que se gasta y se adquiere de las presas.

De las problemáticas antes mencionadas los depredadores introducidos en el lago de Xochimilco presentan una invasión muy severa, principalmente la Carpa común y la tilapia (Zambrano *et al.*, 2010). Los peces introducidos presentan una gran variedad en su ecología alimentaria, debido a que tienen la capacidad de ocupar distintos niveles tróficos (Trujillo-Jiménez *et al.*, 2006).

La ecología alimentaria de las especies acuáticas es la adaptabilidad trófica, siendo una expresión descriptiva de la conducta alimentaria de las especies, consistiendo en la flexibilidad de cambiar de un alimento a otro. La dieta de los organismos acuáticos cambia durante su desarrollo, debido a los cambios morfológicos acompañados de crecimiento, o por cambio en el forrajeo (Trujillo-Jiménez *et al.*, 2006). Las altas densidades de peces ejercen una alta presión de depredación sobre el zooplancton principalmente cladóceros (Gayosso-Morales *et al.*, 2017).

## 5.1. Antecedentes

Un estudio reportado por Alvarado *et al.*, en el 2002 presenta información sobre los hábitos alimenticios de una población de paedomorfos de *Ambystoma ordinarium*. Los paedomorfos más pequeños presentaron en sus estómagos numerosas presas pequeñas (zooplancton), mientras que los paedomorfos más grandes consumieron presas más grandes (artrópodos). Bolker (2008), reportó que en las regiones del norte de Arizona las poblaciones de *Ambystoma tigrinum* tienen la mayor tasa de mortalidad por enfermedades inducidas por adultos acuáticos y terrestres, el canibalismo y las enfermedades

El estudio realizado por Zambrano *et al.*, en el 2010 menciona que en el Lago de Xochimilco existen nichos donde se puede potencializar la distribución del ajolote. Los resultados indicaron que la distribución potencial del ajolote en Xochimilco se limita a 11 sitios, aislados y ubicados en su mayoría en zonas donde se ejerce la agricultura tradicional, también mostró la presencia de un único organismo en toda la región de estudio.

En un estudio en el 2013 Chaparro-Herrera y colaboradores, realizaron un estudio del efecto de la calidad del agua en la ecología alimentaria de *A. mexicanum*; reportando que el zooplancton con mayor referencia alimentaria en las primeras semanas de desarrollo son los cladóceros (*Moina macrocopa*, *Alona glabra*, *Macrothrix triserialis*, *Simocephalus vetulus* y el ostrácodo *Heterocypris incongruens*). También observaron que la especie invasora *Oreochromis niloticus* tuvo dominio en las zonas de preferencia alimentaria y que al igual que la contaminación del lago interfieren en la alimentación de *A. mexicanum* mostrando una disminución del consumo de las presas.

Por otro lado Chaparro-Herrera, (2014) realizó en el lago de Xochimilco un estudio sobre la evaluación del impacto del pez *Oreochromis niloticus*

en la sobrevivencia y comportamiento alimenticio de *A. mexicanum* (anfibio) a través de cambios en la estructura de la comunidad zooplanctónica, menciona que la introducción de *O. niloticus* con una densidad de 0.093 org/m ha llegado a desplazar al *A. mexicanum* que es de 0.001org/m, se determinó la ecología alimentaria como herramienta para ver el impacto negativo de los contaminantes sobre la dinámica de *A. mexicanum*. También reporta que los parámetros biológicos y fisicoquímicos del Lago de Xochimilco que hay una influencia en el comportamiento alimentario de ajolotes inhibiendo la actividad alimentaria, afectando la sobrevivencia de las larvas.

Un estudio más reciente realizado por Fuentes en el 2017 en el noroeste del Estado de México determinó el solapamiento de dietas y la preferencia alimentaria de larvas de *Ambystoma granulosum* y *Ciprinus carpio*, utilizando como presa al zooplancton (crustáceos) y larvas de insectos acuáticos. *A. granulosum* mostró una selectividad de presa de acuerdo con su edad teniendo una preferencia de cladóceros hasta la séptima semana teniendo un solapamiento de alimentación con *C. carpio* reportando una ingestión alta.

### **6.1.-Objetivo General**

Evaluar el impacto de la competencia entre la especie del pez invasor *Oreochromis niloticus* (tilapia) con la especie del anfibio nativo *Ambystoma mexicanum* en relación con el comportamiento alimentario.

### **6.2.-Objetivos particulares**

Determinar las presas (zooplancton) disponibles en el área de estudio del lago de Xochimilco.

Analizar los factores fisicoquímicos con la presencia y ausencia de las presas (zooplancton) en la columna de agua del Lago de Xochimilco.

Observar el comportamiento alimentario de *A. mexicanum*, con relación a la presencia de la especie invasora *O. niloticus* (Tilapia).

Evaluar el periodo de alimentación, así como la cantidad de presas capturadas, en cada especie (invasora y nativa) en las primeras semanas de desarrollo.

## 7.1.-Justificación

Actualmente uno de los humedales más importantes de tipo lacustre es el Lago de Xochimilco que mantiene su nivel con el agua del Cerro de la estrella y San Luis Tlaxiátemalco. Relevante por su riqueza en fauna y flora endémica, tiene una de las especies más importantes como es *A. mexicanum*, organismo que se encuentra en peligro de extinción en gran medida por los peligros a los que se someten actualmente los ajolotes en Xochimilco como es la competencia por el alimento debido a la introducción de especies exóticas. La abundancia de *A. mexicanum* ha disminuido, esto podría deberse a que su comportamiento alimentario haya cambiado por causa de la competencia, la presencia y ausencia del zooplancton (cladóceros y copépodos) es por esto que se realizará un estudio de 3 horas para conocer el comportamiento, ya que no hay estudios que reporten la estructura y consumo del zooplancton en el transcurso del día, solo se encontraron tres trabajos realizados en México relacionados con el comportamiento alimentario en larvas de *A. mexicanum* a pesar de ser un modelo de investigación para las áreas de reproducción, desarrollo y regeneración. Debido a lo mencionado anteriormente es importante realizar un estudio en el que se evalúe el impacto de la competencia y el comportamiento alimentario para una posible reintroducción o su conservación.

### **8.1. Hipótesis**

La alimentación de *A. mexicanum* puede verse afectada con la presencia de *O. niloticus* (competencia), influenciando la movilidad, la hora de consumo y la interacción depredador-presa, provocando que pueda haber diferencias en la cantidad y preferencia alimentaria, así como un cambio o competencia en el horario de consumo de presa.

Si la calidad del agua presenta cambios en los parámetros fisicoquímicos que favorecen la presencia y ausencia de zooplancton (presas), podrían cambiar la densidad de ciertos grupos de zooplancton, como son: ostrácodos, rotíferos, cladóceros y copépodos. Por otro lado, si la densidad para un grupo determinado de zooplancton se ve afectada por la calidad del agua, causará condiciones favorables o desfavorables para la alimentación de las larvas de *A. mexicanum*.

## 9.1. Materiales y Métodos

### 9.2. Zona de muestreo

San Gregorio Atlapulco (Lago de Xochimilco): La zona de estudio se encuentra en las coordenadas geográficas 19°17'6" de latitud norte, y longitud 99°6'7.2" oeste, a 2240 m.s.n.m. pertenece a la región del Pánuco dentro de la cuenca hidrológica del Río Moctezuma y de la subcuenca del Lago Texcoco Zumpango, cubren un área de 125 kilómetros de canales conectados entre sí y entre los más importantes se encuentran Cuemanco, Nacional, y Chalco. La profundidad media es de 60 cm en los canales y en las zonas inundadas es de 3 a 6 m. Presenta un clima templado subhúmedo con temperatura anual de 12° a 18 °C. La fauna está compuesta por 139 especies de las cuales 23 son endémicas del Lago de Xochimilco, 20 de estas especies están bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-59 SEMARNAT, (2001, 2010).



Figura 1. SGA (Lago de Xochimilco), Ciudad de México por Google Earth, Los puntos rojos indican la ubicación de donde fueron tomadas las muestras.



### 9.3. Campo

#### 9.3.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

Se evaluaron las condiciones fisicoquímicas del Lago de Xochimilco de 20 sitios, (Anexo 14.4). Se midieron *in situ* pH, Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura, saturación de oxígeno, Conductividad y Nutrientes, con ayuda de una sonda multiparamétrica de calidad del agua marca Hydrolab modelo (HANNA) DS5X. En paralelo se midió la profundidad y transparencia con el Disco de Secchi.

#### 9.3.2. Toma de muestra para el Zooplancton

Para el Zooplancton se recolectaron 100 L de agua en cada uno de los 20 puntos los cuales fueron filtrados en una malla zooplanctónica de 50 micras a cada muestra se le agregó 5 mL de formaldehído. Posteriormente se filtraron 100 L de agua para las muestras de zooplancton vivo (sin formaldehído) los cuales se utilizó para realizar cultivos en laboratorio que a posteriori se usaran en la fase experimental.



Figura 2. Toma de muestra de SGA lago de Xochimilco con una red de 50  $\mu\text{m}$  de apertura de malla.

## 9.4. Laboratorio

### 9.4.1 Cultivos de fitoplancton

Se cultivaron especies de microalgas (*Scenedesmus acutus* o *Chlorella vulgaris*) para dar como alimento a los cultivos de zooplancton. Para ello se utilizó el medio basal Bold implementado por bicarbonato sódico (S.S.S. Sarma *et al.*, 2001). (ver Anexo 14.2)

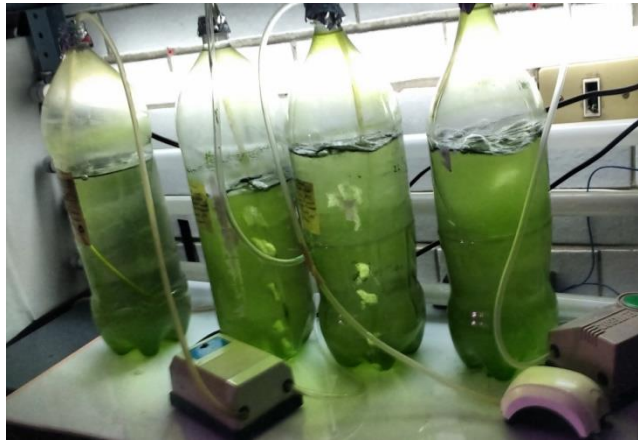


Figura 3. Cultivos de microalgas de *Scenedesmus acutus* y *Chlorella vulgaris*.

### 9.4.2 Cultivos de zooplancton.

En el caso del zooplancton, se identificaron y aislaron especies de rotíferos (*Brachionus calyciflorus*) cladóceros (*Daphnia*) y ostrácodos (*Heterocypris incongruens*); posteriormente se cultivaron los organismos que se colectaron en campo, usando medio EPA y se alimentaron de microalgas (*S. acutus* o *C. vulgaris*) (Mena y Servín, 2014; Sarma *et al.*, 2007; Sarma *et al.*, 2017).

### 9.4.3 Conteo e identificación de Zooplancton.

El conteo de zooplancton e identificación se realizó en el microscopio estereoscópico Nikon SMZ800 y el microscopio óptico Nikon

eclipseTS100, para su identificación se utilizaron guías y claves de identificación (Ribera *et al.*, 2015).

#### **9.4.4 Mantenimiento de *A. mexicanum*.**

Las larvas de *A. mexicanum* que se utilizaron en los experimentos se obtuvieron de dos colonias de Ajolotes (Laboratorio de Conservación y Medio Ambiente y del Laboratorio de Herpetología “vivario” de la FES Iztacala UNAM). Los huevos se mantuvieron en solución (EPA) que se preparó disolviendo 0.095 g de NaHCO<sub>3</sub>, 0.06g de CaSO<sub>4</sub>, 0.06g de MgSO<sub>4</sub> y 0.002g de KCL en 20 litros de agua destilada, en condiciones de 15 - 20 °C, en un fotoperiodo de 12 por 12 horas. Posteriormente para el mantenimiento de las larvas de ajolote, se utilizó solución (EPA) Los huevos de *A. mexicanum* fueron colocados en bandejas transparentes poco profundas de 2 L, y fueron alimentados *ad libitum* sobre una mezcla de cladóceros (Chaparro-Herrera *et al.*, 2011).



Figura 4. Larva de *A. mexicanum* en la segunda semana de desarrollo.

#### 9.4.5. Mantenimiento de *O. niloticus*

En cuanto a las larvas de *O. niloticus* se obtuvieron mediante una red de pesca en el lago de Xochimilco. Una vez capturados se mantuvieron en una dilución 50 % de agua del Lago y 50 % de Solución EPA. Posteriormente en el laboratorio se colocaron al 100% en medio EPA a una temperatura de 20 a 22 °C.

#### 9.4.6. Fase experimental

Se manejaron tres experimentos A, B y C. Con tres repeticiones cada uno: A) se colocaron dos ajolotes; B) dos tilapias; C) dos ajolotes y dos tilapias, todos los experimentos tuvieron una temperatura de 20 a 23 °C, un pH de 6 a 6.5 y un fotoperiodo de 12 por 12 horas. Estos experimentos de preferencia alimentaria tuvieron una variable de tiempo en: mañana (8:00 hrs), tarde (2:00 hrs) y noche (20:00 hrs).



Figura 5. Fase experimental A, B y C. Con tres repeticiones cada uno: A) se colocó dos ajolotes; B) dos tilapias; C) dos ajolotes y dos tilapias a las 8:00 hrs.

#### 9.4.7. Experimentos de Preferencia alimentaria

Los experimentos de preferencia alimentaria con especies de zooplancton cultivadas en el laboratorio provenientes de los puntos muestreos realizados en el lago de Xochimilco, fueron realizados durante las primeras semanas desde la segunda hasta décima semana a partir de la eclosión. Las larvas de *A. mexicanum* y *O. niloticus* fueron colocados en ayuno de 24 hrs. El número de presas ingeridas se determinó con base en las diferencias entre su densidad inicial y final (Domínguez-Domínguez, 2002; Chaparro-Herrera, 2007) contando los organismos al microscopio estereoscópico Nikon SMZ800. El zooplancton para las pruebas de preferencia alimentaria fue de los órdenes: rotíferos (*Brachionus calyciflorus*), ostrácodos (*Heterocypris incongruens*) y cladóceros, (*Daphnia sp.*) en cada tratamiento se colocó en una pecera a la que se añadió un Litro de medio (EPA), se manejó una temperatura de 20 a 23 °C y fueron alimentados con 10 organismos de cada orden. Con un total de 30 org. cada hora.



Figura 6. *Heterocypris incongruens*



Figura 7. *Brachionus calyciflorus*



Figura 8. *Daphnia sp.*

### **9.5.1. Shannon Wiener**

Se realizó el Índice de diversidad Shannon Wiener como un de las medidas para obtener información de las muestras de campo para medir la calidad del hábitat, así como los afluentes de contaminación del Lago de Xochimilco combinando dos medidas cuantitativas la riqueza de especies de zooplancton dentro de la comunidad y la abundancia de especies. (Anexo 14.6)

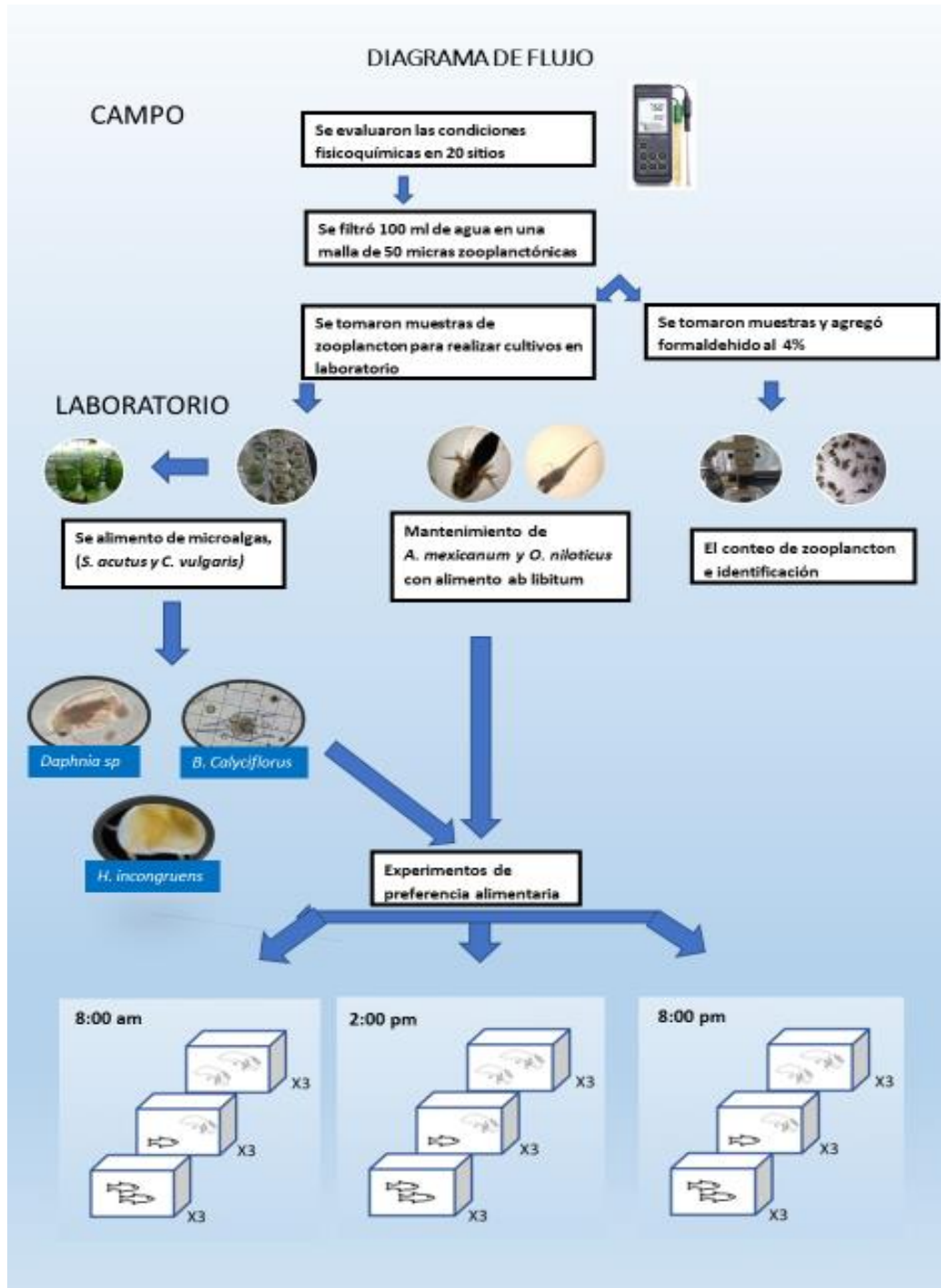
### **9.5.2. Índice de alfa de Manly**

La preferencia relativa de cada depredador se determinó mediante el modelo del índice del alfa de Manly (Krebs, 1999) este mide la probabilidad de que una presa sea seleccionada para su consumo en este caso el zooplancton de los géneros rotíferos (*Brachionus calyciflorus*), ostrácodos (*Heterocypris incongruens*) y cladóceros (*Daphnia sp.*) que se encuentren en una disponibilidad similar. (Anexo 14.5)

### **9.5.3. Análisis estadístico ANOVA**

Se realizó un análisis de varianza (por sus siglas en ingles ANOVA) de tres vías y Tukey utilizando el programa Sigma Plot 11, para ver si existía diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos: *Ambystoma mexicanum*, *Oreochromis niloticus*, *Ambystoma mexicanum*, vs *Oreochromis niloticus* con relación al consumo por semana y horario. (Anexo 14.3)

### 6.6.1 Diagrama de flujo del diseño experimental



## 10.1. Resultados

### 10.2. Presencia de zooplancton en las zonas de muestreo

La presencia del zooplancton en los 20 sitios de muestreo del 2017 y 2018 se aprecia en la (Figura 9), el promedio de la densidad de zooplancton (org/mL) correspondiente al orden (rotíferos, copépodos, ostrácodos y cladóceros). Teniendo mayor densidad el orden de los Cladóceros

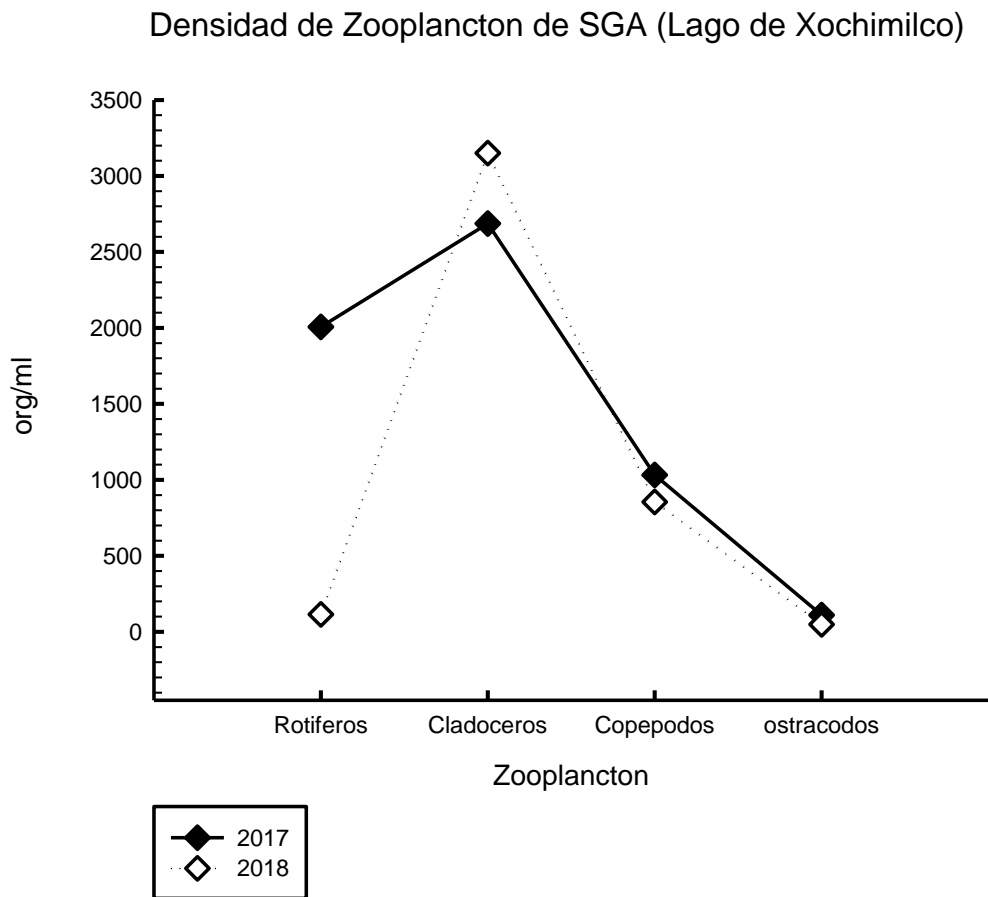


Figura 9. Comparación de la densidad promedio de zooplancton de los 20 sitios en los muestreos del 2017 y 2018 en SGA (Lago de Xochimilco).



## Porcentaje de abundancia por grupo de zooplancton

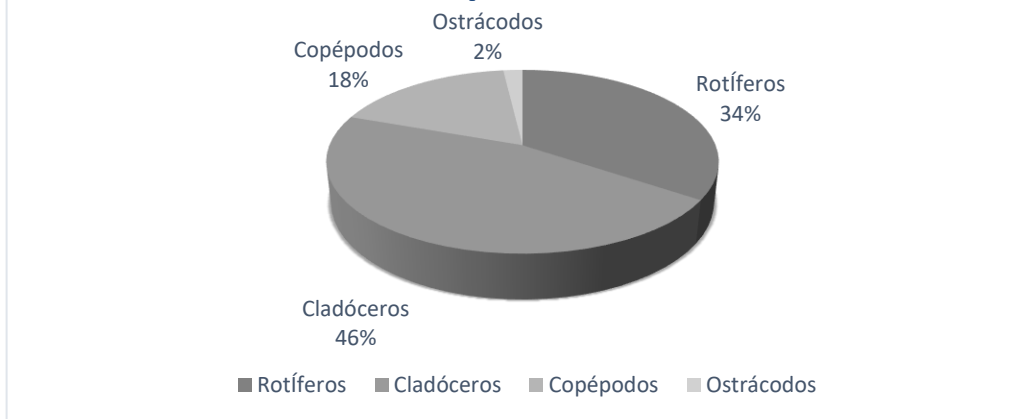


Figura 10. Porcentaje del grupo de zooplancton del muestreo del 2017 en la zona de SGA (Lago de Xochimilco) Ciudad de México.

En la figura 10. Se observa la densidad del zooplancton dominado por el grupo de los cladóceros con 2686.66 org/l esto representa un 46%, el menor porcentaje es representado por los ostrácodos con 2%.

## Porcentaje de abundancia por grupo de zooplancton

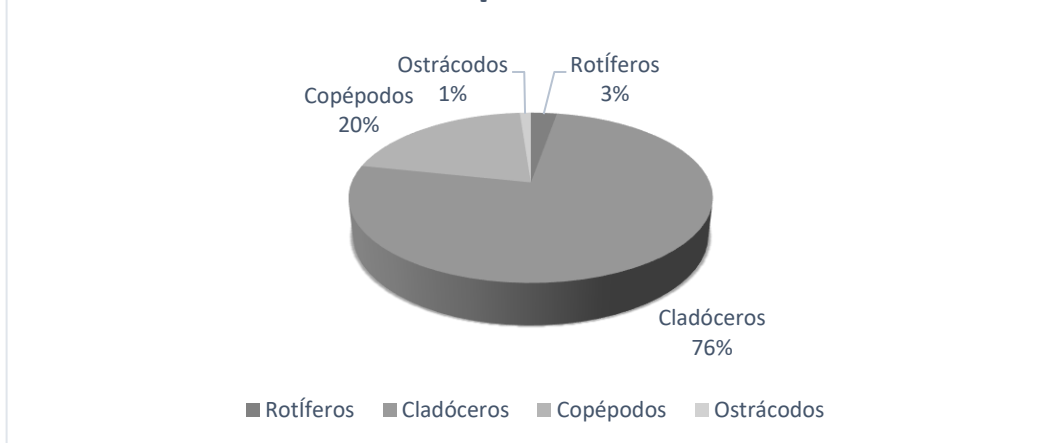


Figura 11. Porcentaje del grupo de zooplancton del muestreo del 2018 en la zona de SGA (Lago de Xochimilco) Ciudad de México.

En la Figura 11 se observa la densidad del zooplancton dominado por el grupo de cladóceros con 3150.8 org/L representando un 76% un 30% más con respecto al 2017. Y el menor porcentaje de ostrácodos con org/L representando el 1 % con respecto al total del zooplancton org/L.

### 10.3. Densidad de zooplancton de los 20 sitios de muestreo de SGA en el Lago de Xochimilco 2017.

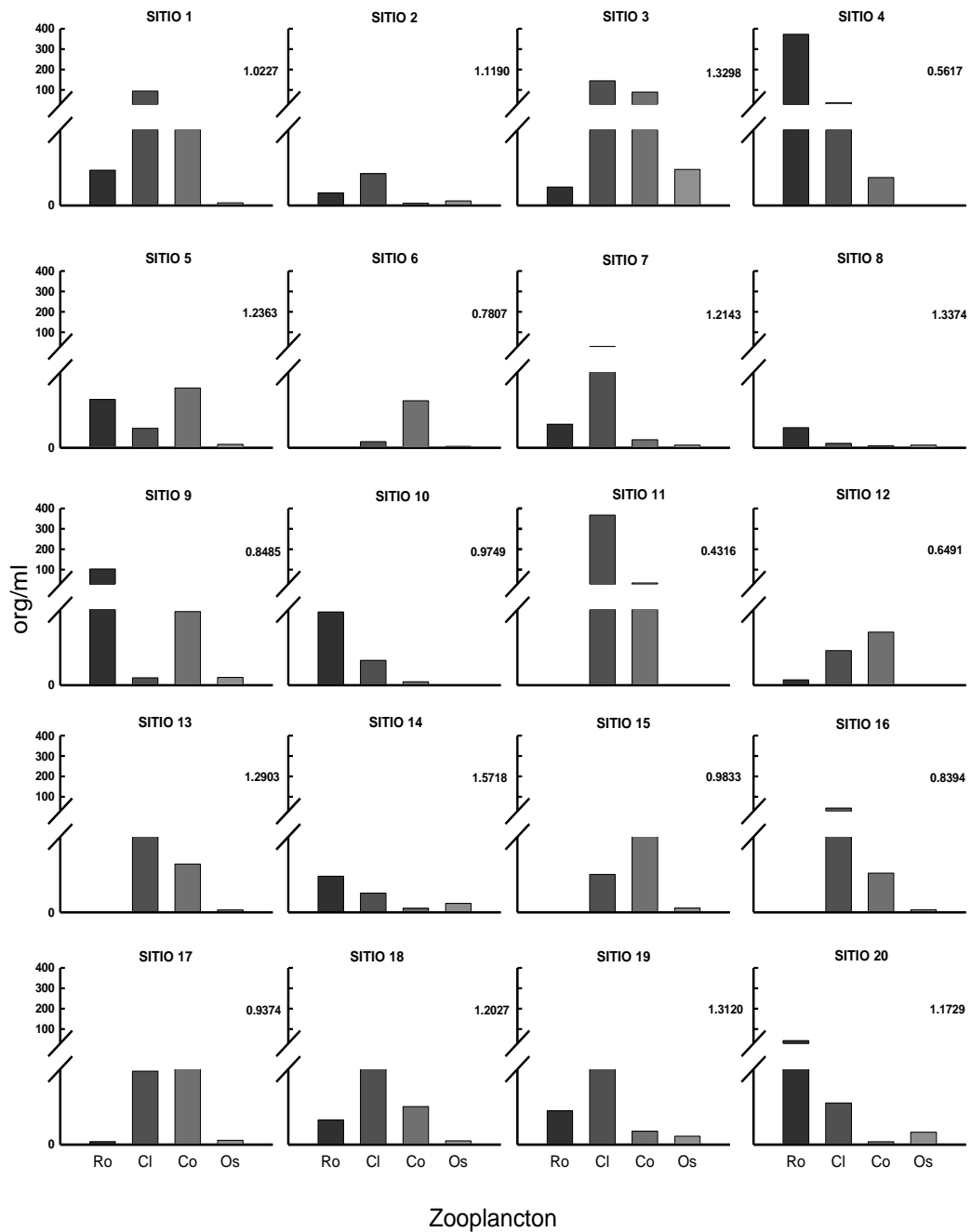


Figura 12.-Diversidad de Shannon Wiener en el zooplancton (Ro: rotíferos, Cl: cladóceros, Co: copépodos y Os: ostrácodos) presentes en los 20 sitios de muestreo de SGA (Lago de Xochimilco) en el 2017.

### 10.4. Densidad de zooplancton de los 20 sitios de muestreo de SGA en el Lago de Xochimilco 2018.

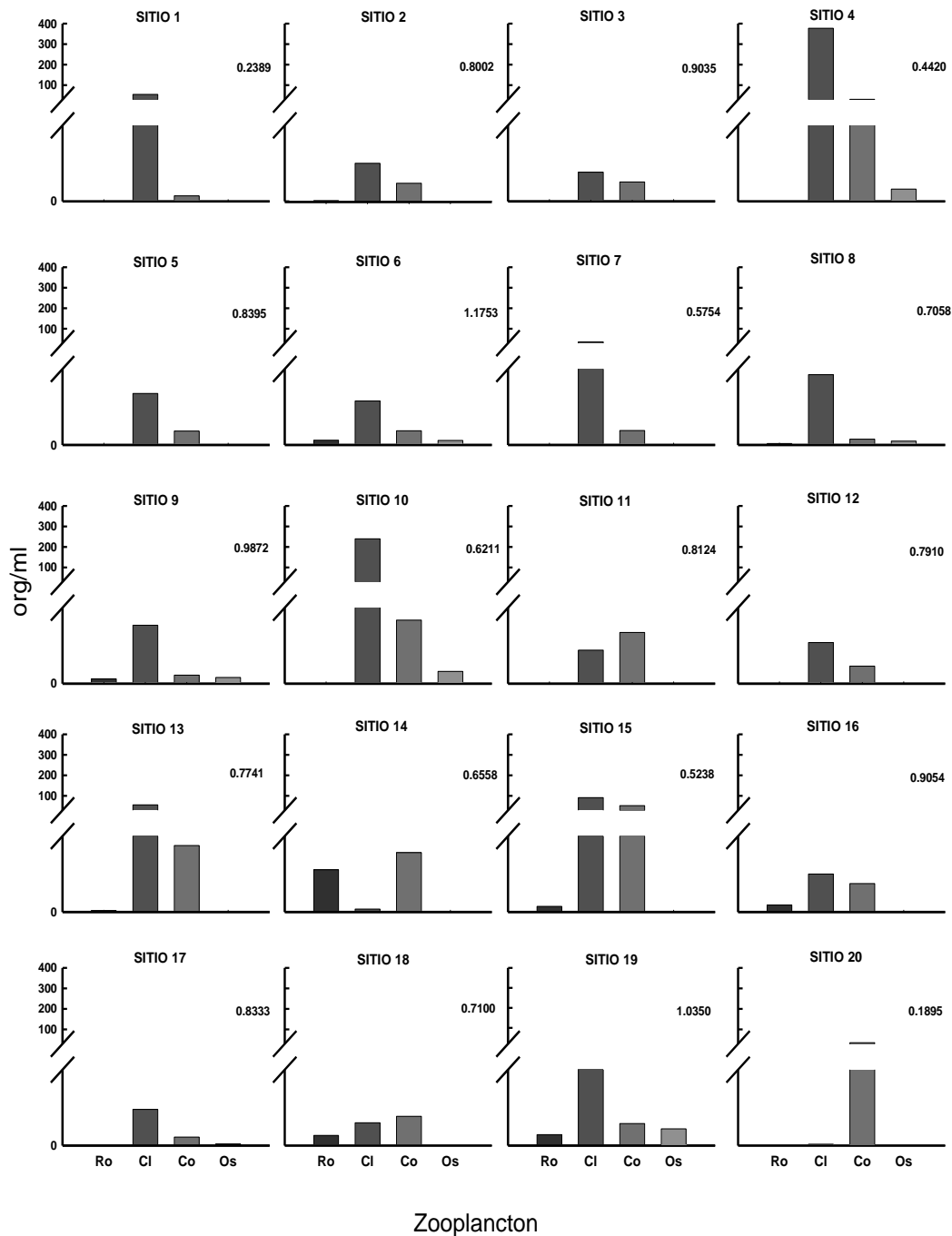


Figura 13.-Diversidad de Shannon Wiener en el zooplancton (Ro: rotíferos, Cl: cladóceros, Co: copépodos y Os: ostrácodos) presentes en los 20 sitios de muestreo de SGA (Lago de Xochimilco) en el 2018.

## 10.5 Parámetros fisicoquímicos

Los datos fisicoquímicos medidos en los 20 sitios de muestreo fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en los Criterios Ecológicos de 1989 (CE-CCA-001/89), así como en la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), para determinar si los sitios podrían o no estar relacionados con la abundancia y densidad del zooplancton.

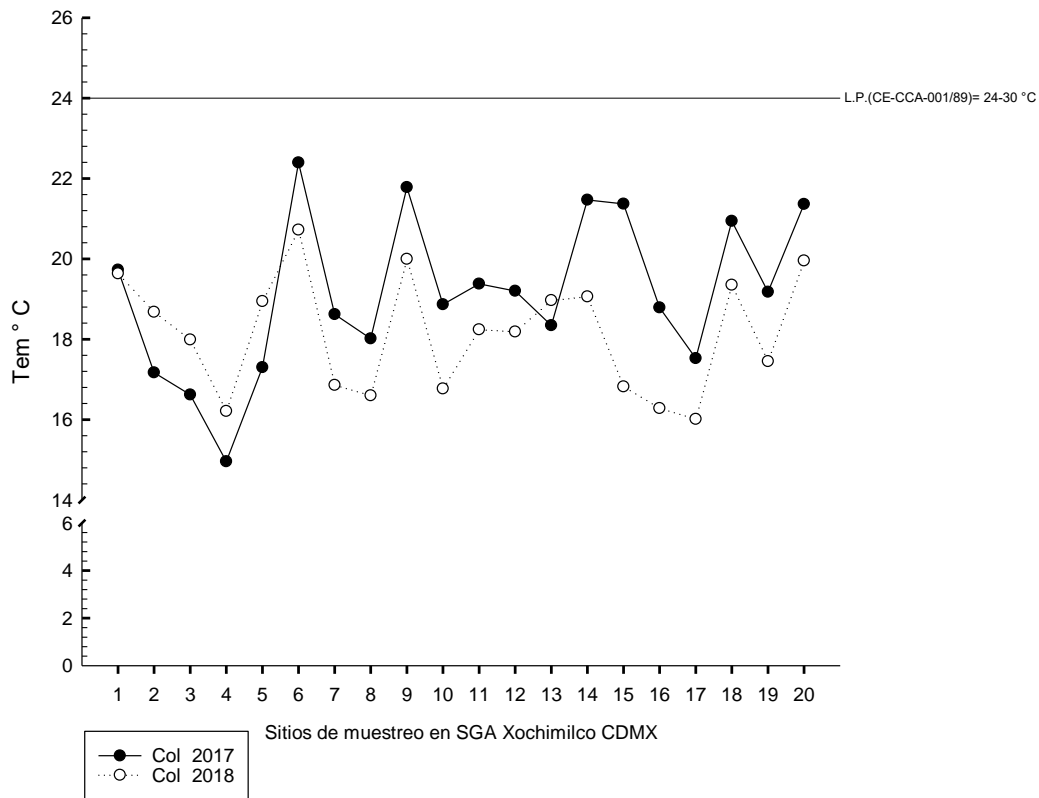


Figura 14. La temperatura en °C, (promedio) del 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX). la línea indica con el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989.

En la figura 14 se muestran los valores promedio de temperatura en los que se puede observar un aumento del 2017 con respecto al 2018. Sin embargo, ningún sitio rebasó L.P. (CE-CCA-001/89), en el sitio 6 (La huerta I) del 2017 se registró el valor más alto con 22.3 °C. Mientras que el valor más bajo fue en el mismo año en el sitio 4 (El bordo) con 14.9 °C.

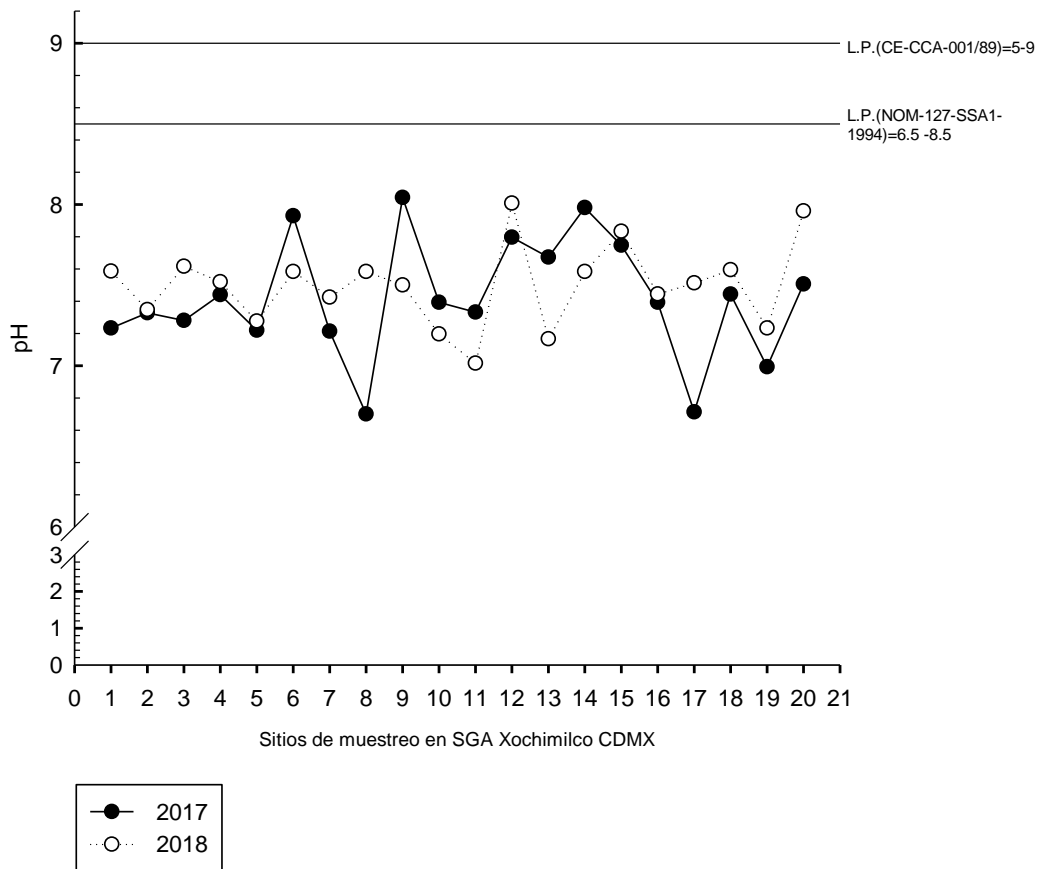


Figura 15. Potencial de Hidrógeno del 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) la línea superior indica con el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. Y la línea inferior indica el límite permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994)

En la figura 15 se observan los valores promedios de pH del 2017 y 2018 registrando valores por debajo de los límites permisibles (L.P.) establecido por los (CE-CCA-001/89) y la (NOM-127-SSA1-1994). Que sugieren 9 y 8.5 respectivamente. Los sitios con valor más alto ligeramente alcalino es el sitio 9 (Oztotzinco) del 2017 con pH 8.04. Mientras que del mismo año el valor más bajo fue el sitio 8 (Tlapechicalli) del 2017 con pH 6.7.

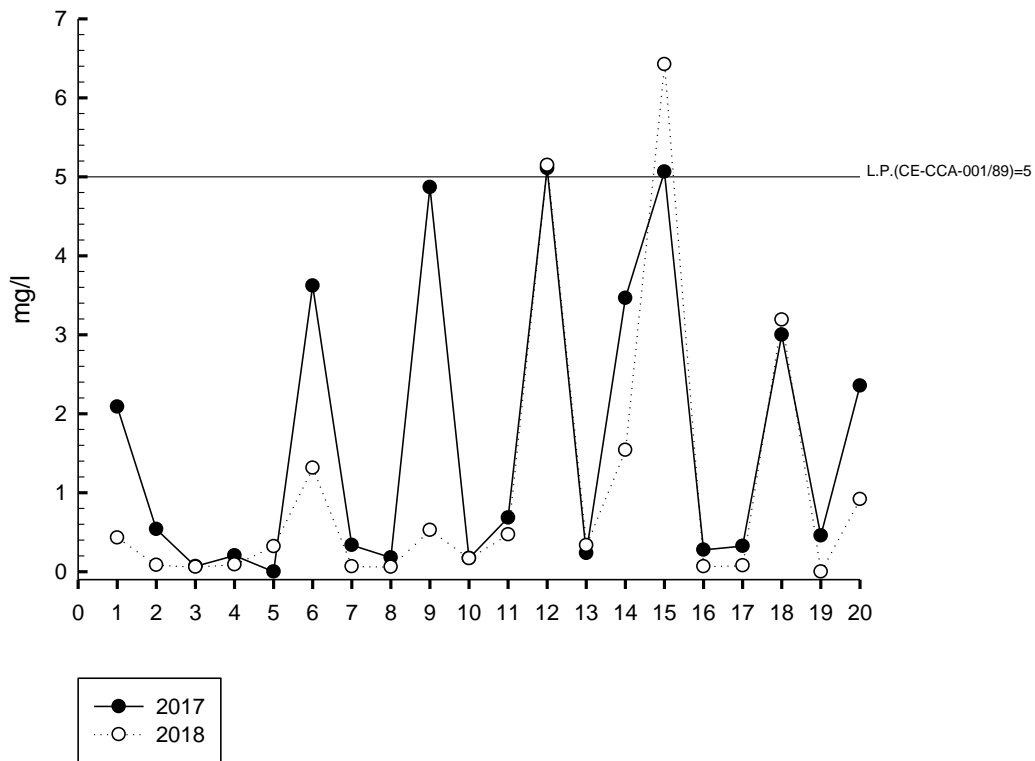


Figura 16. Oxígeno disuelto (mg/l) del 2017 y 2018, de los 20 sitios del lago de SGA (Xochimilco de la CDMX). La línea indica el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989.

En la figura 16 se observan los valores de Oxígeno Disuelto (OD) del 2017 y 2018 fueron rebasados por 2 sitios de muestreo siendo el sitio 15 (La huerta III) con un valor de 6.42 mg/L. Mientras que el más bajo se registraron en los sitios 5 (El ejido) 2017 y 19 (La espejera) 2018 con un valor de 0.00 mg/L.

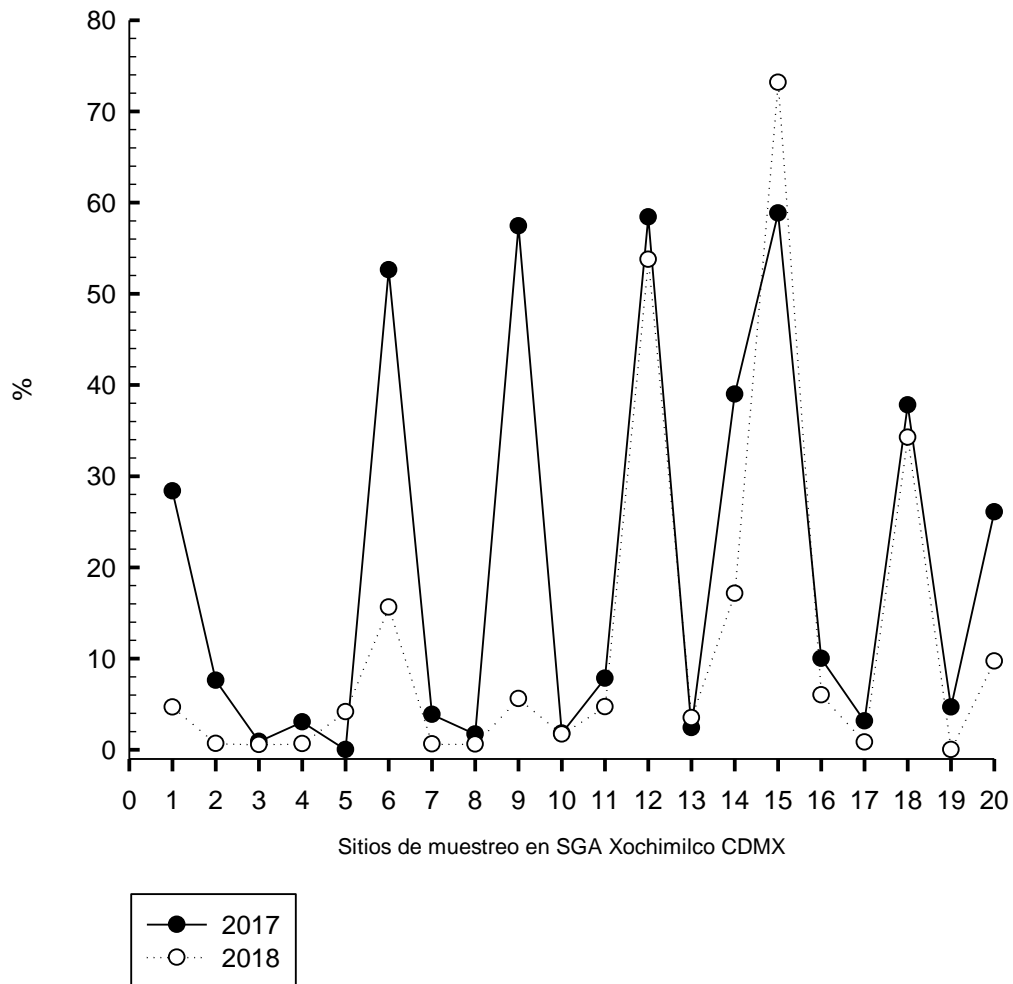


Figura 17. Porcentaje de Oxígeno disuelto del 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (lago de Xochimilco de la CDMX).

En la figura 17, se observa que en el año 2018 tiene el mayor registro en el sitio 15 (La huerta III) con 73.16 %. El menor registro del porcentaje de Oxígeno Disuelto fue en los sitios 5 (El ejido) 2017 y 19 (La espejera) 2018 con un valor de 0 %.

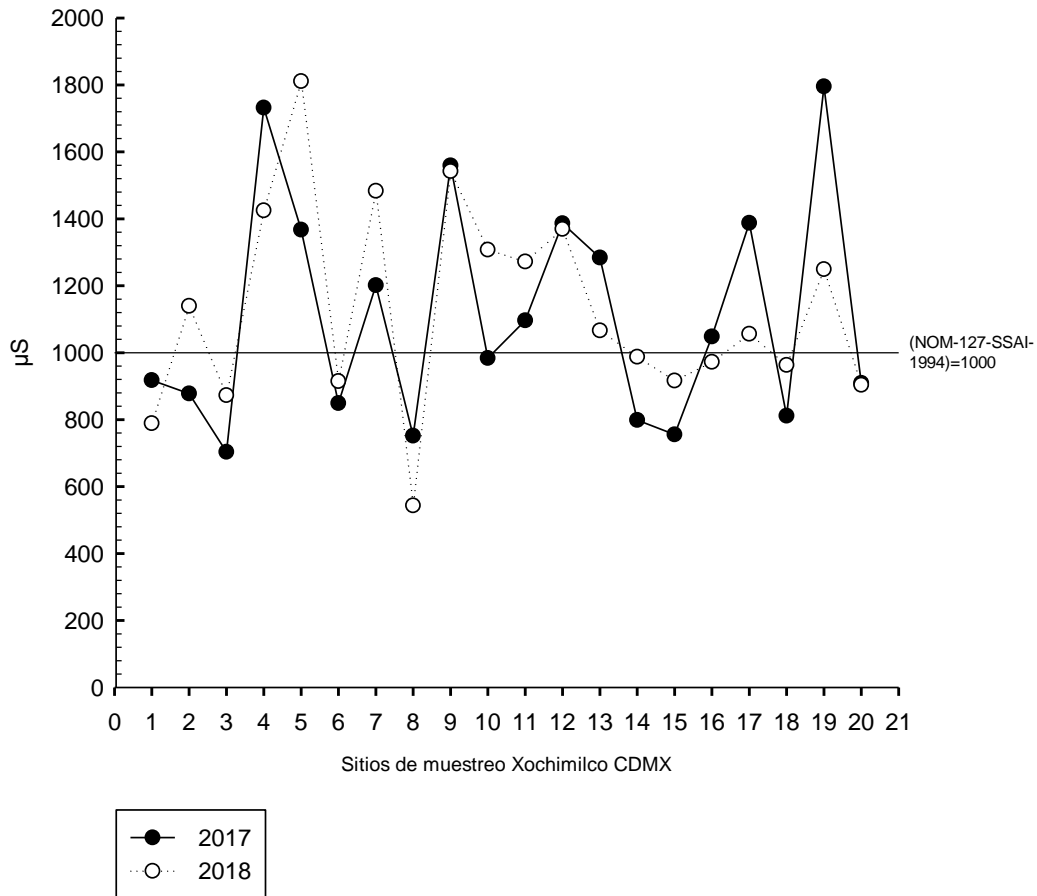


Figura 18. La conductividad valores (promedio) del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Xochimilco de la CDMX). La línea indica el valor límite permitido establecido por la (NOM-127-SSA1-1994).

En la figura 18, se observa que en el muestreo en 2017 y 2018 los valores de 12 sitios sobrepasaron el valor establecido por la (NOM-127-SSA1-1994). El sitio 5 (El ejido) en 2018 es el que mayor valor registro con 1811  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El menor registro de Conductividad fue en el sitio 8 (Tlapechicalli) con un valor de 543.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



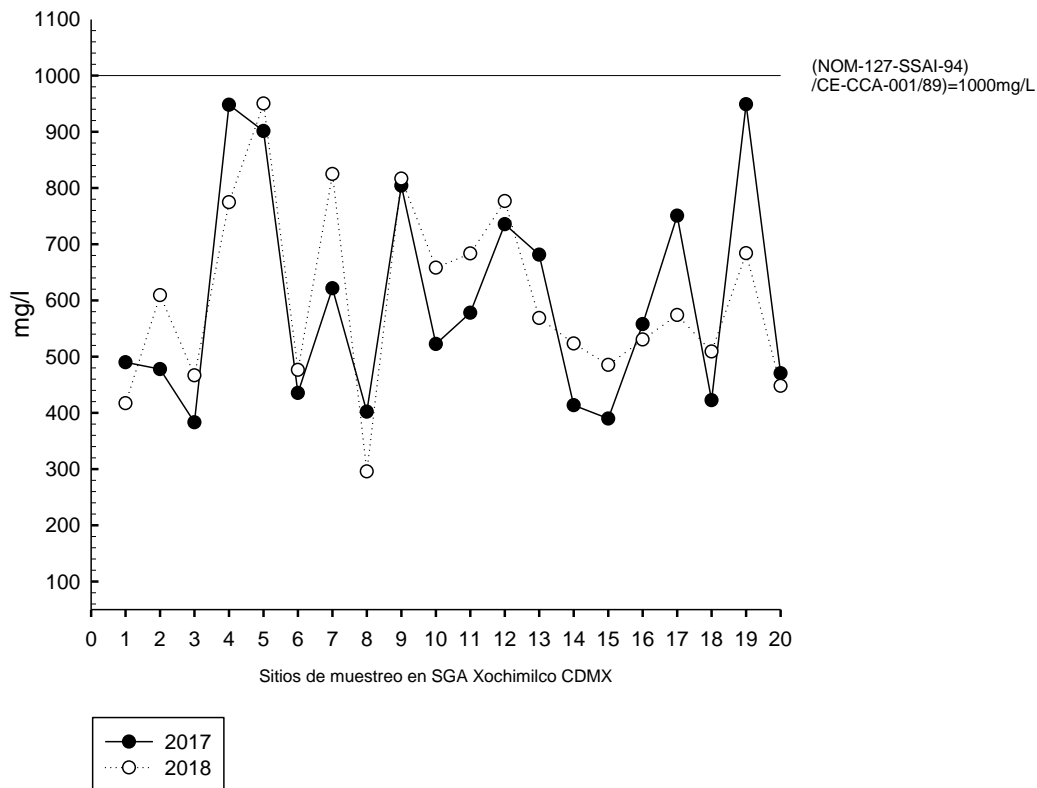


Figura 19. Los valores (promedio) de Solidos Disueltos Totales (SDT) del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios del lago de SGA (Xochimilco de la CDMX), la línea indica el valor límite permitido (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. Y el valor límite permitido (L.P) establecido por la (NOM-127-SSA1-1994).

En la figura 19, se observa que en el muestreo en 2017 y 2018 los valores de los 20 sitios se encontraron por debajo del valor establecido por la (NOM-127-SSA1-1994) y CE-CCA-001/89), con un valor de 1000 mg/L. Siendo el sitio 5 (El ejido) en 2018 el que mayor valor registro con 950 mg/L. El menor registro de SDT fue en el sitio 8 (Tlapechicalli) en el 2018 con un valor de 295 mg/L.

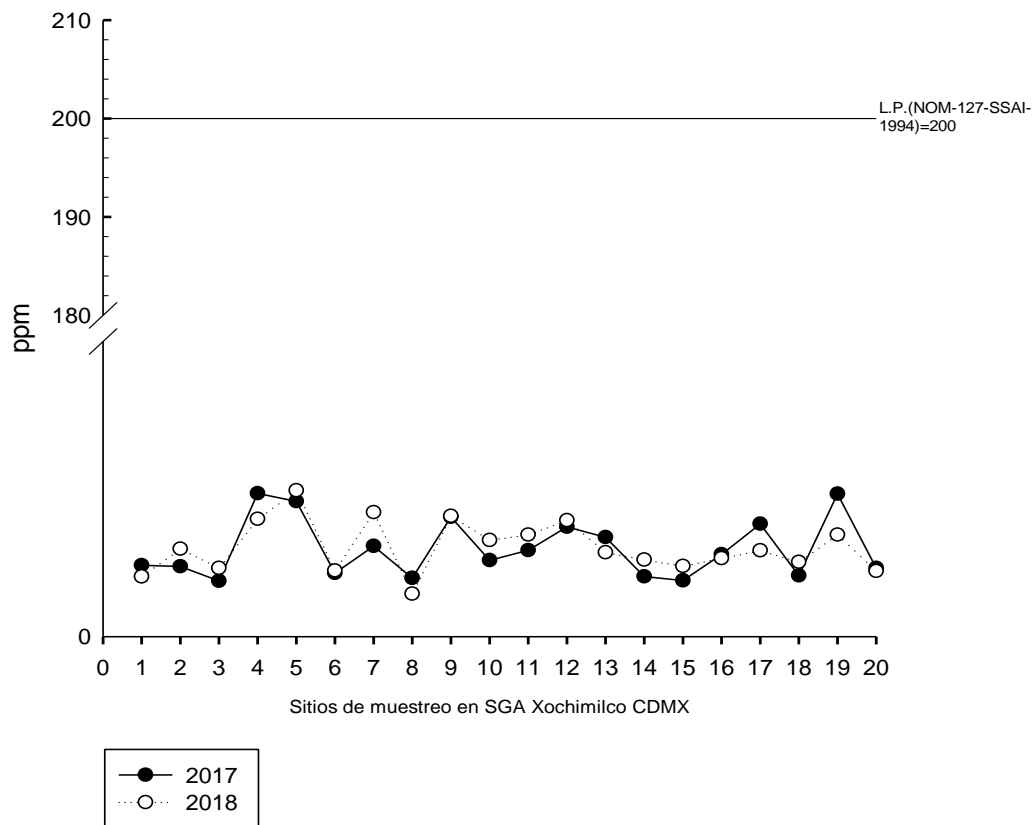


Figura 20. Valores (promedio) de Salinidad del 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX). La línea indica el valor límite permitido establecido por la (NOM-127-SSA1-1994).

En la figura 20, se observa que en el año del 2017 y 2018 los valores de 20 sitios se encuentran por debajo del valor establecido por la (NOM-127-SSA1-1994). Siendo el sitio 5 (El ejido) en 2018 que mayor valor registro con 0.99 ppm. El menor registro de Salinidad en el sitio 8 (Tlapechicalli) con un valor de 0.29 ppm.

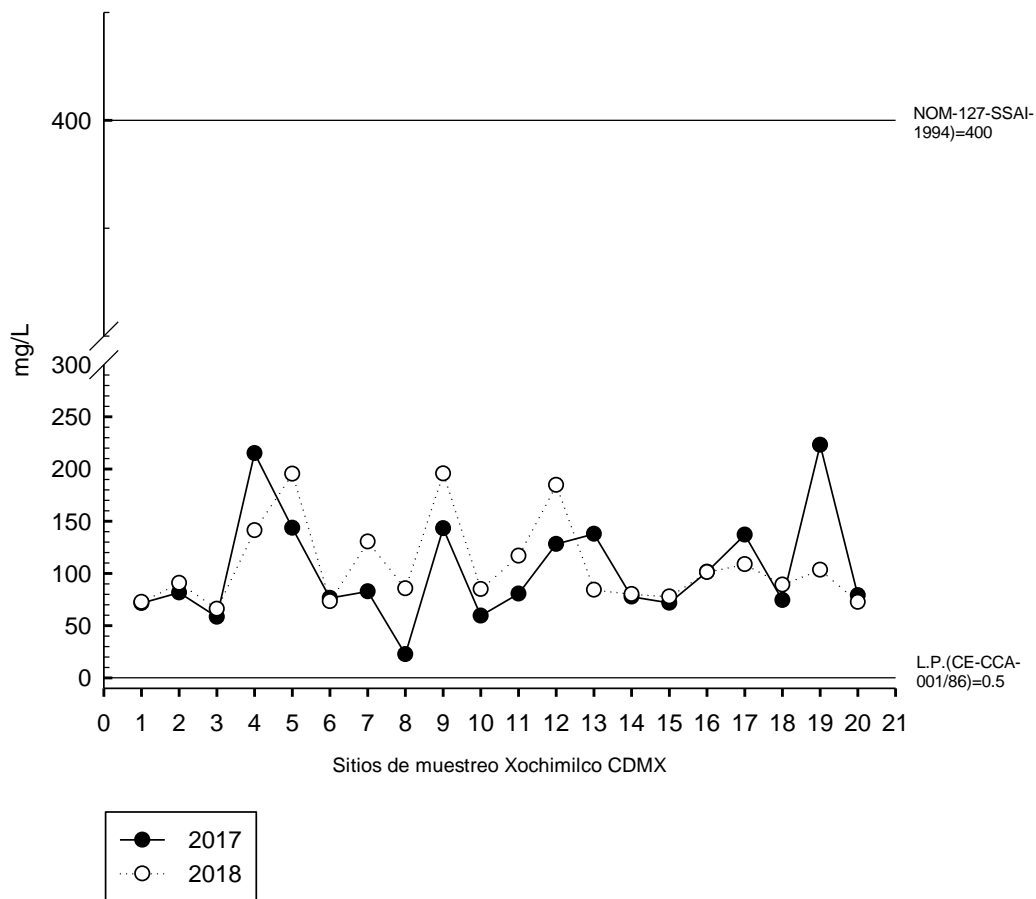


Figura 21. Valores (promedio) de Sulfatos del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) la línea inferior indica con el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. Y la línea superior indica el límite permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994).

En la figura 21, se observa que en el año del 2017 y 2018 los valores de 20 sitios sobrepasaron el valor establecido por los (CE-CCA-001/89). Pero, se encuentran debajo del valor establecido por la (NOM-127-SSA1-1994). Siendo el sitio 19 (La espejera) en 2017 que mayor valor registro con 223.03 mg/L. El menor registro de Sulfatos fue en el sitio 8 (Tlapechicalli) con un valor de 22.53 mg/L.

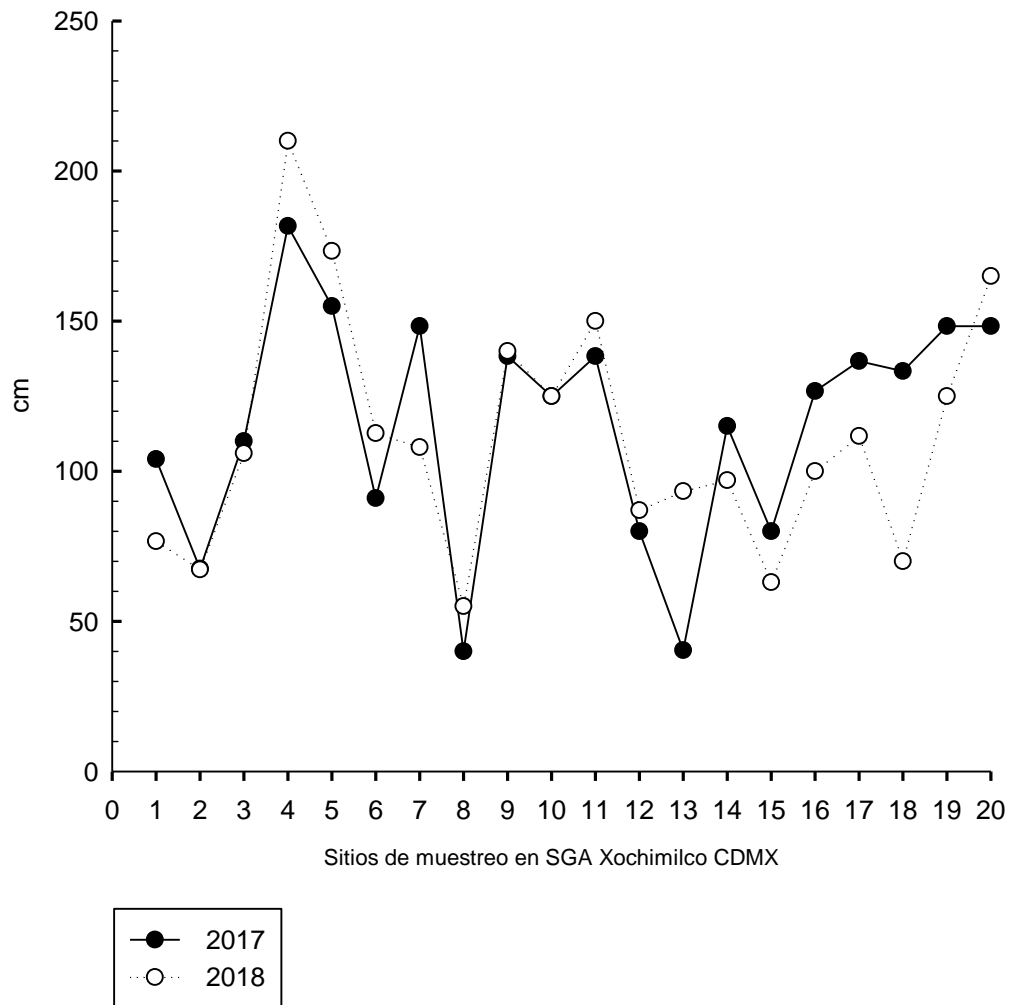


Figura 22. Valores (promedio) de profundidad del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX).

La figura 22, se observan los valores del muestreo del 2017 y 2018 con un promedio de 111-115 cm, con máximo presentado por sitio 4 (El bordo) con un valor de 210 cm en 2018, y con un mínimo presentado en dos sitios, el 8 (Tlapechicalli) y 13 (La huerta II) por un valor de 40 cm en el 2017.

Para profundidad no hay un valor que indique los límites permisibles (L.P.) establecido por los (CE-CCA-001/89), ni de la (NOM-127-SSA1-1994).

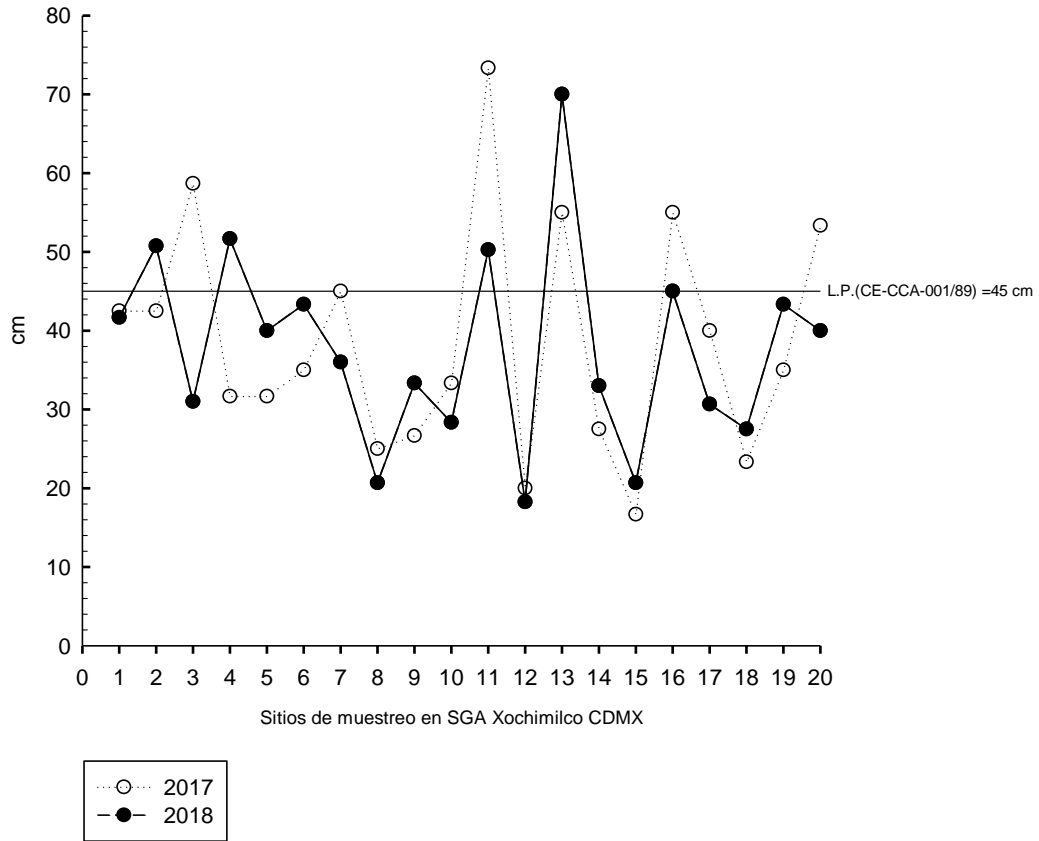


Figura 23. Transparencia de disco de Secchi, (promedio) del 2017 y 2018, en los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco, CDMX), la línea indica el valor limite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989.

En la figura 23, se observa que en el año 2017 los valores permitidos fueron sobrepasados en seis sitios de muestreo siendo el sitio 11 (san Sebastián) que mayor valor registro con 73.33 cm. El menor registro de transparencia fue reportado también en el año 2017 sitio 15 (La Huerta III) con un valor de 16.66 cm.

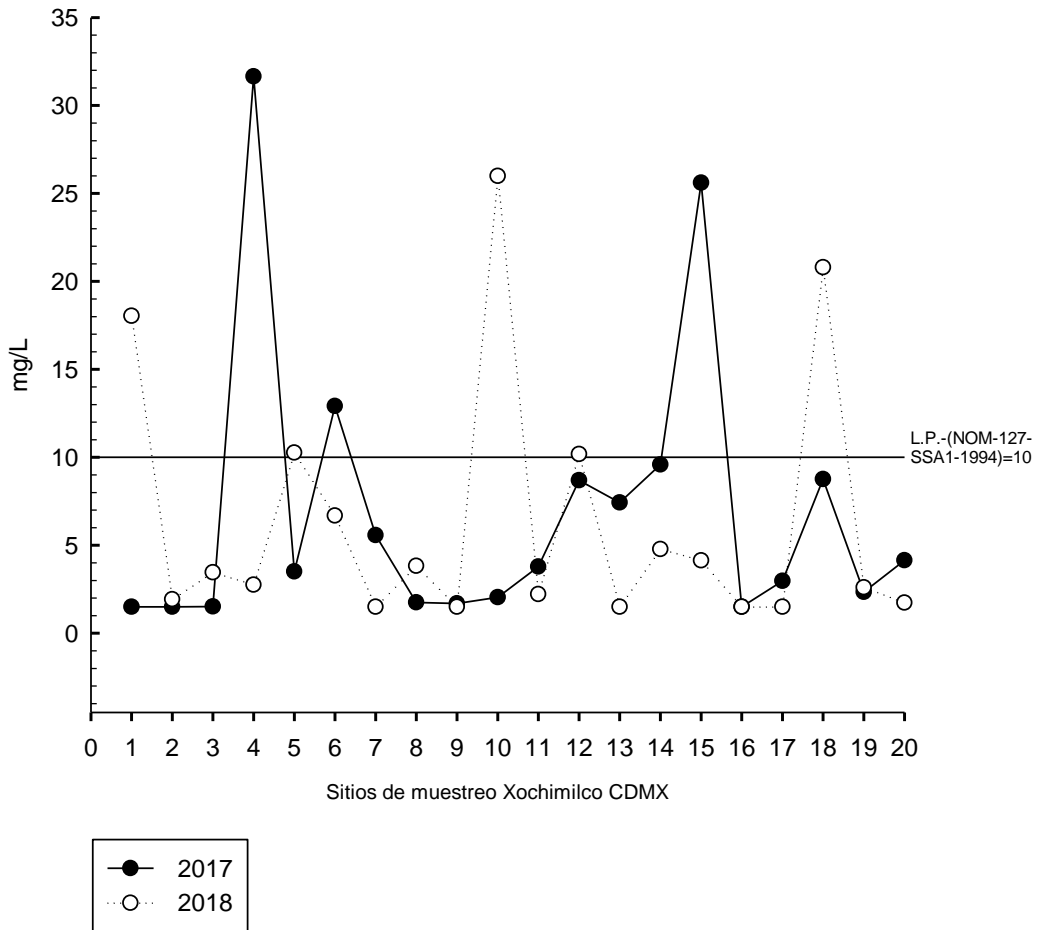


Figura 24. Valores (promedio) de nitratos del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) con línea que indica el valor de los límites permisibles (L.P.) establecido por (NOM-127-SSA1-1994).

En la figura 24, se observa que en el año del 2017 y 2018 los valores de 8 sitios sobrepasaron el valor establecido por la (NOM-127-SSA1-1994) siendo el sitio 4 (El bordo) en 2017 el que mayor valor registro con 31.65 mg/L. Mientras que el menor registro de nitratos fue en 6 sitios siendo el sitio 16 (Tlilac I) el que presento en ambos muestreos un valor de 1.5 mg/L.

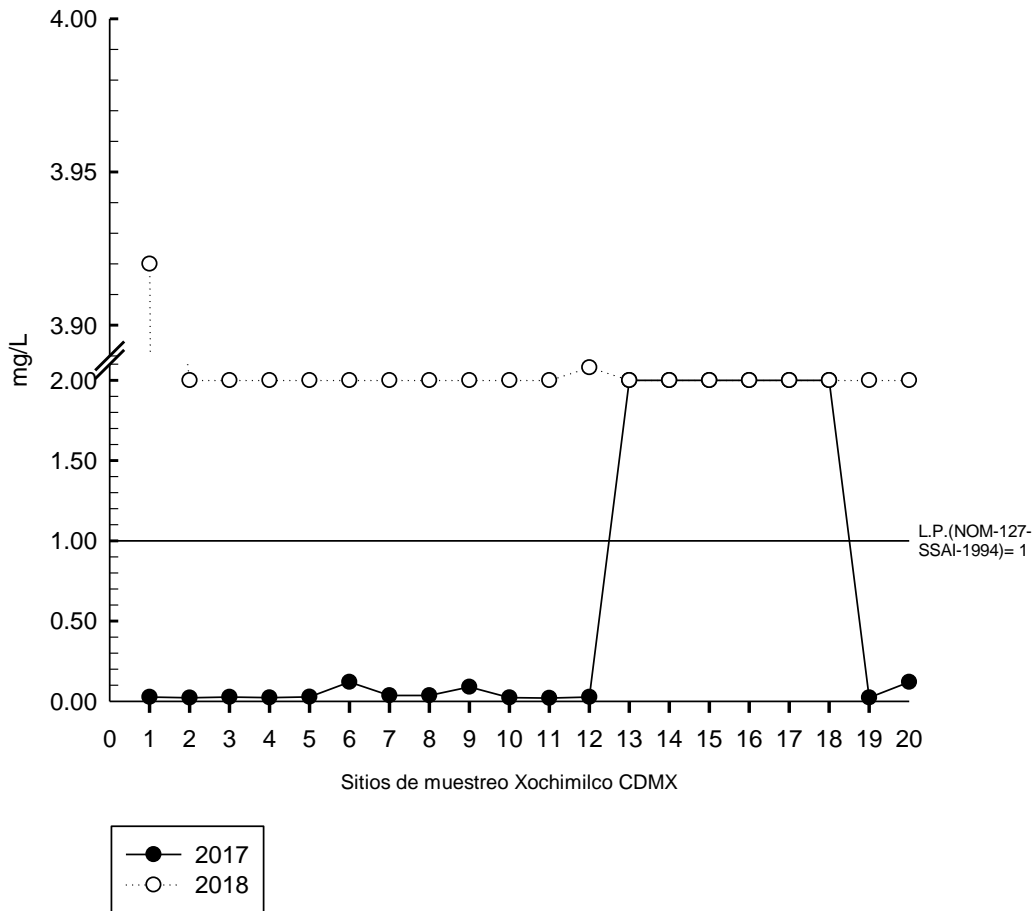


Figura 25. Valores (promedio) de nitritos del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) con línea que indica el valor de los límites permisibles (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. cambiar por NOM

En la figura 25 se observan que el año 2017 y 2018 los valores fueron sobrepasados con respecto al valor establecido por la (NOM-127-SSA1-1994) en 26 sitios de muestreo siendo el sitio 1 (La fábrica) en 2018 que mayor valor registro con 3.92 mg/L. El menor registro de nitritos se presenta en el sitio 11 (San Sebastián) con un valor de 0.02 mg/L.

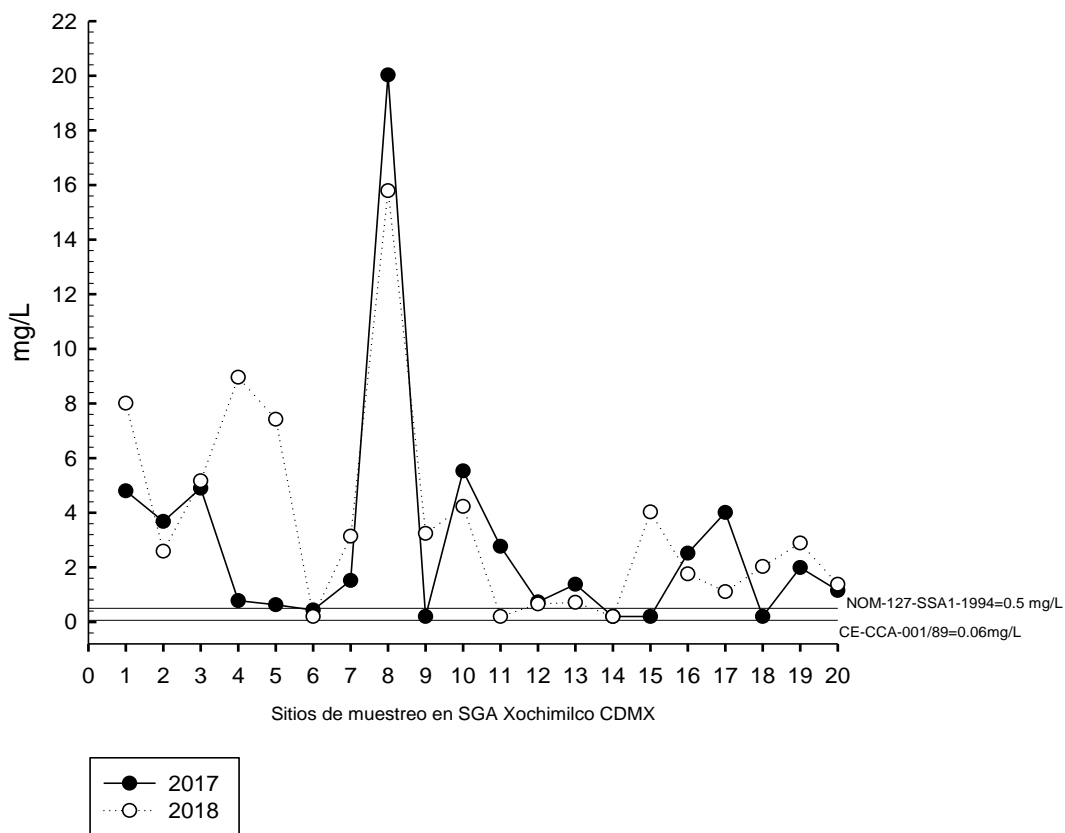


Figura 26. Valores (promedio) de Amonio del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) la línea superior indica con el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. Y la línea inferior indica el límite permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994).

En la figura 26 se observan que el año 2017 y 2018 los valores fueron sobrepasados con respecto al valor establecido por la (CE-CCA-001/89) en los 20 sitios de muestreo siendo el sitio 8 (Tlapechicalli) en 2017 que mayor valor registro con 20.03 mg/L. El menor registro de Amonio se presenta en el sitio 14 (presa Tecaltitla) con un valor de 0.2 mg/L en ambos años.



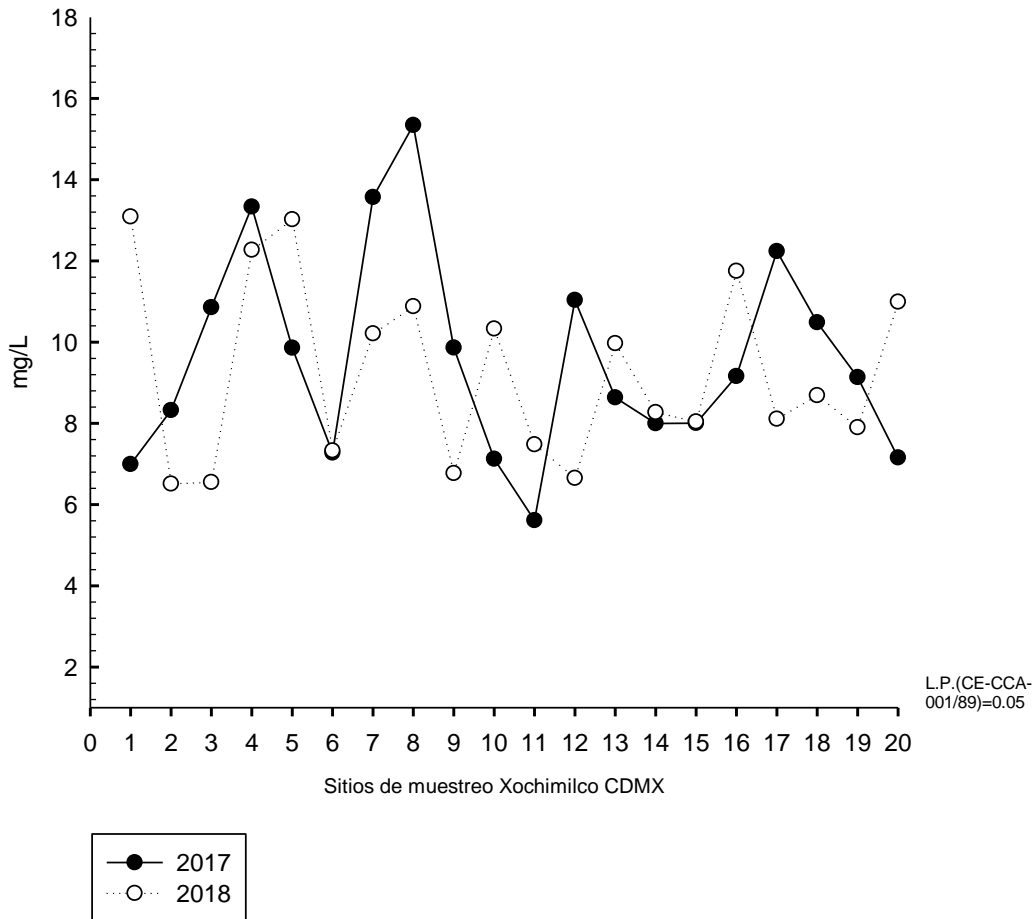


Figura 27. Valores de fosfatos (promedio) del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) con la línea que indica el límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989.

En la figura 27, se observa que en el año del 2017 y 2018 los valores de 20 sitios sobrepasaron el valor establecido por los (CE-CCA-001/89) siendo el sitio 8 (Tlapechicalli) en 2017 el que mayor valor registro con 15.34 mg/L. Mientras que el menor registro de fosfatos fue el sitio 11 (San Sebastián II) con un valor de 5.6 mg/L.

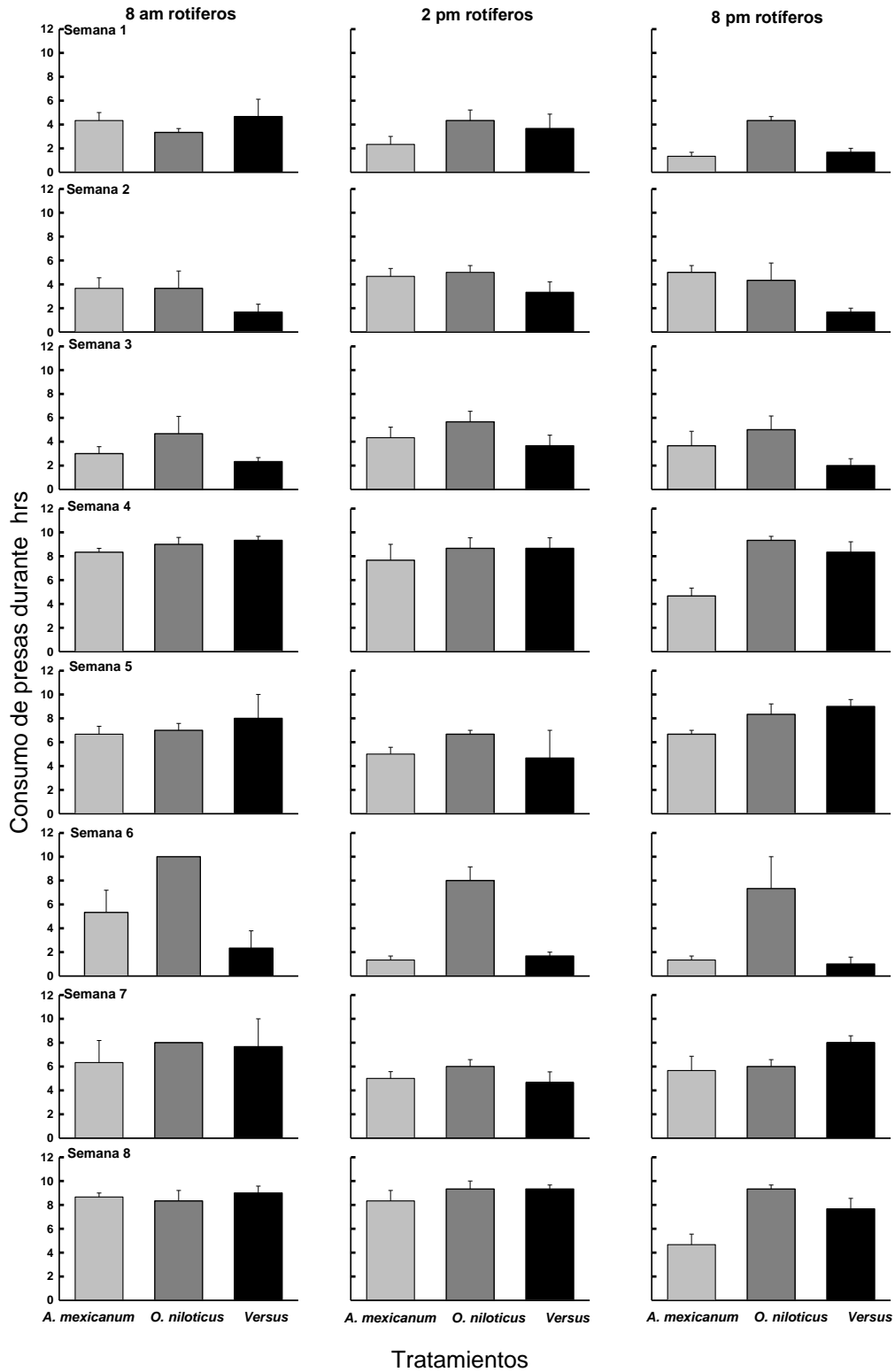


Figura 28. Consumo de presas (rotíferos) durante una hora en las primeras 8 semanas comparando tratamientos *A. mexicanum*, *O. niloticus* y *A. mexicanum* vs *O. niloticus*.

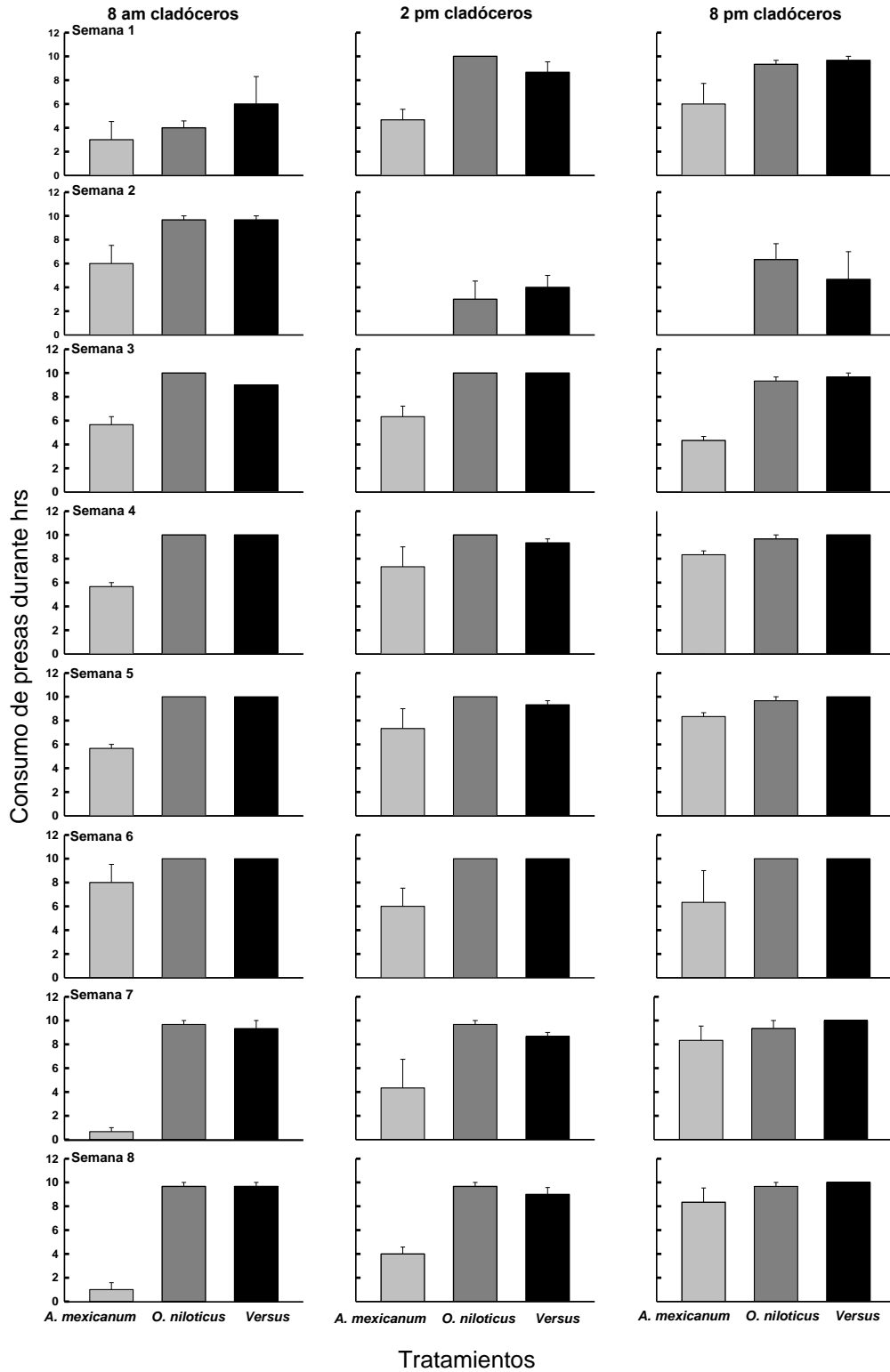


Figura 29. Consumo de presas (Cladóceros) durante una hora en las primeras 8 semanas comparando tratamientos *A. mexicanum*, *O. niloticus* y *A. mexicanum* vs *O. niloticus*.

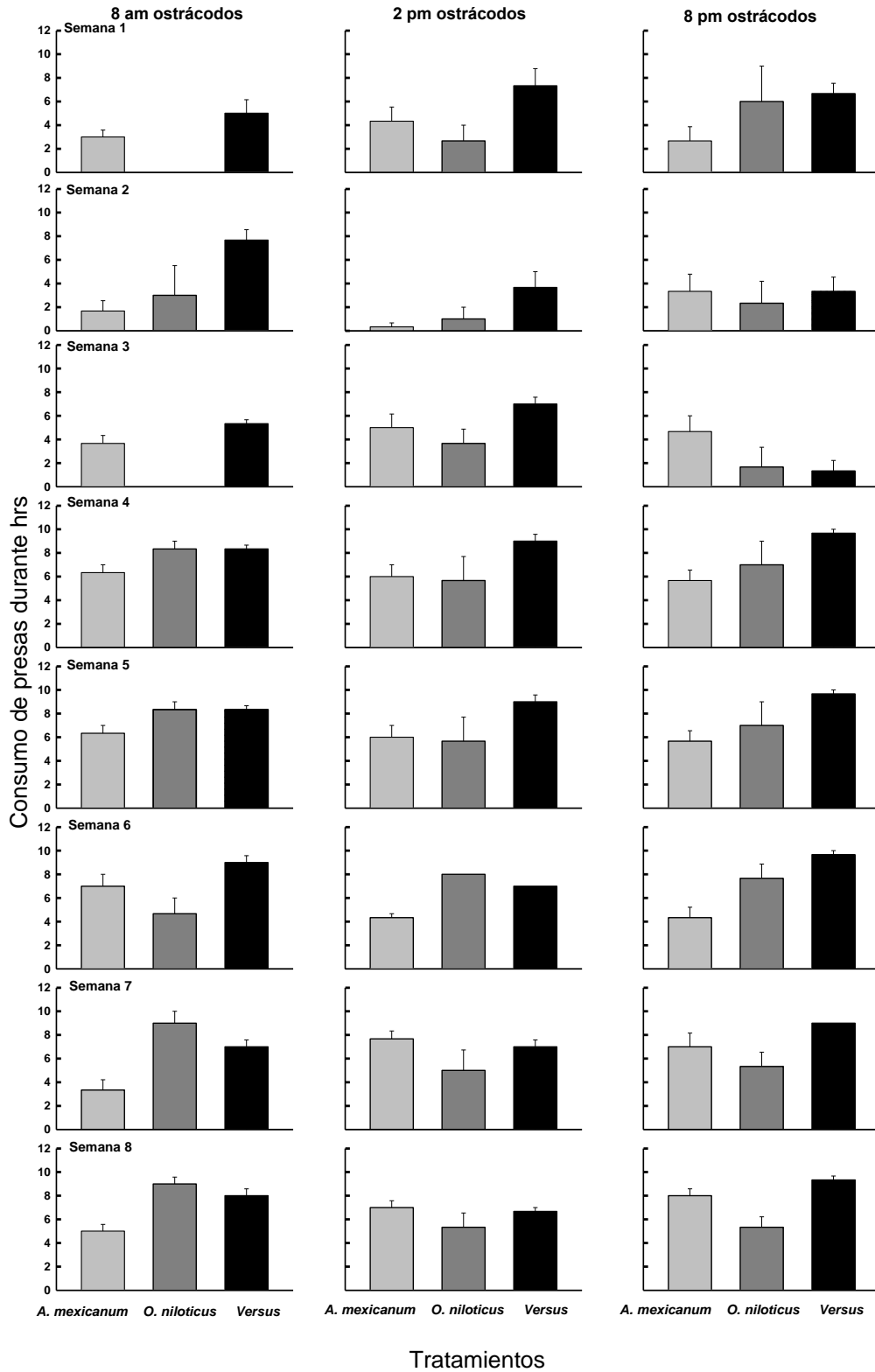


Figura 30. Consumo de presas (Ostrácodos) durante una hora en las primeras 8 semanas comparando tratamientos *A. mexicanum*, *O. niloticus* y *A. mexicanum* vs *O. niloticus*.

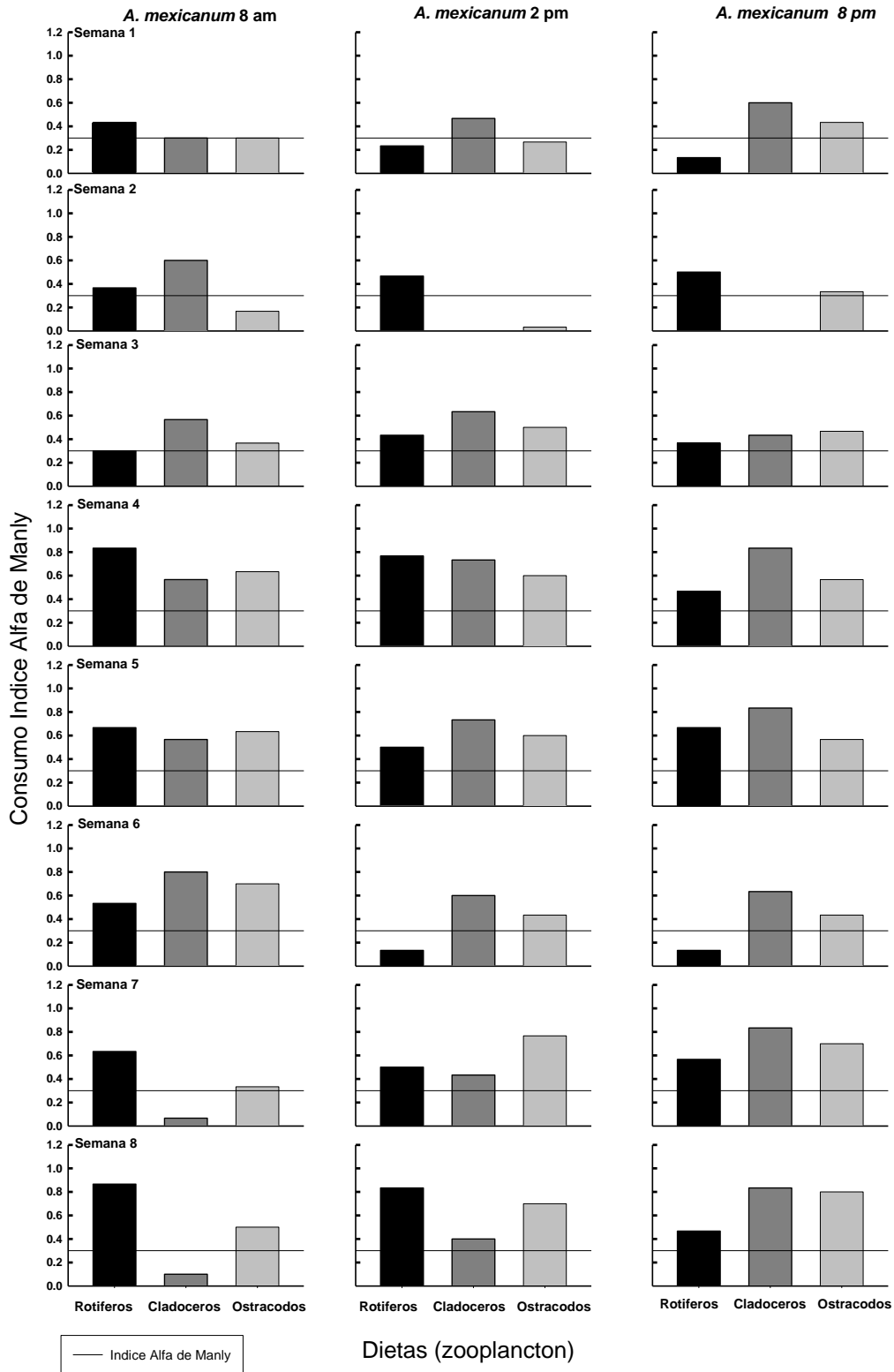


Figura 31. Se observan preferencias por semanas de *A. mexicanum* con dietas de Rotíferos, Cladóceros y Ostrácodos. Por arriba de la línea recta se muestran las diferencias alimentarias.

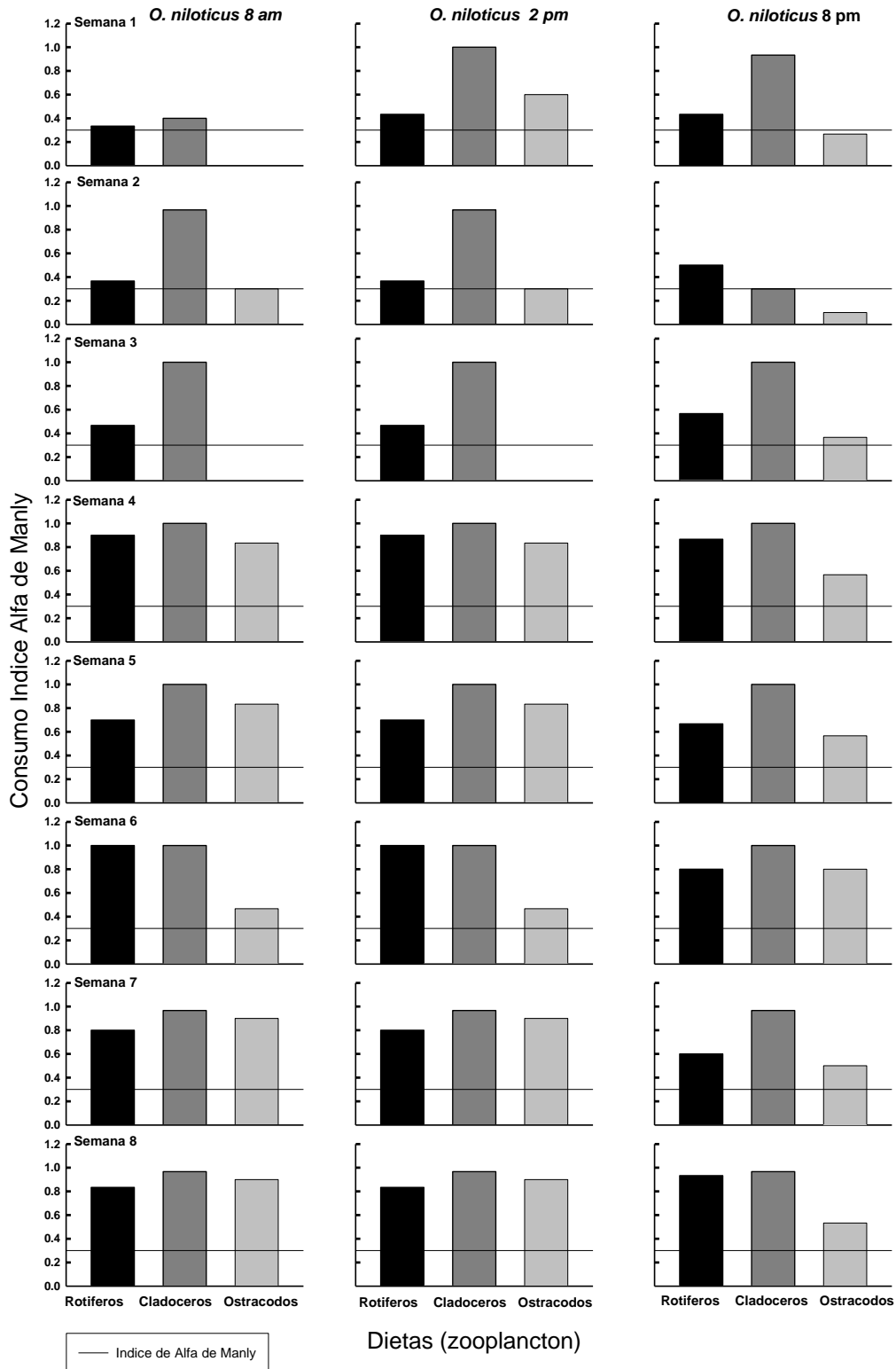


Figura 32. Se observan preferencias por semanas de *O. niloticus* con dietas de Rotíferos, Cladóceros y Ostrácodos. Por arriba de la línea recta se muestran las diferencias de consumo alimentario del índice de Alfa de Manly.

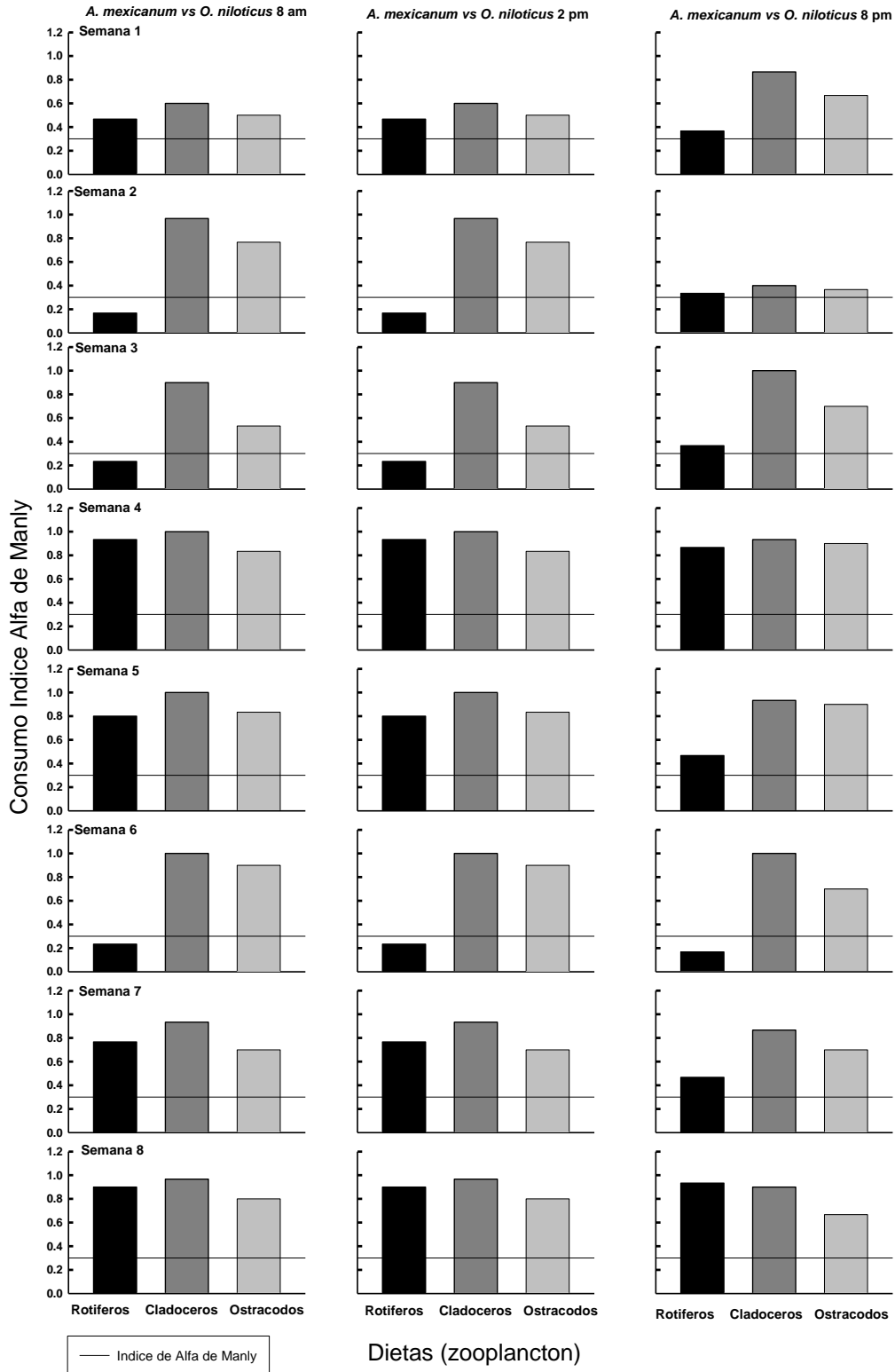


Figura 33. Se observan preferencias por semanas de *A. mexicanum* vs *O. niloticus* con dietas de Rotíferos, Cladóceros y Ostrácodos. Por arriba de la línea recta se muestran las diferencias de consumo alimentario del índice de Alfa de Manly.

### 11.1. Discusión

Las variables fisicoquímicas son de gran importancia en los ecosistemas acuático (Nandini *et al.*, 2005; Sarma *et al.*, 2008), como lo observamos en este proyecto, donde tienen una relación con la presencia o usencia de zooplancton en la columna de agua en los canales de San Gregorio Atlapulco (Lago de Xochimilco). Los valores de las variables fueron comparados con los límites máximos para la protección de la vida acuática de agua dulce que se establece en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua de 1989 (CE-CCA-001/89).

Si bien todas las variables limnéticas son de gran importancia en la red trófica, una cuya importancia queremos destacar en este estudio es la temperatura, mostrando un valor promedio de  $\pm 14.9$  a  $22.3$  °C (Figura 14), con respecto al muestreo en 2017 y 2018 no obstante, ningún sitio rebasó los Límites Permisibles (LP) de temperatura (CE-CCA-001/89). Se presentó una oscilación en las temperaturas semejante a las registradas por estudios como los de Benítez Diaz *et al.*, 2014; Gayosso-Morales *et al.*, 2017; y De la lanza y Hernández en el 2019, donde se observa un rango de 13 a 24 °C en el Lago de Xochimilco. Así mismo se observa que en el 2018, mismo año de este estudio, Rodríguez-Varela *et al.*, 2018, reporta en un lago del Estado de México, temperaturas alrededor de  $\pm 17.1$  a  $25.8$  °C. Los valores de la temperatura del 2017 aumentaron con respecto al 2018 con un intervalo de 2 a 3 °C entre cada sitio de muestreo, afectando la distribución de los organismos “zooplancton” (Ortega- Murillo *et al.*, 2016). El incremento de la temperatura hace que el reciclamiento de compuestos orgánicos y minerales sea mayor debido a las reacciones químicas y actividad biológica de organismos como la respiración razón por la que el zooplancton utiliza menos energía en invierno (Santiago y Aviña, 2017). Además de establecer la estratificación del agua, regula las tasas de reacción química y procesos biológicos (Gama-Flores *et al.*, 2015). A



demás la temperatura tiene una influencia en la concentración de oxígeno ya que el incremento es inversamente proporcional a la cantidad de oxígeno disuelto. García-Alzate *et al.*, (2010) y Claros *et al.*, (2016), mencionan que la solubilidad del agua dulce se da en una temperatura de 0°C con un valor de 14.6 mg/L de OD, y a 35 °C un valor de 7 mg/L OD.

Toda la vida acuática depende de la disponibilidad de OD en el agua (García-Alzate *et al.*, 2010; Hanson *et al.*, 2010 Claros *et al.*, 2016), ya que es esencial en la mayor parte de los organismos acuáticos, su incorporación se da en la atmosfera o por la fotosíntesis de plantas, algas y fitoplancton (Gama-Flores *et al.*, 2015; De la lanza *et al.*, 2019;). Observamos un valor promedio de 6.42 mg/L de OD en los canales de SGA (Figura 16), similar a lo reportado en estudios realizados por Nandini y cols., (2005) en el Lago de Xochimilco, registrando un valor de 1.4 a > 15.0 mg/L de OD. Por otro lado, Gayosso-Morales y cols., (2017) observaron un valor de 2 a 5 mg/L de OD, ambos mencionan que los sitios dentro de ese rango fueron óptimos para la vida de los diferentes organismos que habitan en el lago de Xochimilco. En otro orden de ideas, los sitios 5 “el ejido” y 19 “La espejera” mostraron un valor más bajo de OD con valores de 0.00 mg/L y 0% respectivamente (Figura 17), reflejándose que el bajo porcentaje de saturación de oxígeno es nocivo para la vida acuática. Siendo el más afectado el grupo de los rotíferos, ya que requieren concentraciones de oxígeno superiores a 1.0 mg /L. mientras que algunas especies pueden vivir en regiones pobres de oxígeno en los lagos eutróficos (Gama-Flores *et al.*, 2015; Sarma *et al.*, 2017).

Otra de las variables relevantes para el estudio de la vida acuática es el pH (Rodríguez-Varela *et al.*, 2018). Los cambios de pH pueden generar inconvenientes en la reproducción y el crecimiento de zooplancton (Sarma *et al.*, 2008), los valores que presentaron los sitios son óptimos

para el crecimiento del zooplancton, destacando el sitio 9 “Oztotzinco”, con el valor más alto de pH 8.04, y el sitio 8 “Tlapechicalli” con un pH de 6.7, ambos del 2017 (Figura 15). Los valores antes descritos de pH son afines con lo reportado por Quiroz- Flores *et al.*, 2008; Quiroz-Flores *et al.*, 2014; Gayosso *et al.*, 2019; y De la Lanza *et al.*, 2019. Se observó que los valores ligeramente alcalinos (7- 9.63 pH) se presentaron en los canales con menor profundidad (menor a 30 cm), esto lo presenta también De la Lanza y cols., (2019). Los intervalos se deben a la presencia de carbonatos característicos de la geología de la zona y de las altas densidades de fitoplancton que al fotosintetizar asimilan el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en la atmosfera (De la Lanza *et al.*, 2019) afectando reproducción y el crecimiento del plancton (García-Alzate *et al.*, 2010; Hanson *et al.*, 2010; Claros *et al.*, 2016).

Los valores de conductividad de 12 sitios de muestreo del 2017 y 2018 sobrepasaron el valor establecido por la (NOM-127-SSA1-1994). El mayor registro fue en el sitio 5 “El ejido” con un valor de 1811  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de conductividad (Figura 18). Como lo menciona Navarrete y cols., (2013) en un estudio realizado en los canales de SGA (Lago de Xochimilco) el cual mostró un valor máximo de 1600-1700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . También menciona que los niveles altos por encima de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ocurren a partir de precipitaciones. Otro estudio realizado por De la Lanza y cols., (2019) en SGA (lago de Xochimilco) menciona valores mayores a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en todos los meses, esto se atribuye al incremento de la evaporación, teniendo una pérdida de superficie de las áreas periféricas, y por la extracción de agua para la agricultura. En contraste el sitio 8 “Tlapechicalli” registró el menor valor de 543.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de conductividad. Estos valores de conductividad permiten una mayor adaptación de los organismos para vivir en la presencia de sales, siendo la conductividad eléctrica una manera indirecta de determinar la salinidad indicando la cantidad total de los constituyentes ionizados (Gama-Flores *et al.*, 2015).

En cuanto a sólidos totales disueltos (TDS) los valores máximos en el 2018 se presentaron en el sitio 5 “El ejido” con un valor promedio de 950 mg/L y un mínimo promedio representado por el sitio 8 “Tlapechicalli” con un valor de 295 mg/L de TDS (Figura 19), demostrando una relación muy estrecha entre la conductividad, salinidad y SDT (Navarrete *et al.*, 2013). En el caso de la salinidad nuestro trabajo mostró en los 20 sitios tener valores por debajo del límite establecido por la (NOM-127-SSA1-1994), siendo el sitio 5 (el ejido) en el 2018 el que mayor valor registró con 0.99 ppm. Por otro lado, el menor registro de salinidad fue en el sitio 8 “Tlapechicalli” con un valor de 0.29 ppm (Figura 20). La salinidad del agua en lagos está definida significativamente por el drenaje y la evaporación modificando la precipitación de sales teniendo una composición dominada por carbonatos, bicarbonatos y sulfatos (Gama-Flores *et al.*, 2015).

En el presente trabajo los valores de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) estuvieron por debajo del valor de 400 mg/L límite permisible para agua potable (NOM-127-SSA1-1994), se registró un valor máximo de sulfatos en el sitio 19 “la espejera” en el 2017 con un valor de 223.03 mg/L. Mientras que el menor registró de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) fue en el sitio 8 “Tlapechicalli” con un valor de 22.53 mg/l (Figura 21). Los datos son similares a lo reportado por De la lanza y cols., (2019) en el lago de Xochimilco entre febrero y marzo con un valor máximo de 800 mg/L y un mínimo de 100 entre julio y septiembre. Comprendiendo una relación con la profundidad y con la desecación la cual concentra este ión teniendo una correlación estadística con la conductividad (Gama-Flores *et al.*, 2015; De la Lanza *et al.*, 2019).

Los valores de profundidad y transparencia obtenidos del lago de SGA del 2017 y 2018 con un valor promedio de 111 -115 cm de profundidad, con un máximo en el sitio 4 “el bordo” con un valor de 210 cm y un mínimo presentado por dos sitios 8 “tlapechicalli” y sitio 13 “la huerta II”

ambos con un valor de 40 cm (Figura 22). Mientras que valores de transparencia de sechhi variaron entre cada uno de los 20 sitios. En 6 sitios sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos (CE-CCA-001/89), que permiten la vida acuática, así como la (NOM-127-SSA1-1994) siendo el sitio 11 "San Sebastián" con mayor transparencia con un valor de 73.33 cm. En contraste el sitio 15 "la huerta III" el cual fue el menor registró con un valor de 16.5 cm de transparencia (Figura 23). Estos datos entran dentro del rango de lo reportado por estudios de lagos que presentan las mismas características del SGA lago de Xochimilco como es el caso por lo reportado por Masson *et al.*, (2001), con una transparencia de 4 a 4.6 cm indicando que la capa eutrófica se extendía de 10 a 12 cm. Otro reporte por Rodríguez-Varela y cols., (2018) en un cuerpo de agua del Edo. de México con una profundidad con un valor de 50 cm. Similar a lo reportado por Gayosso-Morales y cols., 2017 mencionando que los niveles de secchi con un valor de 20-50 cm a menudo representa el 50 % de la profundidad de 45 a 60 cm.

Los valores de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) generalmente fueron inferiores al valor de 10 mg/l asignado como límite permisible (NOM-127-SSA1-1994) para una buena calidad de agua (Figura 24). Sin embargo, se encuentran por encima de lo recomendado por los Límites Permisibles para la vida acuática establecidos en CE-CCA-001/89 con el valor de 0.1mg/L, como en el caso del sitio 4 "El bordo" en el 2017, que registró mayor valor con 31.35 mg/L y el sitio 16 "Tililac I" de ambos años registro un valor de 1.5mg/L en nitratos ( $\text{NO}_3$ ), estos valores están por encima de lo reportado por Quiroz-Flores y cols., (2008) con valores de 0.021-0.29 mg/L. También coincide con lo reportado por Nandini y cols., (2005) con un valor de 0.32 mg/L. El 82% de los sitios de este muestreo del SGA Lago de Xochimilco coinciden con lo reportado por (Gayosso-Morales *et al.*, 2016; Tavera y Diez., 2009) con un valor de 0.2 -9 mg/L. Por otro lado, los valores de nitritos ( $\text{NO}_2$ ) del 2017 se encontraron por debajo del valor asignado de 1 mg/L como límite permisible establecido para agua

potable por la (NOM-127-SSA1-1994). Valores similares a los reportados por Quiroz-Flores y cols., (2014) con un valor de 0.02 mg/L de ( $\text{NO}_2$ ). Mientras que los resultados en el muestreo del 2018 mostraron que el límite en los 20 sitios fue rebasado siendo el más representativo el sitio 1 “la fábrica” con un valor de 3.93 mg/L de nitritos ( $\text{NO}_2$ ) (Figura 25). Los valores reportados de nitritos por Nandini y cols., (2016) fue de 0.04-1 mg/L, mencionando que los nitratos y nitritos se encuentran en aguas naturales como nitrógeno inorgánico y se puede presentar en diversos estados de oxidación como puede ser el amoníaco o el amonio.

Los valores de Amonio ( $\text{NH}_4$ ) de los 20 sitios en SGA lago de Xochimilco fueron mayores a 0.06 mg/L, recomendado para permitir la vida acuática establecido por CE-CCA-001/89 los valores mínimos obtenidos en el muestreo del 2017 y 2018 fue de 0.2 mg/L, este valor estuvo presente en ambos años en el sitio 14 “presa tecaltitla”. Sin embargo, para los límites permisibles decretados por la NOM-127-SSA1-1994 con un valor de 0.5mg/L un 17.5 % de los sitios se encuentran con valor por debajo, mientras que 82.5 % de los sitios se encuentran sobre el límite permitido (Figura 26). Este fenómeno podría explicarse ya que el amoníaco es la forma del nitrógeno resultado de la descomposición de la materia orgánica e inorgánica (Barrón, 2019).

Los valores de fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) en los 20 sitios sobrepasaron el valor establecido de 0.05 mg/L (CE-CCA-001/89), siendo el sitio 8 “Tlapechicalli” en el 2017 el que mayor valor registró con 15.34 mg/L y sitio 11 “San Sebastián II” con 5.6 mg/L (Figura 27). Datos similares a los reportados por Nandini *et al.*, 2005; Tavera y Diez, 2009; Vázquez *et al.*, 2017; De la lanza 2019 con un rango de 1.82-19 mg/L. En la naturaleza los fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) se encuentran en solución, en partículas o detritus (Hanson, 2010; Valiente, 2010). Los niveles altos podrían ser explicados debido a la presencia de la especie *Ciprinus carpio* ya que se sabe que

modifica los ciclos de nutrientes, afectando a las especies nativas y alterando la composición de zooplancton (Valiente, 2010).

El zooplancton depende de la abundancia del fitoplancton por tamaño y calidad de nutrimentos apropiados (Flores-Burgos *et al.*, 2003; Gama-Flores *et al.*, 2015). Esto sugiere que la tasa de productividad primaria y la secundaria son dependientes de las variaciones estacionales y los factores fisicoquímicos como la temperatura y, fotoperiodo, nutrientes OD, DBO y pH. (Masson *et al.*, 2001; Seebens, 2012; Huggett *et al.*, 2014), lo que promueve una alta riqueza (Rodríguez-Varela *et al.*, 2018), y composición específica en las comunidades del zooplancton, la cual puede ser un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos (Chaparro Herrera, 2007). Se espera que los cuerpos de agua con poca profundidad tengan una mayor diversidad como el Lago de Xochimilco (Nandini *et al.*, 2005; Nandini *et al.*, 2016). Mediante el índice de Shannon-Wiener (ISW) los sitios de muestreo de SGA mostraron en 2017 un valor máximo de (1.571 ISW) en especies de rotíferos (figura 12), principalmente en el sitio 14 “presa tecaltitla”, aleatoriamente el sitio 4 “el bordo” presentó un mínimo de (0.56 ISW) de especies de rotíferos. Mientras que en 2018 se registró en el sitio 6 “la huerta” el valor máximo de cladóceros (1.175 ISW), y el sitio 4 “el bordo” presentó el mínimo de diversidad con (0.44 ISW), lo que indica una baja diversidad obtenida en todos los sitios (figura 13), el índice de Shannon-Wiener menciona que valores menores a 2 se consideran baja diversidad (Vaschetto, 2016).

El zooplancton en este proyecto en el 2017 y 2018 en SGA-Lago de Xochimilco estaba principalmente dominado por el grupo de los cladóceros con 2689.66 y 3150.8 org/mL respectivamente, representando un 46-76 % de la densidad (figura 9, 10 y 11). Estos datos se encuentran muy por debajo por lo reportado por Iquese-Apaza., (2017) para una densidad de 6740 org/mL para un lago con condiciones

similares al de SGA. Así mismo, los parámetros que contribuyeron a la presencia de cladóceros fue la Temperatura (16-20 °C) y un pH neutro, concuerda con lo reportado por Seebens y cols., (2012) teniendo como un factor importante la temperatura menor a 20 °C y pH de 7.4-8.1, la cual promueve la abundancia de *Daphnia sp.* Otros factores que aumentan las densidades de los cladóceros es tener un ciclo de vida corto, una tasa reproductiva y crecimiento alto en comparación de otros microcrustáceos la cual puede ser en cuestión de días (Klais *et al.*, 2016).

En el caso de los cladóceros mostraron una gran abundancia en SGA - Lago de Xochimilco del muestreo del 2017 en el sitio 1 “la fábrica” (94.44 org/mL), 3 “la compuerta” (144.89 org/mL) y 11 “San Sebastián” (366.83 org/mL) y en el muestreo del 2018 en los sitios 4 “Bordo” (377 org/mL) y 10 “Potrero” (239.56 org/mL) Precisando una relación proporcional con el número de organismos encontrados los parámetros como la profundidad (104-210 cm), con un valor de conductividad (703-1425  $\mu$ S/cm) y TDS de (383-775 mg/L), presentando una resistencia a ambientes anóxicos con un valor de OD de (0.06 - 2.08 mg/L). En ningún sitio hubo influencia de fosfatos y nitratos. Lo anterior es similar a un estudio realizado por De los Ríos y Soto, (2009) donde menciona que las variables como la conductividad y profundidad moderan las altas tasas de microcrustáceos en un 73% en los cuerpos de agua. También concuerda con lo mencionado por Conde-Porcuna., (2004), donde concluye que los niveles de fósforo no influyen, mientras que discrepa de la conductividad ya que menciona que el número de organismos aumenta cuando los valores de conductividad se reducen. En contraparte para los sitios donde no hubo presencia o fue un nivel de abundancia baja podría atribuirse a la depredación de peces (Nandini *et al.*, 2005; Nandini *et al.*, 2016; García *et al.*, 2011; Gayosso-Morales *et al.*, 2017). Los rotíferos se benefician de las altas presiones de depredación reduciendo la competencia por explotación (Hurtado- Bocanegra *et al.*, 2002), ya que

los cladóceros como *Daphnia magna* pueden eliminar poblaciones de rotíferos por competencia de explotación (Sarma *et al.*, 2008) por los recursos de algas, donde biomasa de cladóceros se eleva la abundancia y riqueza de rotíferos es escasa (Conde-Porcuna *et al.*, 2004; García *et al.*, 2009; Gama-Flores *et al.*, 2015).

Los resultados de los rotíferos mostraron una gran abundancia obtenida en el SGA en los sitios 4 “El bordo” con un valor de 372.66 org/mL y sitio 9 “Oztotzinco” con un valor de 103.08 org/mL la alta abundancia indicaría baja depredación y menos competencia de rotíferos y crustáceos (copépodos) en el 2017 (figura 12). Entretanto en el 2018 el máximo valor fue en el sitio 14 “presa Tecaltitla” con 10 org/mL. Estos datos se encuentran por debajo por lo reportado por Iquese-Apaza, (2017) para otros Lagos con una abundancia de 15,023 org/mL el menciona que las variables ambientales limitaron la disponibilidad de recursos. Se podría decir que la alta abundancia de este proyecto está caracterizada por una transparencia, temperatura (14.9 °C), OD en concentración y OD en porcentaje baja, un valor pH 7.5, y valores de conductividad, salinidad, ortofosfatos, elevada, así como una profundidad 180 cm. Lo anterior concuerda con el estudio realizado por Nandini y cols., (2005) en el lago de Xochimilco, mostrando que el zooplancton estaba compuesto por el grupo de los rotíferos dominado por tres especies *Polyartra vulgaris* con 375 org/mL, y *Brachionus calyciflorus* con 248 org/mL, mencionando que la presencia de nitrógeno, nitratos (0.2- 6.8 mg/L), ortofosfatos(0.1- 6 mg/L) y la baja transparencia de secchi, indica una alta abundancia de materia orgánica (fitoplancton y partículas dendríticas) lo cual es favorable ya que es la dieta natural de los rotíferos (Flores-Burgos *et al.*, 2003; Nandini *et al.*, 2005; Figueroa-Torres *et al.*, 2015). Otro estudio reportado por Sarma *et al.*, (2015) concuerda que la distribución, abundancia y morfometría de los rotíferos se ve afectado por los parámetros como temperatura, pH, OD. Gama-Flores., (2015) y Sarma *et al.*, (2017), Mencionan que la respuesta de los



rotíferos varía dependiendo de la especie, como un intercambio intermitente en la supervivencia y reproducción en los rotíferos en pH alcalino disminuye la actividad natatoria los *Brachionus platicatilis*, especies que más tolerancia tienen a pH alcalinos.

Por otro lado, los factores ambientales contribuyen a la abundancia y la presencia de copépodos en los canales de SGA, siendo los más representativos en el Muestreo del 2017, principalmente el sitio 3 “la compuerta” (34.73 org/mL) y el sitio 11 “San Sebastián II” (89.11 org/mL); y en el 2018 el sitio 4 “El bordo” (30.86 org/mL) y el sitio 15 “la huerta III” con 52.23 org/mL, estas abundancias están estrechamente relacionadas con la presencia de cladóceros similar a lo reportado por Iquise-Apaza., (2017), en el que los sitios con mayor abundancia tienen una relación con la presencia de copépodos nauplios, también menciona que los fisicoquímicos limitaron la presencia de copépodos. En este proyecto las características limnéticas de los sitios donde se presentaron abundancias se caracterizó por tener una temperatura de 16-20 °C, pH neutro, una profundidad min de 63 cm, con un valor de transparencia de (73.33 cm), un valor de OD de (0.68mg/L), Conductividad (703-1425  $\mu$ S/cm), un valor de TDS (383-775mg/L) y mostró tener una relación con  $PO_4$  y  $SO_4$  a menor concentración, mayor abundancia y viceversa. Lo anterior mencionado son similares a los reportados por Benítez-Díaz., (2014) con 158-250 org/mL, presentando una correlación directa entre pH, conductividad. De igual manera con lo reportado por (Arias-Pinzón, 2015), con valores de pH 7-7.5, conductividad de (330  $\mu$ S/cm) y temperatura de 19 °C el menciona que si hay presencia de copépodos, no hay de rotíferos, como lo reporta Robles-Mendoza y cols., (2009) mencionando que los patrones de supervivencia de los copépodos depende de la concentración, el alimento y la etapa de así como de la temperatura 19-20 °C, los adultos mostraron una mayor sobrevivencia en la presencia de rotíferos.

Con respecto a los ostrácodos fue el grupo con dominancia y abundancia más baja del zooplancton ya que en el 2017 en tres sitios no mostraron presencia. Mientras en el 65 % de los sitios del muestreo del 2018 no mostraron presencia de ostrácodos (ver figura 12 y 13), En oposición el sitio 19 presento el mayor número de organismos con 2.2 org/mL. Estos datos pueden estar asociados con su forma de vida ya que son bentónicos (Hellawell, 2002; Chaparro, 2014). Como la especie *H incongruens* son bentónicos, se alimentan de detritos, en canales poco profundos Fernández *et al.*, (2014). Por otro lado, los ostrácodos presentan sensibilidad a los afluentes climáticos y ambientales. A pesar de estar protegidos por dos capas de calcita que forman su caparazón (Fernández *et al.*, 2014). Otra razón es el tipo de muestreo el cual fue superficial.

El zooplancton está estrechamente relacionado con los flujos de energía con base al principio de la segunda ley de la termodinámica “la materia no se crea ni se destruye solo se transforma” (Chaparro-Herrera, 2014) es así como la concentración de nutrientes y la energía proveniente del sol ayuda a la fotosíntesis de fitoplancton y al aumento de partículas detríticas (Conde-Porcuna, 2004; Iquise-Apaza, 2017) ocupando el primer nivel trófico, teniendo como eslabón a los rotíferos como (consumidor primario) entre fitoplancton y el zooplancton (consumidores secundarios) copépodos, cladóceros y ostrácodos (Sarma *et al.*, 2008). Transmitiendo la energía en un 80 % en proporción (Margaleff, 1983; Lannacone, 2020) hacia los peces como carpa y tilapia (consumidores terciarios) según un estudio realizado por Zambrano y cols., (2010), seguido por *Ambystoma mexicanum* en la posición trófica más alta. En cada transferencia de alimento se pierde energía potencial quedando una porción de 1 % de la energía disponible (Odum *et al.*, 2006). Los estudios de red alimentaria pueden proporcionar información útil con respecto a los flujos de energía dentro de un ecosistema ya estas pueden modificar la estructura de la comunidad en ecosistemas

acuáticos (Zambrano y cols., 2010). Sin embargo, la interacción depredador-presa influye en esta dinámica y estructura cambiando la posición trófica de *Ambystoma mexicanum* y *Oreochromis niloticus* (Chaparro-Herrera, 2014 y 2019)

La competencia de una especie nativa y una introducida en un ambiente acuático demuestra que existen alteraciones en la cadena trófica, como lo observamos en este trabajo, donde se evaluó el impacto del pez invasor *Oreochromis niloticus* sobre el anfibio endémico *Ambystoma mexicanum* en la ecología alimentaria, para comprender la ecología alimentaria es necesario entender la relación entre depredadores (competencia) y entre el depredador con sus presas (Chaparro-Herrera, 2014). En este proyecto se superpusieron las dietas de las larvas del anfibio endémico contra las larvas del pez invasor, observando un menor consumo de presas por parte del anfibio *A. mexicanum* en las primeras ocho semanas de desarrollo, con respecto al pez invasor *O. niloticus*. Sin embargo, es importante conocer primero la alimentación, comportamiento y la preferencia de los depredadores.

Se observó que *A. mexicanum* tuvo un mayor consumo principalmente en la segunda semana con un 44.44% del consumo total. Esto también es observado en larvas de *A. mexicanum* en un medio con un nivel alto de turbidez donde Chaparro-Herrera y cols., (2019) observaron que en la segunda semana a la octava presentaban mayores hábitos de depredación por microcrustáceos. Así mismo con respecto al consumo de las tres presas ofrecidas en este proyecto, la más representativa fue el ostrácodo *H. incongruens* (figura 28; 29 y 30), el consumo en promedio fue de 37.5% a las 8:00 hrs; a las 14:00 hrs un 50%; y a las 20:00 hrs un 75.5%. Este dato es Similar a lo observado en larvas de *A. mexicanum* por Chaparro-Herrera y cols., (2013 y 2019) en el que mencionan que el mayor consumo fue de ostrácodos *H. incongruens* durante las primeras 8 semanas por encima de otras presas ofrecidas.

Este mismo fenómeno lo reporta Lemos y cols., (2015), en un estudio del contenido estomacal de larvas de *Ambystoma rivulare* donde los ostrácodos representaron un 90 % de todas las presas ingeridas. Similar a lo reportado por McCoy, (2004) en un estudio estomacal de las larvas de *Ambystoma mabeei*, donde se presentó una selectividad por cladóceros de un 92 % y de ostrácodos un 21%.

Con respecto al horario de las 20:00 hrs, se observa un mayor consumo (75.5%) por parte de *A. mexicanum*, en este horario es perceptible la ausencia de luz. Esto se asemeja a los hábitos de consumo que tiene *A. mabeei* durante el día, donde permanece en la hojarasca, y entran en la columna de agua en la noche siendo un mecanismo para evitar ser depredados (McCoy, 2004). Los hábitos alimenticios de algunos urodelos hacen que se alimenten principalmente de organismos bentónicos (Chaparro-Herrera, 2014). Estas presas se amoldan principalmente a los movimientos lentos de especies de urodelos (Chaparro-Herrera *et al.*, 2019), por ejemplo en otras especies de anfibios donde los periodos de alimentación se concentran en los horarios de menos luz, como son, el tritón ibérico *lissotriton bosea* (Lataste, 1879) y el tritón *Calotriton asper* (Dugés, 1852), ambos con actividad crepuscular y nocturna, mientras que durante el día permanecen escondidos en el fondo de lagunas o en la vegetación (Gosa & Vignes, 2000; Morales, 2015). Si bien el aumento de luz tiene un efecto positivo sobre el rango visual de los depredadores acuáticos en condiciones como en el Lago de Xochimilco, donde influyen los niveles altos de turbidez, la presencia de depredadores diurnos como la tilapia reducen la capacidad de *A. mexicanum*, obligándolos a que su forrajeo sea bentónico (Fernández *et al.*, 2014). Esta zona bentónica es el lugar perfecto para encontrar a *H. incongruens* (Fernández *et al.*, 2016; Chaparro-Herrera *et al.*, 2019).

Lo antes mencionado coincide con otra prueba realizada, en este caso la preferencia alimentaria de las larvas de *A. mexicanum*, se determinaron mediante el índice de preferencia denominada alfa de Manly, donde el valor fue de 0.3. Las preferencias por semanas fueron con dietas de rotíferos, cladóceros y ostrácodos. El valor total de las preferencias fue mayor en ostrácodos con un 87.5 %, coincide con lo reportado por un estudio de preferencia alimentaria en larvas de *A. mexicanum* por Chaparro Herrera, (2007), con una preferencia alimentaria de 80 % de *H. incongruens*. Cabe mencionar que en este trabajo hubo una preferencia por las tres presas *B. calyciflorus* (rotífero), *Daphnia sp* (cladóceros) y *H. incongruens* (ostrácodo) en relación con el horario (ver figura 31). Teniendo preferencia por el grupo de los cladóceros con un 83.33% en cinco semanas, principalmente en el horario de las 8:00 hrs; en cuatro semanas a las 14:00 hrs y finalmente en seis semanas a las 20:00 hrs. Los cladóceros tienen movimientos lentos y visibles, haciéndolo uno de los taxones más consumidos (Chaparro-Herrera *et al.*, 2013). Esto es observado también en *Ambystoma granulosum* donde Fuentes, (2017) observa la mayor preferencia por microcrustáceos (cladóceros) de la segunda a la séptima semana aumentando el consumo a la par del crecimiento del Ajolote. Por otro lado *A. mexicanum* muestra un consumo con relación a las primeras ocho semanas con los tres horarios estadísticamente significativo ( $P=<0.001$ ).

En el horario de las 8:00 hrs y 14:00 hrs en la segunda y séptima semana se ostenta una diferencia significativa ( $P=<0.001$ ) en el consumo, así como en el horario de las 20:00 hrs en la segunda y sexta semana también se presenta una diferencia significativa de ( $P=<0.001$ ). Con lo antes descrito se muestra que en los tres horarios existe una diferencia significativa entre el consumo de las dietas entre rotíferos, cladóceros y ostrácodos. Se observó una menor preferencia como dieta por los rotíferos. Sin embargo, entre los rotíferos *A. mexicanum* consume 4% menos que los cladóceros al rotífero *B. calyciflorus*, su consumo

podría deberse a que son unos de los rotíferos con mayor talla (12 +-185 um), lo que hace más lento sus movimientos, facilitando la detección y captura de la presa (Nandini *et al.*, 2005; Alcaraz *et al.*, 2015).

Ahora bien, la especie *O. niloticus* mostró en las primeras ocho semanas de crecimiento un mayor consumo desde la cuarta a la octava semana con un valor de 88.88% del consumo general, es decir, el doble que en *A. mexicanum*. Este mismo comportamiento es reportado por Zambrano y cols., (2010), en el que menciona que el consumo de tilapia por presas (zooplancton) es mayor y más activo. Otro estudio sobre alimentación en peces por Gómez-Peñaranda, (2012), menciona que la cantidad de alimento consumido por un pez depende de la llenura del estómago, por lo que raciones de alimento diarias están estrechamente relacionadas con el tiempo de evacuación gástrica de los intervalos entre comidas. Así mismo, se observa un consumo generalista por presas ofrecidas, que fueron rotíferos, cladóceros y ostrácodos. Teniendo un mayor consumo por los cladóceros (100 %), en los tres horarios 8:00,14:00 y 20:00 hrs. (*ver figuras 28, 29 y 30*). Este dato es similar al reportado por Chaparro Herrera, (2014) en un estudio el que reporta que la tilapia tuvo un efecto invasor y depredador sobre el zooplancton de tallas más grandes, por su fácil detección y su aporte de nutrientes mostrando una alimentación generalista por sus presas. Sin embargo, a pesar de ser generalistas muestran un consumo mayor por el grupo de los cladóceros principalmente por *Alona glabra* y *Moina Macrocopa*, en las primeras 3 semanas, es decir por presas más pequeñas, lentas y bentónicas. Mientras que de la tercer a la octava semana observaron un mayor consumo por especies como *M. macrocopa*, *Macrothrix triserialis*, *Simocephalus vetulus* y *H. incongruens*. También menciona que la tilapia consume una gran variedad de zooplancton con una gama amplia de formas y tamaños que van de 0.2 a 2000 micrómetros. Esta estrategia es de gran importancia, ya que entre más grande mayor es el aporte energético (Otero *et al.*, 2013), como es el caso de los cladóceros debido

a que contienen grandes cantidades de enzimas (lipasas, proteasas, proteinasas) y coenzimas que pueden ayudar en el intestino en las larvas de los peces (Prieto *et al.*, 2008; Otero *et al.*, 2013).

En el presente trabajo los valores del consumo fueron comparados con una prueba realizada de preferencia. La cual se determinó mediante el índice de preferencia denominada alfa de Manly, donde se observa que los valores mayores a 0.3 son los preferidos. Las preferencias del pez *O. niloticus* durante las primeras ocho semanas del crecimiento sobre dietas de rotíferos, cladóceros y ostrácodos, fue mayor en cladóceros en las 8 semanas, con valor del 100 % en el horario de las 8:00 hrs y a las 14:00 hrs, mientras que a las 20:00 hrs fue de 87.5% (figura 32) con una diferencia significativa de ( $P < 0.001$ ). Aleatoriamente *A. mexicanum* presento una menor preferencia alimentaria (figura 31) por las otras dos presas (*Brachionus calyciflorus* y *H. incongruens*). Lo anterior coincide con los valores obtenidos en un estudio realizado por Fuentes, (2017) con juveniles de *Ciprinus carpio*, mostrando una preferencia alimentaria por los cladóceros y copépodos en las nueve semanas.

En este proyecto en un tercer experimento se observó el comportamiento alimentario con un consumo promedio de 85 % de cladóceros (figura 29) y un 75% de Ostrácodos (figura 30), con una diferencia significativa de ( $P < 0.001$ ), de larvas *A. mexicanum* con respecto a la presencia de larvas de la especie *O niloticus* la cual tiene un tipo de alimentación omnívora desplazando y compitiendo directamente con *A. mexicanum* por comida durante diferentes etapas de crecimiento El aumento de la turbidez daña los huevos y las larvas de anfibios., Este aumento de la turbidez en el medio, es ocasionado por la gran cantidad de especies invasoras que crean sus refugios (Zambrano *et al.*, 2006; Córdova-Tapia *et al.*, 2015; Chaparro-Herrera *et al.*, 2019). La tilapia presenta un costo alimentario para los ajolotes directa o indirectamente (Alcaraz *et al.*, 2015). La preferencia alimentaria de las

larvas de *O. niloticus* presenta una mayor preferencia por los cladóceros durante la segunda y sexta semana de estudio (Figura 33). Así mismo en *O. niloticus* se observó mayor consumo en los horarios de las 14:00 hrs y las 20:00 hrs mostrando una diferencia estadísticamente significativa de ( $P < 0.001$ ). La agudeza visual en peces es mayor que en los anfibios teniendo una mayor distancia reactiva, según lo comentado por Chaparro-Herrera *et al.*, 2019. Con respecto a las semanas de solapamiento entre las dietas de *A. mexicanum* y *O. niloticus* (Figura 29 y 30) se observó en la segunda y sexta semana en los horarios de las 14:00 hrs y de las 20:00 hrs. este fenómeno coincide con lo reportado por Fuentes, (2017) en el que menciona que *A. granulosum* y *C. carpio* presentan un solapamiento de las dietas a partir de la segunda hasta la octava semana, teniendo una selectividad y consumo similar. En este estudio se observó que *A. mexicanum* mostró en la segunda y sexta semana preferencias del 60% por los cladóceros, ofrecido solo en los Horarios de las 8:00 hrs y 20:00 hrs, por lo que podemos inferir junto con un análisis detallado de los resultados en otros estudios que son los periodos de alimentación donde más requiere de energía, principalmente en la segunda semana por el crecimiento de la boca y la presencia de las primeras extremidades, y la sexta y séptima semana por el desarrollo del otro par de extremidades, estudios de preferencia alimenticia reportadas por Chaparro-Herrera, (2011, 2013 y 2019), donde además muestran que el mayor incremento en el consumo de presas ofrecidas de Ostrácodos, cladóceros y rotíferos fueron en las segunda, quinta y sexta semana. Por otro lado, Fuentes, (2017) menciona, que la alimentación es un proceso importante para la sobrevivencia de *A. granulosum* presentando como fase crítica las nueve semanas posteriores a la eclosión. Los requerimientos de la alimentación de *A. mexicanum* no solo están limitados por el desarrollo de extremidades, cantidad de energía gastada, condiciones de la calidad del agua, igualmente se ven afectadas por las características mecánicas



como la alimentación por succión y con la presencia de dientes rudimentarios que solo están diseñados para capturar, por tal motivo el consumo está limitado por la abertura de la boca, la visión y el tamaño de las presas, la abertura aumenta más notablemente durante la cuarta y quinta semana (Chaparro-Herrera *et al.*, 2013). En el caso de la tilapia tiene alta eficiencia alimentaria tanto diurna como nocturna (Fortes da Silva *et al.*, 2010). La alimentación se ve favorecida por la región ocular, ya que los ojos tienen un crecimiento durante toda su vida, aumentando la agudeza visual. Esta diferencia visual entre los peces invasores es de 15 cm contra 8 cm del ajolote en condiciones de laboratorio y 10 cm contra 5 cm de ajolote en un medio con las condiciones similares al Lago de Xochimilco (Chaparro-Herrera *et al.*, 2019).

La alimentación y los hábitos de la carpa y la tilapia podrían reducir los recursos disponibles para *A. mexicanum* (Zambrano *et al.*, 2010). En el presente proyecto se puede apreciar un consumo del 90 al 100 % durante la noche y la mañana, esto se observó en el tratamiento *A. mexicanum* vs *O. niloticus*, donde el consumo total podría deberse a la superposición de nicho trófico, reduciendo la movilidad de la población de *A. mexicanum* (Zambrano *et al.*, 2010). Los anfibios evalúan el riesgo de depredación utilizando principalmente señales visuales y químicas, mostrando un comportamiento anti-depredador (Alcaraz *et al.*, 2015). Para las especies de depredadores *O. niloticus* y *A. mexicanum* la composición bioquímica del zooplancton es importante, siendo considerado como alimento que contiene una gran cantidad de sustancias nutritivas basándose en aminoácidos y ácidos grasos esenciales, además de su alto valor proteico (Chaparro-Herrera, 2007; Prieto *et al.*, 2008).

## 12.1. Conclusiones

Las variables fisicoquímicas son de gran importancia en los canales de SGA para la presencia del zooplancton, principalmente los cladóceros donde la temperatura, pH, conductividad, TDS y profundidad, influyen principalmente.

Se observa una mayor diversidad de rotíferos de acuerdo con el índice Shannon Wiener en 2017, mientras que en el 2018 una mayor diversidad de cladóceros.

No se observó una relación con nitratos y fosfatos en cuanto a la presencia de los cladóceros.

El oxígeno disuelto influye en la diversidad del zooplancton en especial de los cladóceros. Por lo que la cantidad de oxígeno funcionaría como una estrategia de defensa, ya que los peces no toleran niveles bajos de oxígeno.

Se observa una relación en la presencia y ausencia de rotíferos en relación con la profundidad del sitio, a mayor profundidad mayor diversidad y abundancia de rotíferos.

Se observa que la conductividad por arriba de los 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  influye en la abundancia de los copépodos, así mismo los niveles bajos de  $\text{PO}_4$  y  $\text{SO}_4$  presentan una mayor abundancia de los copépodos.

Las abundancias de los copépodos que en su mayoría fueron nauplios están relacionadas con la presencia y abundancias de cladóceros.

Los ostrácodos fue el grupo del zooplancton con una dominancia y abundancia muy bajas, teniendo ausencia en un 65 % de los sitios.

*A. mexicanum* tuvo un mayor consumo en la segunda semana, en el horario de las 20:00 hrs mostrando un consumo (promedio) de 75 %.

La mayor preferencia alimentaria de *A. mexicanum* fue por el grupo de los ostrácodos (*H. incongruens*) con un 87.5 %; en segunda preferencia se encuentran los cladóceros con un 83.33 % en 6 semanas en el horario de las 20:00 hrs.

*O. niloticus* mostró un mayor consumo a partir de la cuarta a la octava semana de crecimiento, principalmente se observó un mayor consumo por cladóceros del 100 % en los tres horarios (8:00, 14:00 y 20:00 hrs).

La preferencia alimentaria de *O. niloticus* fue por el grupo de los cladóceros con un 100 % en los horarios de las 8:00 y 14:00 hrs, disminuyendo en el horario de las 20 hrs.

Se observó el comportamiento alimentario de consumo del 44.44% por *A. mexicanum* en presencia de *O. niloticus* por lo que se acepta la hipótesis planteada ya que presentó una diferencia significativa de ( $P < 0.001$ ) en un consumo de 85% por cladóceros y un 75 % por ostrácodos, viéndose una mayor afectación en la segunda y sexta semana donde hay un solapamiento con la tilapia que reduce los recursos disponibles necesarios para un óptimo crecimiento de las larvas de *A. mexicanum*

### 13.1. Bibliografía

Aguilar, V., Kolb, M., Koleff, P., & Urquiza, T. (2010). Las cuencas de México y su biodiversidad: una visión integral de las prioridades de conservación. *Las cuencas hidrográficas de México*, 138-141.

Alcaraz, G., López-Portela, X., y Robles-Mendoza, C. (2015). Respuesta de un axolotl nativo en peligro de extinción, *Ambystoma mexicanum* (Amphibia), al depredador de peces exóticos. *Hydrobiologia*, 753 (1), 73-80.

Alvarado-Díaz J, García-Garrido P, Ileri Suazo-Ortuño, y Geoffrey C. (2002) Hábitos alimentarios de una (paedomórfica) Población De La Salamandra, *Ambystoma Ordinarium* (CAUDATA: Ambystomatidae). México.

AmphibiaWeb (2020) Información sobre biología y conservación de anfibios < <http://amphibiaweb.org/species/3842> > Universidad de California, Berkeley, CA, EE. UU. Consultado el 5 de agosto de 2020.

Arias Pinzón, Y. P., & Peñaloza Escalante, L. (2015). Determinación de la estructura y dinámica de la comunidad planctónica del humedal Meandro del Say y su relación con las condiciones fisicoquímicas de calidad del agua.

Barrón Coronel, Frida (2019) Composición de las especies de fitoplancton presentes en los sistemas flotantes de macrófitas ubicados en la presa Valle de Bravo, Edo. de México, tesis que, para obtener el título de Licenciada en Biología, Universidad Nacional Autónoma de México,

Benítez-Díaz Mirón M.I., Zamora -García M., Castellanos Páez M.E., Garza Mouriño G., Contreras Tapia R., Flores López Tello J., (2014). Determinación de la biomasa de una comunidad zooplanctónica en el canal Nacional de Cuernavaca, UAM, Xochimilco México.

Bride, IG, Griffiths, RA, Meléndez - Herrada, A., y McKay, JE (2008). Volando un buque insignia de anfibios: conservación del Axolotl *Ambystoma mexicanum* a través del turismo de naturaleza en el lago Xochimilco, México. *International Zoo Yearbook*, 42 (1), 116-124.

Bolker, BM, De Castro, F. Storfer, A., Mech, S, Harvey, E., y Collins, (2008). Enfermedades como una fuerza selectiva que impide el canibalismo generalizada: Un estudio de caso de un iridovirus del tigre salamandras, *Ambystoma tigrinum*. *Ecología Evolutiva de Investigación*, 10 (1), 105-12

De Alba, F., Born-Schmidt, G., & Koleff, J. P. P. (2017) Principales retos que especies exóticas invasoras. ISBN: 978-607-8501-58-8

Centro de Calidad Ambiental, 1989. Criterios ecológicos de calidad del agua <http://legismex.mty.itesm.mx/acu/acca001.pdf> Consultado el 12 de diciembre del 2019.

Chaparro-Herrera, D. (2007). Biología de la alimentación de *Ambystoma mexicanum*: Implicaciones para su conservación. *Mexico City, Mexico: National Autonomous University of Mexico. M. Sc. tesis.*

Chaparro-Herrera DJ, Nandini S, Sarma SSS, Zambrano L, 2011. Comportamiento alimentario de larvas de *Ambystoma mexicanum*. *Amphibia-Reptilia* 32: 509-517.

Chaparro-Herrera, D. D. J., Nandini, S., & Sarma, S. S. S. (2013). Effect of water quality on the feeding ecology of axolotl *Ambystoma mexicanum*. *Journal of Limnology*, 72(3), e46.

Chaparro-Herrera DJ (2014). Evaluación del impacto de *Oreochromis niloticus* (pisces) en la sobrevivencia y comportamiento alimenticio de *Ambystoma mexicanum* (anfibio) a través de cambios en la estructura de la comunidad zooplanctónica México, D.F. Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala.

Chaparro-Herrera, DJ, Nandini, S. y Sarma, SSS (2020). Efectos de turbidez en la alimentación por larvas del *Ambystoma mexicanum* endémico y el *Oreochromis niloticus* introducido en el lago Xochimilco, México. *Ecohidrología e hidrobiología*, 20 (1), 91-101.

Claros, B., Mosquera, Y., & Noriega, C. (2016). Identificación de fitoplancton y zooplancton.

CONABIO, 2011. Fichas de especies prioritarias ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*) Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, México. D.F.

Conde-Porcuna, JM, Ramos-Rodríguez, E. y Morales-Baquero, R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Revista Ecosistemas*, 13 (2).

Córdova-Tapia, F., Contreras, M. y Zambrano, L. (2015). Superposición de nicho trófico entre peces nativos y no nativos. *Hydrobiologia*, 746 (1), 291-301.

De la Lanza Espino, G. y Hernández Pulido, S. (2019). Variación de la calidad del agua de La Ciénega de Tláhuac, México. *CIENCIA ergo-sum*, 26(3). <https://doi.org/10.30878/ces.v26n3a4>.

De los Ríos, P., & Soto, D (2009). Limnological studies in lakes and ponds of Torres del Paine National Park (51° S, Chile). Instituto de la Patagonia (Vol. 37, No. 1, pp. 63-71). Universidad de Magallanes.

Díaz Pérez Aldo D. (2015). Descripción Anatómica del sistema óseo de *Ambystoma mexicanum* a través de la técnica de transparentación, Universidad Nacional Autónoma de México

Domínguez-Domínguez O., S. Nandini, S.S.S. Sarma (2002). Larval feeding behavior of the endangered fish Golden *bubblebee goodeid*, *Allotoca dugesi*, implications for conservation of an endangered species. Fisheries Management and Ecology. (9);285-291

Enríquez-García C., Nandini S., S.S.S. Sarma (2009). Dinámica estacional del zooplancton en el lago Huetzalín, Xochimilco (Ciudad de México, México) Limnológica Volumen 39, Número 4, diciembre de 2009, páginas 283-291.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0075951109000395#!>

Fernández, R., Nandini, S., Sarma, SSS y Castellanos - Páez, ME (2014). Efectos de las cianobacterias, las kairomonas de peces y la presencia de ostrácodos en la demografía de *Simocephalus vetulus* (Cladocera). *Invertebrate Biology*, 133 (4), 371-380.

Fernández, R., Nandini, S., Sarma, SSS y Castellanos-Páez, ME (2016). Las respuestas demográficas de *Heterocypris incongruens* (Ostrácoda) relacionadas con factores de estrés de la competencia, la depredación y la alimentación. *Revista de Limnología*, 75.

Figueroa-Torres, María Guadalupe, Arana-Magallón, Fernando, Almanza-Encarnación, Saúl, Ramos-Espinosa, María Guadalupe, & Ferrara-Guerrero, María Jesús. (2015). Microalgas del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco San Gregorio Atlapulco, México. *Ciencia UAT*, 9(2), 15-29. de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-78582015000100015&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582015000100015&lng=es&tlng=es)

Fortes da Silva, R., Martínez, F. J., Villarroel, M., & Sánchez-Vázquez, F. J. (2010). Daily feeding patterns and self-selection of dietary oil in Nile tilapia. *Aquaculture Research*, 42(1), 157-160.

Fuentes Barradas A. E, (2017). Solapamiento de dieta, preferencia alimentaria y tasas predatorias de *Ambystoma granulosum* (caudata: *Ambystomatidae*) y *Cyprinus carpio* (Cypriniformes: *cyprinidae*) Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México (tesis)

Flores-Burgos, J., Sarma, S. S. S., & Nandini, S. (2003). Population growth of zooplankton (rotifers and cladocerans) fed *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* in different proportions . *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, 31(3), 240-248.

Pulido Flores Griselda y Scott Monks 2013, Estudios Científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas volumen 2. Universidad Autónoma del Estado De Hidalgo pág. 25

García-Alzate, C. A., Román-Valencia, C., González, M. I., & Barrero, A. M. (2010). Composición y variación temporal de la comunidad de insectos acuáticos (Insecta) en la quebrada Sardineros, afluente Rio Verde, Alto Cauca, Colombia. *Revista de Investigaciones de la Universidad de Quindío*, 21, 21-28.

José Luis Gama Flores, Elvia Lucía Pavón Meza, Teresa Ramírez Pérez y Omar Ángeles López Fernández Araiza, Mario Alfredo. (2015). Análisis de calidad de agua. Relación entre factores bióticos y abióticos UNAM, FES Iztacala; ISBN: 978-607-02-1077-8. 132 pp.

García, C. E., Nandini, S., & Sarma, S. S. S. (2011). Características demográficas del copépodo *Acanthocyclops americanus* (Sars, 1863) (*Copepoda: Cyclopoida*) alimentado con una dieta mixta de algas (*Scenedesmus acutus*). rotíferas (*Brachionus havanaensis*). *Hydrobiologia*, 666(1), 59-69.

García C. E., Chaparro-Herrera D. De Jesús, S. Nandini & S. S. S. Sarma (2007) Estrategias de historia de vida de *Brachionus havanaensis* sujetas a *kairomonas* de depredadores vertebrados e invertebrados, *Chemistry and Ecology*, 23:4, 303-313, DOI: 10.1080/02757540701525988 Rotíferos

Gayosso-Morales, MA, Nandini, S., Martínez-Jerónimo, FF y Sarma, SSS (2017). Efecto de la turbidez orgánica e inorgánica en la estructura de la comunidad de zooplancton de un cuerpo de aguas poco profundas en el centro de México (lago Xochimilco, México). *Journal of Environmental Biology*, 38 (6), 1183-1196.

Gayosso-Morales, MA, Nandini, S., Martínez-Jerónimo, FF y Sarma, SSS (2019). Estructura de la comunidad de zooplancton mediada por peces en aguas turbias poco profundas: un estudio de mesocosmos.

Gosá, Alberto, & Vignes, Jean. Claude. (2000). Veinticuatro horas en la dieta de los metamorfoseados de la rana bermeja (Rana temporaria). *Revista Española de Herpetología*, 14, 5-18.

Gómez-Peñaranda, J. A., & Clavijo-Restrepo, L. C. (2012). Determinación del tiempo del vaciado del estómago de la tilapia *Oreochromis sp.* mediante la utilización de diferentes frecuencias de alimentación semanal y ayuno. *Acta Agronómica*, 61(3), 239-243.

Hanson, Paul, Springer, Monika, & Ramírez, Alonso. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Supl. 4), 3-37  
[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442010000800001&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800001&lng=en&tlng=es).

Hellawell, J.M. 1986 *Biología Indicadores de Contaminación de agua dulce y gestión ambiental* Springer Netherland

Huggett, J. A. (2014). Mesoscale distribution and community composition of zooplankton in the Mozambique Channel. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 119-135.

Hurtado-Bocanegra, MD, Nandini, S. y Sarma, SSS (2002). Efectos combinados del nivel de alimentos y la densidad de inoculación en la competencia entre *Brachionus patulus* (Rotifera) y los cladocerans *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa*. *Hydrobiologia*, 468 (1-3), 13-22.

Iquise Apaza Sonia R. (2017). Variación espacial del zooplancton en tres épocas en relación a factores fisicoquímicos del agua en la Bahía interior y exterior del Lago Titicaca, Puno, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas, Repositorio UNA, Puno, Perú (tesis).

Klais, R., Lehtiniemi, M., Rubene, G., Semenova, A., Margonski, P., Ikaunieca, A., ... & Ojaveer, H. (2016). Spatial and temporal variability of zooplankton in a temperate semi-enclosed sea: implications for monitoring design and long-term studies. *Journal of Plankton Research*, 38(3), 652-661.

Koleff Patricia, González Ana Isabel, Born-Schmidt Georgia. (2010). Estrategías Nacionales sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. CONABIO. México D.F.

Masson, S., Angeli, N., Guillard, J., & Pinel-Alloul, B. (2001). Diel vertical and horizontal distribution of crustacean zooplankton and young of the year fish in a sub-alpine lake: an approach based on high frequency sampling. *Journal of Plankton Research*, 23(10), 1041-1060.

Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcelona, Ediciones Omega.



McCoy, MW y Savitzky, AH (2004). Ecología de alimentación de larvas de *Ambystoma mabeei* (Urodela: Ambystomatidae). *Naturalista del sudeste*, 3 (3), 409-416.

Mena- González H. y Servín- Zamora E. (2014), Manual básico para el cuidado en cautiverio del ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 34 p.

Mena González Horacio, Kenia Montes de Oca (2014). Manual de Procedimientos para el Manejo y Mantenimiento de la Colonia de Axolotes del Laboratorio de Restauración Ecológica Universidad Nacional Autónoma de México Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Instituto de Biología [www.ibiologia.unam.mx](http://www.ibiologia.unam.mx) ISBN 978607 02 5826 8

Montes Ruiz Marlén, (2018). Alternativa de introducción de *Ambystoma mexicanum* (Shaw and Nodder, 1798) (Amphibia: caudata) en el valle de México. (tesis)

Morales Martín, J. J. (2015). Ecología de la nutria paleártica (*Lutra L.*, 1758) en lagunas y embalses ibéricos de alta montaña. Interacciones con las poblaciones de anfibios durante su periodo reproductor.

Nandini, S., Ramírez-García, P. y Sarma, SSS (2005). Variaciones estacionales en la diversidad de especies de rotíferos planctónicos en el lago Xochimilco, México. *Journal of Freshwater Ecology*, 20 (2), 287-294.

Nandini, S., S. S. S. Sarma, R. J. Amador-López & S. Bolaños-Muñoz. 2007. Crecimiento de la población y tamaño corporal en cinco especies de rotíferos en respuesta a la concentración variable de alimentos. *Journal of Freshwater Ecology* 22:1-10.

Nandini, S., García, PR y Sarma, SSS (2016). Indicadores de calidad del agua en el lago Xochimilco, México: zooplancton y *Vibrio cholerae*. *Revista de Limnología*, 75 (1).

Navarrete, S., Jiménez, B., Navarro, I., & Domínguez, R. (2013). Evaluación del riesgo al acuífero de Xochimilco por lluvias extremas. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(3), 103-123.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), "salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>

Consultado el 20 de febrero del 2020.

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Woolrich-Piña, G. A., & Montoya-Ayala, R. (2015). Diet of larval *Ambystoma rivulare* (Caudata: *Ambystomatidae*), a threatened salamander from the Volcán Nevado de Toluca, Mexico. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, 14 (1), 33-41.

Lannacone, J., Alvariño, L., Jiménez-Reyes, R., & Argota, G. (2020). Diversidad del plancton y macrozoobentos como indicador alternativo de calidad de agua del río Lurín en el distrito de Cieneguilla, Lima-Perú. *The biologist*, 11(1).

Ortega-Murillo Del Rosario, M., Hernández-Morales, R., Oropeza-Flores, H., Alvarado-Villanueva, R., & Mora, Y. (2016). Estructura de la comunidad del zooplancton en un lago hipereutrófico en Michoacán, México. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico-Agropecuarias*, 18(2), 51-59.

Otero, A., Muñoz, M., Medina-Robles, V., & Cruz-Casallas, P. (2013). Efecto del alimento sobre variables productivas de dos especies de Cladóceros bajo condiciones de laboratorio. *Revista MVZ Córdoba*, 18, 3642-3647.

Prieto, M., & Atencio, V. (2008). Zooplancton en larvicultura de peces neotropicales. *Revista MVZ Córdoba*, 13(2), 1415-1415.

Quiroz-Flores, Agustín, Miranda-Arce, María Guadalupe, & Lot-Helgueras, Antonio. (2008). Estudio comparativo de algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de Xochimilco con y sin *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach. *Polibotánica*, (25), 127-133. Recuperado en 22 de mayo de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682008000100010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682008000100010&lng=es&tlng=es).

Quiroz-Flores, A., Ramírez-García, P., y Lot-Helgueras, A. (2014). Variación anual de la biomasa de *Nymphoides fallax ornduff* (menyanthaceae) en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. *Polibotánica*, (37), 93-108.

Ribera, I., Melic, A., & Torralba, A. (2015). Introducción y guía visual de los artrópodos. *Revista Ide@-SEA*, 2, 1-30.

Robles Mendoza, Cecilia y García Basilio, Claudia Elizabeth y Vanegas Pérez, Ruth Cecilia (2009). Medios de mantenimiento para los juveniles axolotl *Ambystoma mexicanum* (Amphibia: Caudata). *Hidrobiológica*, 19 (3), 205-210. ISSN: 0188-8897.: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=578/57812781003>

Rodríguez-Varela, A., del Carmen Fonseca-Romero, M. A., Vázquez-López, H., & Cruz-Gómez, A. (2018). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos en la presa Xhimojay, municipio de Jilotepec, Estado de México, México. *The Biologist*, 16(1).

Santiago, M. y Aviña, RC (2017). Contribución al estudio de la ictiofauna del lago San Gregorio Atlapulco y los canales Xochimilco. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 8 (19), 33-46.

Sarma, SSS, Brena-Bustamante, P. y Nandini, S. (2008). Tamaño corporal y crecimiento de la población de *Brachionus patulus* (Rotifera) en relación con las concentraciones de metales pesados (cobre y mercurio). *Revista de Ciencias Ambientales y Salud, Parte A*, 43 (5), 547-553.

Sarma, S.S.S., Franco-Téllez, José Luis, & Nandini, S. (2008). Effect of algal food (*Chlorella vulgaris*) concentration and inoculation density on the competition among three planktonic *Brachionidae* (Rotifera: Monogononta). *Hidrobiológica*, 18(1, Supl. 1), 123-132.

Sarma, SSS, Jiménez-Nigó, A. y Nandini, S. (2015). Estudios morfométricos de especies de rotíferos (Rotifera) en la Cantera Oriente (México, DF). *Tendencias de Investigación*, 315.

Sarma, S. S. S., Jiménez-Santos, M. A., Nandini, S., & Wallace, R. L. (2017). Demography of the sessile rotifers, *Limnias ceratophylli* and *Limnias melicerta* (Rotifera: *Gnesiotrocha*), in relation to food (*Chlorella vulgaris* Beijerinck, 1890) density. *Hydrobiologia*, 796 (1), 796(1), 181-189.

Shaw y Nodder, 1798. *Ambystoma mexicanum* Vertebrados

Seebens Hanno, Einsle Ulrich, y Straile Dietmar (2012), Desviaciones de la sincronía: espacio variabilidad temporal del zooplancton dinámica de la comunidad en un gran lago Instituto Limnológico, Universidad De Konstanz, Alemania Instituto de Química y Biología Del Ambiente Marino (ICBM), Carl - Von - Ossietzky University, Box 2503, 26111 Oldenburg, Alemania. *J. Plankton Res.* (2013) 35 (1): 22–32.

SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010). Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para inclusión y exclusión o cambio. Lista de especies en Riesgo

SEMARNAT (2014). Secretaria del medio ambiente y recursos naturales, Difunde SEMARNAT importancia del ajolote como especie endémica. México

Slight, DJ, Nichols, HJ y Arbuckle, K. (2015). ¿Son beneficiosas las dietas mixtas para el bienestar de los axolotls cautivos (*Ambystoma mexicanum*)? Efectos de los regímenes de alimentación sobre el

crecimiento y el comportamiento. *Journal of Veterinary Behavior*, 10 (2), 185-190.

Stephen M. Deban y Sharyn B. Marks (2001). Dieta de Larval *Ambystoma altamiranoi* de Llano de los Axolotes México Museo de Zoología de Vertebrados y Departamento de Biología Integrativa, 3101 Valley Life Sciences, Universidad de California, Berkeley, California 94720-3160, EE. UU

Trujillo-Jiménez, Patricia, & Espinosa de los Monteros Viveros, Efrén. (2006). La ecología alimentaria del pez endémico *Girardinichthys multiradiatus* (Cyprinidontiformes: Goodeidae), en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. *Revista de Biología Tropical*, 54(4), 1247-1255.

UNESCO-México (2006). Organización de las Naciones Unidas para la educación, ciencia y cultura. Xochimilco.

Valiente, E., Tovar, A., González, H., Eslava-Sandoval, D. y Zambrano, L. (2010). Creación de refugios para el axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Restauración ecológica*, 28 (3), 257-259.

Valiente Riveros, Elsa. (2010). Las especies exóticas como contaminación biológica del agua. *calidad del agua Un enfoque multidisciplinario*, V. 5. pág14

Tavera, R. y B. Díez, (2009), enfoque multifacético para el análisis de comunidad microbiana fototrófica en un recreativo de agua dulce Zona de Xochimilco, México. *Hidrobiología*, **636**, 353–368

Vaschetto, P. A. (2016). Biodiversidad del zooplancton de la reserva natural urbana del oeste (rnuo, Santa Fe) y su relación con la calidad del agua.

Zambrano, L., Martínez-Meyer, E., Menezes, N. y Peterson, AT (2006). Potencial invasivo de la carpa común (*Cyprinus carpio*) y la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en los sistemas de agua dulce estadounidenses. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63 (9), 1903-1910.

Zambrano, L., Valiente, E. y Vander Zanden, MJ (2010). La superposición de la red alimentaria entre el axolotl nativo (*Ambystoma mexicanum*) y dos peces exóticos: carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Xochimilco, Ciudad de México. *Invasiones biológicas*, 12 (9), 3061-3069

## 14.1. Anexos

### 14.2. Medio Basal Bold

A) Pesar y preparar las soluciones, agitar hasta su completa homogenización.

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

### B) Procedimiento para realizar un cultivo de algas para 2L de capacidad

1.- En un recipiente con de 2L de capacidad (con las tapas con dos perforaciones), agregar 30 mL de cada uno de los nutrientes previamente preparados.

2.-A la mezcla anterior, agregar 1.8 L de agua destilada

3.-Adicionar 5 o 10 mL de cultivo puro de las algas *Chlorella vulgaris* o *Scenedesmus acutus*, (Verificar previamente en microscopio que no contenga contaminantes).

4.- Colocar un dispositivo de aireación (tubo de vidrio y manguera) manteniéndose en condiciones de luz constante.

4.- Posteriori, se aplica 0.5 mL de Bicarbonato de sodio cada dos días

5.- Finalmente se decanta, y guarda en frascos de vidrio correctamente etiquetados.

### 14.3. ANOVA

#### *OA, mexicanum vs O. niloticus*

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Especies	2	537.815	268.907	118.781	<0.001
Semanas	7	572.074	81.725	36.099	<0.001
Horas	2	10.259	5.130	2.266	0.107
Especies x Semanas	14	300.481	21.463	9.481	<0.001
Especies x Horas	4	5.519	1.380	0.609	0.657
Semanas x Horas	14	122.037	8.717	3.850	<0.001
Especies x Semanas x Horas	28	163.074	5.824	2.573	<0.001
Residual	144	326.000	2.264		
Total	215	2037.259	9.476		

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 8 am. P = <0.001)

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 2 pm. (P = <0.001)

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 8pm. (P = <0.001)

#### *O. niloticus*

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Dietas	2	594.083	297.042	86.122	<0.001
Semanas	7	597.463	85.352	24.746	<0.001
Horas	2	0.750	0.375	0.109	0.897
Dietas x Semanas	14	128.731	9.195	2.666	0.002
Dietas x Horas	4	1.583	0.396	0.115	0.977
Semanas x Horas	14	166.065	11.862	3.439	<0.001
Dietas x Semanas x Horas	28	176.491	6.303	1.828	0.012
Residual	144	496.667	3.449		
Total	215	2161.833	10.055		

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 8 am. P = <0.001)

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 2 pm. (P = <0.001)

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 8pm. (P = <0.001)

#### *A. mexicanum*

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Dietas	2	10.815	5.407	1.890	0.155
Semanas	7	361.773	51.682	18.064	<0.001
Horas	2	8.231	4.116	1.439	0.241
Dietas x Semanas	14	248.519	17.751	6.204	<0.001
Dietas x Horas	4	80.380	20.095	7.023	<0.001
Semanas x Horas	14	139.769	9.983	3.489	<0.001
Dietas x Semanas x Horas	28	250.731	8.955	3.130	<0.001
Residual	144	412.000	2.861		
Total	215	1512.218	7.034		

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 8 am. P = <0.001)

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 2 pm. (P = <0.001)

Diferencia significativa Especies x Semanas con interacción en la Horario 8pm. (P = <0.001)

#### 14.4. Nombres de los sitios de muestreo y Coordenadas

Sitios	Nombre del Sitio de muestreo	X	y
Sitio 1	Fábrica	493487	2129468
Sitio 2	Tecaltitla (Puente de Urrutia)	492766	2130459
Sitio 3	Compuerta	493908	2129524
Sitio 4	El Bordo	494286	2130299
Sitio 5	El Ejido	495023	2129993
Sitio 6	La Huerta (I)	492464	2129560
Sitio 7	San Sebastián (I)	495814	2130153
Sitio 8	Tlapechicalli	494686	2129250
Sitio 9	Ostotzinco	494722	2129746
Sitio 10	Potrero	493361	2129795
Sitio 11	San Sebastián (II)	495796	2130473
Sitio 12	San Sebastián (III)	495399	2129773
Sitio 13	La Huerta (II)	492738	2130070
Sitio 14	Presa Tecaltitla	492840	2130091
Sitio 15	La Huerta (III)	492970	2129858
Sitio 16	Tlilac (I)	493088	2130128
Sitio 17	Tlilac (II)	493215	2130075
Sitio 18	La Huerta tecaltitla	492871	2129973
Sitio 19	La Espejera	493922	2129977
Sitio 20	Püente de Urrutia	492410	2129574

#### 14.5. Índice de Alfa de Manly

$$\alpha_i = (r_i/n_i) / \sum (r_j/n_j), \text{ donde } \sum \alpha_i = 1.0$$

donde:

$\alpha_i$  = Índice de preferencia de Alfa de Manly para el tipo de presa  $i$

$r_i$   $r_j$  = proporción de la especie de presa  $i$  o  $j$  en la dieta.

$i$  y  $j$  = 1, 2, 3 .....m

$m$  = número de especies de presas posibles.

Si  $\alpha_i > 1/m$ , entonces la especie de presa  $i$  es preferida en la dieta

$\alpha_i < 1/m$ , la especie de presa  $i$  es evitada en la dieta



#### 14.6. Índice de Shannon- Wiener

Este índice se representa normalmente como  $H'$  y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía de 0 y No tiene límite superior o en todo caso lo da la base de logaritmo que se utilice.

La fórmula del Índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Dónde:

$S$  = número de especies (la riqueza de especies)

$p_i$  = proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de

individuos (es decir la abundancia relativa de la especie  $i$ ):  $\frac{n_i}{N}$

$n_i$  = número de individuos de la especie

$N$  = número de todos los individuos de todas las especies

(Krebs, 1999).

## 4.7. Índice de Figuras

Figura 1. SGA (Lago de Xochimilco), Ciudad de México por Google Earth, Los puntos rojos indican la ubicación de donde fueron tomadas las muestras.

Figura 2. Toma de muestra de SGA lago de Xochimilco con una red de 50  $\mu\text{m}$  de apertura de malla.

Figura 3. Cultivos de microalgas de *Scenedesmus acutus* y *Chlorella vulgaris*.

Figura 4. Larva de *Ambystoma mexicanum* en la segunda semana de desarrollo.

Figura 5. Fase experimental A, B y C. Con tres repeticiones cada uno: A) se colocó dos ajolotes; B) dos tilapias; C) dos ajolotes y dos tilapias a las 8:00 hrs.

Figura 6. *Heterocypris incongruens*

Figura 7. *Brachionus calyciflorus*

Figura 8. *Daphnia* sp.

Figura 9. Comparación de la densidad promedio de zooplancton de los 20 sitios en los muestreos del 2017 y 2018 en SGA (Lago de Xochimilco).

Figura 10. Porcentaje del grupo de zooplancton del muestreo del 2017 en la zona de SGA (Lago de Xochimilco) Ciudad de México.

Figura 11. Porcentaje del grupo de zooplancton del muestreo del 2018 en la zona de SGA (Lago de Xochimilco) Ciudad de México.

Figura 12.-Diversidad de Shannon Wiener en el zooplancton (Ro: rotíferos, Cl: cladóceros, Co: copépodos y Os: ostrácodos) presentes en los 20 sitios de muestreo de SGA (Lago de Xochimilco) en el 2017.

Figura 13.-Diversidad de Shannon Wiener en el zooplancton (Ro: rotíferos, Cl: cladóceros, Co: copépodos y Os: ostrácodos) presentes en los 20 sitios de muestreo de SGA (Lago de Xochimilco) en el 2018.

Figura 14. La temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ , (promedio) del 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX). la línea indica con el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989.

Figura 15. Potencial de Hidrogeno del 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) la línea superior indica con el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. Y la línea inferior indica el límite permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994)

Figura 16. Oxígeno disuelto (mg/l) del 2017 y 2018, de los 20 sitios del lago de SGA (Xochimilco de la CDMX). La línea indica el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989.

Figura 17. Porcentaje de Oxígeno disuelto del 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (lago de Xochimilco de la CDMX).

Figura 18. La conductividad valores (promedio) del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Xochimilco de la CDMX). La línea indica el valor límite permitido establecido por la (NOM-127-SSA1-1994).

Figura 19. Los valores (promedio) de Sólidos Disueltos Totales (SDT) del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios del lago de SGA (Xochimilco de la CDMX), la línea indica el valor límite permitido (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. Y el valor límite permitido (L.P.) establecido por la (NOM-127-SSA1-1994).

Figura 20. Valores (promedio) de Salinidad del 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX). La línea indica el valor límite permitido establecido por la (NOM-127-SSA1-1994).

Figura 21. Valores (promedio) de Sulfatos del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) la línea inferior indica con el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. Y la línea superior indica el límite permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994).

Figura 22. Valores (promedio) de profundidad del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX).

Figura 23. Transparencia de disco de Secchi, (promedio) del 2017 y 2018, en los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco, CDMX), la línea indica el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989.

Figura 24. Valores (promedio) de nitratos del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) con línea que indica el valor de los límites permisibles (L.P.) establecido por (NOM-127-SSA1-1994).

Figura 25. Valores (promedio) de nitritos del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) con línea que indica el valor de los límites permisibles (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. cambiar por NOM

Figura 26. Valores (promedio) de Amonio del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) la línea superior indica con el valor límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989. Y la línea inferior indica el límite permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994).

Figura 27. Valores de fosfatos (promedio) del muestreo en 2017 y 2018, de los 20 sitios de SGA (Lago de Xochimilco de la CDMX) con la línea que indica el límite permisible (L.P.) establecido por los Criterios Ecológicos de 1989.

Figura 28. Consumo de presas (rotíferos) durante una hora en las primeras 8 semanas comparando tratamientos *Ambystoma mexicanum*, *Oreochromis niloticus* y *A. mexicanum* vs *O. niloticus*.

Figura 29. Consumo de presas (Cladóceros) durante una hora en las primeras 8 semanas comparando tratamientos *Ambystoma mexicanum*, *Oreochromis niloticus* y *A. mexicanum* vs *O. niloticus*.

Figura 30. Consumo de presas (Ostrácodos) durante una hora en las primeras 8 semanas comparando tratamientos *Ambystoma mexicanum*, *Oreochromis niloticus* y *A. mexicanum* vs *O. niloticus*.

Figura 31. Se observan preferencias por semanas de *A. mexicanum* con dietas de Rotíferos, Cladóceros y Ostrácodos. Por arriba de la línea recta se muestran las diferencias alimentarias.