



**Casa abierta al tiempo**  
**UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA**  
**UNIDAD IZTAPALAPA**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**  
**POSGRADO EN BIOLOGÍA**

**“Evaluación del desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum*  
(Valenciennes, 1835) en un sistema de agua clara y un sistema biofloc”**

TESIS

Para obtener el grado de

Maestro en Biología

PRESENTA:

José Antonio Rosas Herrera

Matrícula: 2212801362

[hidrojarh85@gmail.com](mailto:hidrojarh85@gmail.com)

DIRECTOR DE TESIS:

DIRECTOR: Dr. Gerardo Figueroa Lucero

JURADO:

Presidente: Dra. Alma Socorro Sobrino Figueroa

Secretario: Dra. Mónica Cristina Rodríguez Palacio

Vocal: M. en C. María Eugenia Zamudio Reséndiz

Vocal: Dr. Jesús Dámaso Bustamante González

Iztapalapa, Ciudad de México a 22 de enero del 2025

---

**La maestría en Biología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana  
pertenece al padrón de  
Posgrados de Calidad del CONAHC**

José Antonio Rosas Herrera

El día 22 de enero del 2025

### Comité Tutorial y jurado

Director: Dr. Gerardo Figueroa Lucero

Codirectora: Dra. María Cecilia Hernández Rubio

Asesora: Dra. María del Rosario Tarragó Castellanos

Presidente: Dra. Alma Socorro Sobrino Figueroa

Secretario: Dra. Mónica Cristina Rodríguez Palacio

Vocal: Mtra. María Eugenia Zamudio Reséndiz

Vocal: Dr. Jesús Dámaso Bustamante González

## Declaración de originalidad

El que suscribe José Antonio Rosas Herrera, alumno del posgrado Maestría en Biología, de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y autor de la tesis o idónea comunicación de resultados titulada: “Evaluación del desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum* en un sistema de agua clara y un sistema biofloc”.

Declaro que:

1. La tesis o idónea comunicación de resultados que presento ante el comité tutorial y el jurado para la obtención del grado de Maestro en biología es de mi autoría y original creación, producto del resultado de mi trabajo de investigación personal e individual; el cual cuenta con las correspondientes citas textuales del material bibliográfico utilizado y con el debido otorgamiento de los créditos autorales.
2. En la tesis o idónea comunicación de resultados no he reproducido párrafos completos; ilustraciones, fotografías, diagramas, cuadros y tablas, sin otorgamiento del crédito autoral y fuente correspondiente.
3. En consecuencia, relevo de toda responsabilidad a la Universidad Autónoma Metropolitana de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que se considere con derecho sobre la tesis o idónea comunicación de resultados, respondiendo por la autoría y originalidad de la misma, asumiendo todas las consecuencias económicas y jurídicas si ésta no fuese de mi creación.

La presente declaración de originalidad se firma en la Ciudad de México el 22 de enero del 2025.

Atentamente



José Antonio Rosas Herrera

Nombre y firma del alumno

*Este documento debe ser firmado con tinta azul y debe anexarse copia en la tesis o idónea comunicación de resultados (tesina, reporte, etc.), el documento original será conservado por el Coordinador del Posgrado.*

## Agradecimientos

---

- ❖ Me complace el poder agradecer primeramente a la institución CONAHCYT, por brindar el apoyo económico durante el tiempo en el que se realizó el presente proyecto de tesis, a la Universidad Autónoma Metropolitana, en especial al campus Iztapalapa (UAM-I), por brindar los apoyos en especie e infraestructura necesarios para la realización de este proyecto.
- ❖ Agradezco ampliamente a la comisión de la maestría en Biología encabezada por el Dr. Francisco José Gutiérrez Mendieta por permitirme desarrollar este proyecto de tesis, al director de tesis, el Dr. Gerardo Figueroa Lucero, por su guía y paciencia durante este proceso, a la codirectora, la doctora María Cecilia Hernández Rubio, por su valiosa guía y asertivas recomendaciones, a la asesora la doctora María del Rosario Tarragó Castellanos, por su esfuerzo y paciencia para esclarecer las dudas y por supuesto a la representante de la comisión académica, la doctora Alma Socorro Sobrino Figueroa.
- ❖ Sin duda extendo mi gratitud a la Dra. Mónica Rodríguez Palacios y a la estudiante Jaqueline por su apoyo para realizar los análisis bromatológicos, así como a la doctora Flor de María Cuervo López por su colaboración para realizar los análisis de carbono orgánico total.
- ❖ Agradezco profundamente a mis padres Natalia y Antonio, a mis hermanas Nancy y Andrea, a mis sobrinos por su cariño e inspiración, a mis amigos (Pamela L., Yitzak A., Anahí C., Abigail, Wences, Susana., Karla O., Kutussa C., Jorge O., Asael P, etc.) por su apoyo y amistad que hicieron más colorido y enriquecedor este proceso y un especial agradecimiento a los Doctores: David U. Hernández Becerril y Francisco Varona por sus valiosas enseñanzas y camaradería.
- ❖ En general gracias al pueblo de México, porque del esfuerzo colectivo proviene la riqueza, incluidos los impuestos que sirvieron en este caso para financiar este proyecto de tesis.

*Si he logrado ver más lejos ha sido porque he subido a hombros de gigantes*

*Isaac Newton (1676)*

*El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza*

*Leonardo Da Vinci, (1452-1519)*

*Quico oc tlamati noyollo:*

*Nic caqui in cuicatl, nic itta in xochitl.*

*¡Maca in cuetlahuia in tlaltipac!*

*Por fin lo comprende mi corazón:*

*Escucho un canto, contemplo una flor...*

*¡Ojalá no se marchiten!*

*Nezahualcóyotl, (1402-1472)*

# ÍNDICE

---

- **RESUMEN**..... (11)
- **ABSTRACT** .....(12)
- **INTRODUCCIÓN**..... (13)
- Situación actual de *C. humboldtianum*.....(14)
- Sistemas biofloc.....(15)
- Desarrollo.....(15)
- Teoría epigenética.....(15)
- Teoría de la ontogenia saltatoria.....(15)
- **ANTECEDENTES**.....(17)

## Biología y ecología de *Chirostoma humboldtianum*

- Hábitat y reproducción ..... (17)
- Alimentación ..... (18)
- Periodo embrionario ..... (20)
- Periodo larvario..... (22)
- Sistema biofloc.....(23)
- Efectos prebióticos, probióticos, postbióticos, parabióticos y antibióticos en los sistemas biofloc..... (25)
- Metabolismo de: NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>/ NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, C y O<sub>2</sub> en los sistemas biofloc ..... (28)
- Valores nutricionales de los sistemas biofloc.....(30)

- La comunidad ecológica en los sistemas biofloc .....(31)
- Antecedentes en cultivos de peces y crustáceos en sistemas biofloc.....(32)
- **PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**.....(33)
- **HIPÓTESIS**.....(34)
- **OBJETIVOS:**.....(35)
  - OBJETIVO GENERAL.....(35)
  - OBJETIVO ESPECÍFICO .....(35)
- **MATERIAL Y MÉTODOS**.....(36)
  - Parámetros fisicoquímicos (ACC y TBF).....(36)
  - Mantenimiento de los reproductores.....(36)
  - Preparación del biofloc .....(36)
  - Diseño experimental.....(37)
  - Periodo larvario en los sistemas de agua clara control (ACC) y el sistema biofloc (TBF).....(37)
  - Estructura de la comunidad planctónica en el sistema biofloc (TBF).(37)
  - Diseño experimental.....(37)
  - Obtención de los huevos.....(37)
  - Alimentación de las larvas en los sistemas ACC y TBF.....(38)
  - Análisis de resultados.....(39)

- Tabla de acrónimos.....(40)
- **RESULTADOS**.....(41)
- Condiciones fisicoquímicas, biológicas y ecológicas en los sistemas de cultivo ACC y TBF durante el desarrollo temprano de *C. humboldtianum*.....(41)
- Concentraciones de los nutrientes en el sistema TBF.....(43)
- Fitoplancton.....(45)
- Zooplancton.....(47)
- Diversidad.....(48)
- Análisis bromatológico del sedimento del sistema TBF (52)
- Desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum*.....(53)
- Características morfológicas.....(54)
- Fase de eleuteroembrión.....(54)
- Fase de apterolarva.....(56)
- Fase de pterolarva.....(57)
- Sobrevivencia.....(60)
- **DISCUSIÓN**..... (61)
- Análisis fisicoquímico y calidad de agua en los tratamientos ACC y TBF (61)
- Comunidad planctónica en el sistema TBF.....(64)
- Calidad nutricional de los sistemas de cultivo (ACC y TBF).....(66)
- Crecimiento de *Chirostoma humboldtianum*.....(67)
- Cambios morfológicos durante el desarrollo temprano de *C. humboldtianum* (68)
- Fase de eleuteroembrión.....(68)
- Periodo larvario.....(69)

- Supervivencia durante el desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum* (69)
- **CONCLUSIONES** ..... (72)
- **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS** ..... (73)
- **APÉNDICE** .....(86)

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

- ❖ Tabla 1.- Valores nutricionales de algunos sistemas biofloc (Hernández *et al.*, 2019).....(31)
- ❖ Tabla 2. Lista de acrónimos usados en la tesis.....(40)
- ❖ Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos en agua clara control(ACC) y biofloc (TBF).....(42)
- ❖ Tabla 4. Diversidad (D) y equidad (E) del fitoplancton y zooplancton en el TBF.....(49)
- ❖ Tabla 5. Especies registradas en el sistema TBF.....(49, 50 y 51)
- ❖ Tabla 6. Contenido nutricional de los sistemas ACC y TBF.....(53)
- ❖ Figura 1. Concentración de nutrientes (NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>), absorbancias y número de células del fitoplancton (1X10<sup>4</sup>), en el tratamiento TBF durante 47 días.....(43)
- ❖ Figura 2. Número de especies en el sistema TBF del día 0 al 47.....(44)
- ❖ Figura 3. Número de especies de cada grupo taxonómico.....(45)
- ❖ Figura 4. Promedio de las abundancias del fitoplancton en el tratamiento TBF.....(46)
- ❖ Figura 5. Abundancias de las especies del zooplancton en el TBF.....(48)
- ❖ Figura 6. Desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum* en los tratamientos ACC y TBF
- ❖ Y = LN.....(54)
- ❖ Figura 7. Fase de eleuteroembrión, del día 0-3 DDE de *C. humboldtianum*, LN en (mm) A (día 0-1), B (día 1-2) y la longitud (mm) del saco vitelino (SV).....(55)
- ❖ Figura 8. Fase de Apterolarva: del día 4-12 (A), 13-16 (B) y al 17 (C), los números del 1-6 muestran la morfología de la cabeza y la aleta caudal.....(57)
- ❖ Figura 9. Fase de pterolarva 17, 27 y 32 DDE.....(58)
- ❖ Figura 10. Pterolarvas de 33-37 DDE (D), de 38-42 (E) y de 47 días (F). Primera aleta dorsal con radios (1), escamas (2 y 3).....(59)
- ❖ Figura 11. Supervivencia en el tiempo en los sistemas ACC y TBF.....

## RESUMEN

---

Se evaluó la eficiencia de dos sistemas de cultivo, Agua clara (ACC) y un biofloc (TBF), a través de la calidad del agua y el valor nutricional de cada uno, sobre el desarrollo temprano y la sobrevivencia de *Chirostoma humboldtianum*, desde la eclosión hasta la transformación a juvenil. Se evaluó la variación de NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> y pH, en cada sistema. Los peces se mantuvieron a 20 °C y 5 g/L NaCl, en ambos sistemas. Se determinó la composición específica y la abundancia del plancton del biofloc, desde el inicio hasta la transformación a juveniles de los peces. Se cuantificó el valor nutricional tanto del biofloc (TBF), el que se suplementó con alimento balanceado, como del alimento vivo utilizado (*Brachionus rotundiformis* y *Artemia franciscana*) en el sistema de agua clara (ACC). La calidad del agua en el sistema biofloc fue adecuada, debido a la eficiencia de la cadena trófica del plancton; por el contrario, en el sistema ACC, se hicieron recambios de agua periódicos para mantener una buena calidad. La diversidad del fitoplancton fue baja debido al corto tiempo del experimento, sin embargo, para el zooplancton el tiempo fue suficiente para alcanzar una diversidad alta. *Chlorella sp.*, y *Tetrahymena pyriformis* fueron las especies dominantes. El tiempo de desarrollo de los peces, así como su crecimiento, fue semejante en ambos sistemas. La menor sobrevivencia se presentó en el período de alimentación mixta, en los dos sistemas. Sin embargo, en el sistema TBF fue más eficiente debido a que se obtuvo una sobrevivencia del 72%, a diferencia del sistema ACC donde fue menor (28 %).

## ABSTRACT

---

It was evaluated two culture systems efficiency, clear water (CWC) and a biofloc (BFT), through water quality and the nutritional value of each, over early development and survival of *Chirostoma humboldtianum*, since hatching to metamorphosis to juvenil. The variation of NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> and pH was evaluated in each system. Fish were kept at 20 °C and 5 g/L NaCl, on both systems. Specific composition and abundance of biofloc plankton were determined, from the beginning of experiment until fish metamorphosis to juvenil. Nutritional value was quantified in both, biofloc (TBF) supplemented with balanced food, and live food (*Brachionus rotundiformis* and *Artemia franciscana*) used in clear wáter system (CWC). Biofloc water quality was adecuate due plankton food chain efficiency; on the contrary, periodic water changes were made in CWC system to mantain a good wáter quality. Phytoplankton diversity was low because of short experiment time; however, time was enough to zooplankton to get a high diversity. *Chorella sp.*, and *Tetrahymena pyriformis* were the dominant species. Fish development time, as well as their growth, were similar in both systems. The least survival was presented in mixed feeding period. However, BFT system was more efficient because of survival was 72%, unlike of CWC system, where survival was minor (28%).

# INTRODUCCIÓN

---

Actualmente a nivel mundial, la producción de animales acuáticos se incrementó aproximadamente en un 60%, en comparación con 1990 (FAO, 2024). En México se ha alcanzado un incremento del sector acuícola cercano al 9% anual (SADER, 2024). Por lo que, la acuicultura es una actividad económica importante, por la producción de alimentos de alto valor nutricional.

Sin embargo, hace falta mejorar los procesos de producción sustentables por medio de la investigación, sobre todo de especies silvestres que presenten un potencial productivo y orientar la investigación a la nutrición y sus efectos durante el desarrollo temprano (David-Ruales *et al.*, 2018), ya que es cuando se presenta la mayor mortalidad en los peces

Por lo tanto, tiene una gran importancia generar conocimiento biológico del desarrollo temprano, en sistemas con ahorro de agua, no solo de las especies comerciales como la tilapia, el salmón, la trucha, la carpa, entre otras, sino también de especies endémicas, como *Chirostoma humboldtianum*. Esta especie representa un considerable potencial de importancia biológica, ecológica, cultural y económica por lo siguiente:

- Biológica; Por ser la especie más semejante al ancestro (Bloom *et al.*, 2013; Campanella *et al.*, 2015). Es considerada la primera especie íctica descrita por la ciencia en México (Paulo-Maya *et al.* 2000).
- Ecológica; Debido a que, en su hábitat se alimenta del zooplancton prefiriendo el consumo de rotíferos y cladóceros durante los periodos larvario y juvenil, mientras que durante el periodo de adulto incluye en su dieta el consumo de peces, contribuyendo de esta forma a mantener

el equilibrio en las poblaciones de zooplancton y peces en los cuerpos de agua donde habita (Días-Pardo, 1986; Moncayo, 1996; Figueroa *et al.*, 1999; Paulo-Maya *et al.*, 2000; Hernández-Rubio *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2008).

- Cultural; debido a que ha sido y es en la actualidad, una fuente de alimento y un símbolo de identidad para las culturas prehispánicas que se desarrollaron y que aún habitan cerca de los cuerpos de agua donde se encuentra *Chirostoma humboldtianum* (López, 1991; Soria-Barreto *et al.*, 1998).
- Económico; esto se debe a que este pez es ampliamente consumido en los mercados locales cercanos a las zonas donde habita (SADER, 2024).

### **Situación actual de *C. humboldtianum***

La contaminación, la sobrepesca, la reducción de su hábitat, entre otras causas, han generado una disminución en el tamaño de los peces, así como una reducción en el tamaño de sus poblaciones. Es necesario tomar acciones urgentes, para generar las biotecnologías que permitan propiciar un aumento en las poblaciones de estos peces, por medio de cultivos sustentables (Figueroa *et al.*, 1999; Paulo- Maya, *et al.* 2000; Hernández-Rubio *et al.*, 2006).

La mayoría de las especies del género *Chirostoma*, se encuentran en algún estatus de riesgo, de acuerdo con la NOM-059- SEMARNAT-2010, por lo que es necesario generar conocimientos que permitan implementar biotecnologías para su producción y al mismo tiempo, su conservación.

## **Sistemas biofloc**

Los sistemas biofloc son un método de acuicultura sustentable, que permite controlar la calidad del agua, a partir de los organismos planctónicos que integran estos medios de cultivo, y proveen de alimento a los peces, a partir de los bioflóculos de estos sistemas (Avnimelech, 2009; Emerciano *et al.*, 2012).

Los bioflóculos incrementan la sobrevivencia de los peces, debido al efecto de los prebióticos, probióticos, postbióticos, parabióticos y antibióticos de los organismos que se encuentran en dichos sistemas, potenciando el desarrollo y el sistema inmunológico de los peces (Avnimelech, 2009; Emerciano *et al.*, 2012; Panigrahi *et al.*, 2018).

Por tales motivos, se consideran una alternativa viable en el manejo de la sanidad acuícola y la nutrición de los peces cultivados.

## **Desarrollo**

Los procesos que dan lugar al desarrollo de los animales, desde la activación del óvulo hasta el momento de la muerte, se han explicado a partir de diversas teorías (Hernández-Rubio, 2009).

### **Teoría epigenética**

Esta teoría fue propuesta por Aristóteles en el año 349 a. c.; posteriormente fue desarrollada y actualizada por William Harvey, quién acuñó el término de epigénesis en el siglo XVII. Se basa en el principio en el cual, los órganos se forman en cada individuo a través de pequeños cambios, de forma gradual. Así mismo, los procesos del desarrollo se presentan en todos los niveles de organización y son los responsables de la transformar una célula inicial en un adulto pluricelular de gran complejidad (Gilbert, 2000).

### **Teoría de la ontogenia saltatoria**

La teoría de la ontogenia saltatoria la propuso Balon para los peces (1985). No se contrapone con la teoría epigenética, en cuanto a los mecanismos en que se llevan a cabo los procesos del desarrollo.

La teoría saltatoria explica que los procesos del desarrollo no suceden de forma gradual, sino que el desarrollo ocurre por pasos, que son intervalos estables durante los cuales ocurren cambios en la forma y función. Los pasos en el desarrollo se separan por umbrales, que son cambios cuantitativos, que dan lugar a cambios cualitativos sincrónicos, que en conjunto generan cambios funcionales y que permiten a los animales establecer una nueva relación con su ambiente y posteriormente, darán lugar a un nuevo paso en el desarrollo (Balon, 1985).

El modelo de la ontogenia saltatoria comprende 5 períodos para las especies de peces con desarrollo indirecto: embrionario, larvario, juvenil, adulto y senescente. Estos períodos representan el intervalo más amplio entre los umbrales y son los principales eventos durante la ontogenia. A su vez, los periodos se dividen en fases, las cuales representan el segundo intervalo de tiempo más grande. Las fases se dividen en pasos, los cuales representan los intervalos más cortos de la ontogenia (Balon, 1981).

# ANTECEDENTES

---

## **Biología y ecología de *Chirostoma humboldtianum***

La familia Atherinopsidae se caracteriza por ser de origen marino. Algunas especies se han adaptado a sistemas salobres y dulceacuícolas (Aguilar y Navarrete, 1997; Bloom *et al.*, 2013). En esta familia se encuentra el género *Chirostoma*, representado por 18 especies y seis subespecies, endémicas de México, y se clasifican en dos grupos, sin valor taxonómico: el grupo Jordani, que se caracteriza por tener valores morfométricos y merísticos altos, por lo que reciben el nombre de peces blancos, en el que se encuentra *Chirostoma humboldtianum* y el grupo Arge, que presenta valores merísticos menores y se les llama charales (Barbour, 1973).

## **Hábitat y reproducción**

*Chirostoma humboldtianum* habita los cuerpos lénticos del sistema Lerma-Santiago, del Estado de México, Michoacán y Jalisco.

Es una especie ovípara con desarrollo indirecto, iterópara, con desarrollo gonádico asincrónico, fitófila no guardadora.

En condiciones naturales, se reproduce en las zonas someras de los cuerpos de agua con abundante vegetación, de la que utiliza las raíces como sustrato, para la fijación de los huevos, con unas estructuras filamentosas llamadas zarcillos. (Jiménez y García, 1995; Moncayo, 1996; Paulo-Maya *et al.*, 2000).

*C. humboldtianum* desova durante todo el año, con un máximo reproductivo entre enero-abril, (14-20 °C) y de junio- agosto (22-25 °C). Bajo condiciones controladas, el desove ocurre a temperaturas entre los 17-21 °C y 0-10 g/L NaCl (Figueroa-Lucero *et al.*, 2007).

## Alimentación

*C. humboldtianum*, Ha sido considerado como un pez zooplantófago con tendencias al consumo de cladóceros, su base alimenticia se incrementa con larvas de insectos, caracoles y peces en el período adulto. (Moncayo, 1996).

Todas las especies del género son agástricas ya que no poseen un estómago definido y la digestión se lleva a cabo por acción enzimática con una alta actividad proteolítica de enzimas pancreáticas e intestinales (Kobelkowsky y Figueroa, 2018). Durante el desarrollo temprano, estas especies presentan una alimentación endógena durante la fase de embrión libre ya que toda la energía proviene del vitelo y es utilizada para culminar la formación de estructuras como la vejiga gaseosa (Gilbert, 2000). El vitelo está compuesto por proteínas, carbohidratos y ácidos grasos saturados e insaturados de origen materno en los glóbulos de aceite, esenciales para la especialización de las estructuras corporales (Ruales *et al.*, 2018). Previo al consumo del vitelo, las larvas pasan a una alimentación mixta. En esta fase llamada apterolarva, las enzimas del zooplancton presentes en los lisosomas celulares digieren al organismo donde estaban contenidas y el intestino solo absorbe los nutrientes derivados del catabolismo (Hertrampf y Piedad-Pascual, 2000).

De acuerdo con Figueroa, *et al.*, 1999, esta fase en el desarrollo temprano se convierte en crítica para la sobrevivencia. La siguiente fase es el desarrollo de las aletas, que convierte al organismo en un depredador eficiente. Esta fase se denomina pterolarva o larva con aletas, en esta fase las enzimas digestivas, incipientes en la fase anterior, son en este momento el principal mecanismo digestivo y el organismo desarrolla una digestión propia (Figueroa *et al.*, 1999). Todos los vertebrados nacen o eclosionan con el tubo digestivo virgen, particularmente en los peces, la incorporación de una microbiota específica que coloniza el intestino es esencial para mejorar la digestión y se lleva a cabo en estas dos fases (Webb, 1999; Gilbert, 2000).

Las poblaciones que componen los sistemas biofloc han cobrado vital importancia por los efectos que tienen sobre el metabolismo digestivo de las especies con desarrollo indirecto (Ayazo-Genes *et al.*, 2019).

Estas propiedades son determinantes para la sobrevivencia bajo condiciones de cultivo.

Las especies del género *Chirostoma* presentan desarrollo indirecto, el cual se compone de cinco períodos: Embrionario, larvario, juvenil, adulto y senil o senescente. Cada período presenta características particulares con respecto a los cambios de forma, uso de la energía, crecimiento, producción de hormonas De acuerdo con Balon, 1991.

Se ha observado en peces cultivados que la alta mortalidad durante el desarrollo temprano se reduce considerablemente cuando se suministra alimento vivo desde el inicio de la alimentación mixta. Los rotíferos son uno de los alimentos más utilizados, ya que promueven una digestión y una asimilación rápidas, generada por las enzimas proteolíticas contenidas en estos animales (Yufera *et al.*, 1995; Kolkowsky *et al.*, 1997; Walford *et al.*, 1999).

El tracto digestivo de *C. humboldtianum*, tiene una región anterior y una posterior, un estómago poco desarrollado. En la región oral tiene unas estructuras óseas llamadas branquiespinas, que con los huesos faríngeos superiores e inferiores, inician con el proceso de captura e ingestión del alimento, ya que tritura a las presas facilitando el proceso de la digestión, sobre todo en el periodo larvario, debido a que no se ha desarrollado completamente aparato digestivo (Kobelkowsky y Figueroa, 2018).

En diversos bioensayos se ha comprobado que, los peces que consumieron alimento vivo durante el desarrollo temprano tuvieron un tamaño mayor, a diferencia de los peces alimentados con alimento balanceado. Se argumenta que una de las causas principales, es la falta de enzimas digestivas que en etapas tempranas (Lauff y Hofer, 1984).

Se recomienda proporcionar rotíferos (*Brachionus plicatilis* o *Brachionus rotundiformis*) durante la primera alimentación exógena, ya que estos animales tienen el contenido

nutricional necesario, además del tamaño adecuado para el tamaño de la boca de los peces, que mejoran la sobrevivencia y el crecimiento (Figueroa *et al.*, 1999; Castro-Barrera, 2004; Hernández-Rubio *et al.*, 2006).

Posteriormente, se recomienda proporcionar nauplios de *Artemia sp.*, hasta que los peces lleguen al período juvenil, en donde ya pueden consumir alimento balanceado (Figueroa *et al.*, 1999; Hernández-Rubio *et al.*, 2006).

### **Período embrionario**

El periodo embrionario inicia con la activación del óvulo y finaliza con el inicio de la alimentación exógena (Hernández-Rubio, 2009).

Los huevos de *C. humboldtianum* son pelágicos, telolecitos, transparentes, con varios glóbulos de aceite que se transforman en uno en la fase de embrión. Tienen de uno a cuatro zarcillos y presentan una zona pelúcida con un diámetro de  $1.36 \pm 0.047$  mm (Hernández-Rubio, 2009).

El período embrionario comprende las fases de división, embrión y eleuteroembrión. En *C. humboldtianum*, se determinó este período durante el desarrollo intracoriónico, a 20 °C, en agua dulce y un fotoperíodo de 12:12 h, de acuerdo con el modelo de desarrollo propuesto por Balon (1985). Las letras mayúsculas designan cada fase: D (División), E (Embrión), EL (Embrión libre). Los superíndices indican los pasos en cada fase y los números, los pasos en todo el desarrollo embrionario (Hernández-Rubio, 2009)

- Paso D<sup>1</sup> 1; D Posterior a la activación del óvulo, se forma el espacio perivitelinoy el blastodisco a las 0:00-1:30 horas después de la fecundación (hdf).
- Paso D<sup>2</sup> 2; En este paso inicia la formación de los primeros dos blastómerosy termina con el inicio de la gástrula 1:30- 24:30 hdf.
- Paso D<sup>3</sup> 3; Se forma la gástrula 24:30-42:40 hdf.

- Paso E<sup>1</sup> 4; Se forma el tubo neural. Posteriormente se forman la cabeza y el tronco 42:40-50:00 hdf.
- Paso E<sup>2</sup> 5; Comienza la formación de las cápsulas ópticas y óticas 50:00-66:35hdf.
- Paso E<sup>3</sup> 6; En este paso se observa la actividad cardíaca, el inicio de la circulación perivitelina y formación de los melanóforos 66:35-81:30 hdf.
- Paso E<sup>4</sup> 7; Comienza la síntesis de hemoglobina y aumenta la actividad cardíaca. También inicia la pigmentación de los ojos. 81:30-166:25 hdf.
- Paso E<sup>5</sup> 8; Se observa un incremento en el ritmo cardíaco y el embrión tiene movimientos corporales.
- Paso E<sup>6</sup> 9; Se incrementa el ligeramente el ritmo cardíaco, así como los movimientos del embrión hasta el momento de la eclosión 166:25-240:00.
- La eclosión sucede a las 240:00 hdf.

### *Fase de eleuteroembrión*

Todos los peces eclosionan como eleuteroembriones o embriones libres, sin importar el tipo de desarrollo, debido a que se alimentan del vitelo, por lo todavía tienen una nutrición endógena (Balon, 1985).

El eleuteroembrión presenta una aleta embrionaria, que rodea el tronco desde la región posterior de la cabeza hasta el pedúnculo caudal. En esta fase, el gasto energético se canaliza al desarrollo de órganos y sistemas (Hernández-Rubio *et al.*, 2006).

*C humboldtianum* presenta cinco grupos de melanóforos dendríticos de color negro, en la región dorsal de la cabeza y el tronco, en la región dorsal y ventral del saco vitelino y a lo largo de la base del pliegue de la aleta embrionaria. La vejiga gaseosa se llena a las 24 horas después de la eclosión (DDE), lo que les permite mantenerse en la columna de

agua (Hernández-Rubio, 2009).

Los eleuteroembriones presentan la boca abierta, pero el ano está cerrado. En el 3-4 DDE, comienza la alimentación mixta con digestión externa. En este momento termina la fase de eleuteroembrión y se transforman en larvas (apterolarva). (Hernández-Rubio *et al.*, 2006).

## **PERÍODO LARVARIO**

### *Fase de apterolarva*

En esta fase, aún se conserva parte del saco vitelino y la aleta embrionaria, que cumple la función de estabilizar el nado de los peces. La energía se dirige a continuar el desarrollo de órganos y sistemas (Figuroa *et al.*, 1999; Hernández-Rubio, 2009).

La alimentación es mixta (endógena y exógena) y el ano ya se ha abierto, por lo que pueden consumir zooplancton, principalmente rotíferos, como *Brachionus*, ya que presentan un tamaño adecuado para la boca de *C. humboldtianum*, y nutricionalmente son viables para su sobrevivencia y desarrollo (Figuroa *et al.*, 1999; Hernández-Rubio, 2009).

Al inicio de la alimentación mixta, es cuando el tracto digestivo es colonizado por bacterias y enzimas que les ayudarán a la asimilación de los elementos nutritivos contenidos en el alimento que ingieran, el potencial: prebiótico, probiótico, postbióticos, parabiótico y antibiótico depende del medio de cultivo en el que se encuentren los peces y del alimento que ingieran (Lauff y Hofer, 1984; Walford *et al.*, 1991; Pérez, 2020).

Es necesario que en esta fase consuman alimento exógeno, de lo contrario, se autodigieren. A este evento se le conoce como punto de no retorno, lo que ocasiona la muerte de los peces (Gilbert, 2000).

La flexión de la notocorda indica el final de esta fase (Hernández-Rubio, 2009).

### *Fase de pterolarva*

Esta fase inicia con la flexión de la notocorda y continúa con el desarrollo de las aletas, primero se forma la caudal, enseguida la segunda dorsal y la anal.

Posteriormente, se presentan las aletas pélvicas y finalmente la primera aleta dorsal. En esta fase ya ingieren zooplancton de mayor tamaño, lo que concuerda con las teorías de Balon (1985) en donde resalta las interacciones con el ambiente, en función de los cambios morfo-fisiológicos (Hernández-Rubio *et al.*, 2006).

Esta fase termina cuando la aleta embrionaria se ha reabsorbido completamente y se forman las primeras escamas en la región caudal y el esqueleto empieza a osificarse. Los peces alcanzan el fenotipo definitivo por lo que inicia el periodo juvenil (Hernández-Rubio, 2009).

### **Sistema biofloc**

En los cultivos acuícolas tradicionales, es necesario hacer recambios de agua para eliminar los desechos tóxicos derivados del metabolismo y de la descomposición de la materia orgánica de los propios peces, como son: el amonio/amoniaco, nitritos, nitratos, entre otros. Estos desechos se vierten directamente en los cuerpos de agua o a los suelos durante los recambios de agua, sobre todo en los sistemas de producción intensivos, generando una importante problemática ambiental (UN, 2024).

Los sistemas biofloc representan una alternativa sustentable, lo que ha dado lugar a que sean implementados con éxito, en algunos países asiáticos y americanos en los últimos años (Avnimelech, 2009; Emerciano *et al.*, 2012; Hargreaves, 2013).

Esta biotecnología consiste en propiciar la formación de “flóculos vivos” en suspensión, originando agregados heterogéneos de partículas suspendidas asociadas con polímeros extracelulares, originando una comunidad de microorganismos diversos que incluye bacterias, microalgas, hongos, invertebrados y detritus que en conjunto metabolizan los residuos tóxicos como los nitritos, nitratos y el amonio/amoniaco (Avnimelech, 2009; Emerciano *et al.*, 2012). Constituyen un alimento rico en proteínas como resultado de la conversión del alimento no consumido y de las excretas en una cadena natural derivada de la transformación y uso eficiente de la energía en diferentes niveles tróficos con

requerimientos mínimos como la luz solar y la aireación vigorosa para evitar la formación de organismos anaerobios tóxicos (Claude, 2018). En esa matriz cada floculo se mantiene unido por el mucus secretado por las bacterias y el cuerpo de organismos filamentosos o incluso por atracción electrostática, si bien algunos flóculos pueden ser observados a simple vista, la mayoría son microscópicos con diámetros de 50-200 micras, aunque se ha reportado que los flóculos pueden alcanzar un tamaño de hasta 1000  $\mu\text{m}$ , para aquellos de forma irregular, altamente porosos y permeables a los fluidos (Chu y Lee, 2004).

Esta tecnología se basa en las relaciones de oxido reducción del ciclo del Nitrógeno y de adición de sustratos ricos en Carbono (Melaza, harina de maíz, entre otros) como subsidios ecológicos, en una proporción de 20:1 C/N para lograr el establecimiento y permanencia de las bacterias heterotróficas aerobias (Avnimelech, 1999b; 2006; Claude, 2018).

Los sistemas biofloc representan una alternativa sustentable e innovadora, desarrollada para ahorrar grandes volúmenes de agua. Tienen un gran potencial probiótico, prebiótico y antibiótico, que permite el cultivo de peces, crustáceos o moluscos, que contribuyen, además de mantener una calidad de agua óptima, a proveer de una buena alimentación y salud a los animales cultivados (Si-Luo *et al.* 2015; Avnimelech, 2007).

Algunos reportes confirman la función inmuno-estimulante para los animales cultivados en los sistemas biofloc, estos beneficios suceden por la ingesta de los flóculos, ya que algunas bacterias ingresan vivas y activas al animal (Johnson *et al.*, 2008; Jang *et al.*, 2011).

Las ventajas de los sistemas biofloc son: recambio mínimo de agua, la metabolización del carbono disuelto y compuestos nitrogenados tóxicos (nitritos y amonio) como los nitratos y el amoniaco, a compuestos aprovechables por las bacterias heterotróficas aerobias (Claude, 2018).

Estos compuestos son absorbidos y metabolizados por el fitoplancton; que a su vez es

ingerido por el zooplancton, terminando por esta vía como alimento para los peces, crustáceos o moluscos, que son cultivados en estos sistemas y a su vez propician que aumente las tasas de crecimiento, permiten cultivar una mayor densidad de animales por unidad de volumen, se obtienen cosechas en menor tiempo y mejoran la salud de los animales debido al efecto prebiótico, probiótico, postbiótico, parabiótico, y antibiótico, que se encuentra en los flóculos (Pérez, 2020).

Con estas ventajas metabólicas se obtiene una disminución en los costos de alimentación debido a que la ingesta de flóculos por los animales reduce la cantidad de alimento balanceado que se tendría que suministrar en un sistema de cultivo (Johnson *et al.*, 2008; Avnimelech, 1999a; Emerciano *et al.*, 2012).

El sistema biofloc se ha aplicado con éxito en Israel, Corea del Sur, Indonesia, Malasia, Tailandia, China, Australia, Brasil, Ecuador, Perú, Colombia, EUA, México, Guatemala, Belice, entre otros. (Emerenciano *et al.*, 2012).

El establecimiento de un sistema biofloc, se alcanza a los 3 meses en promedio. Un indicador, es el color marrón característico que indica la presencia de bacterias heterótrofas (Quintero *et al.*, 2013). Una estrategia eficiente para generar un biofloc nuevo, es inocular el nuevo biofloc con sedimento y agua de un biofloc establecido, agregando 20 g de sedimento, 10 mg/L de sulfato de amonio y 200/L mg de fuentes de carbono (Quintero *et al.*, 2013; Claude, 2018).

### **Efectos prebióticos, probióticos, postbióticos, parabióticos y antibióticos en los sistemas biofloc**

Estos sistemas de cultivo acuícola están considerados como una estrategia para el control de enfermedades por su potencial probiótico (Emerciano, 2013). En un análisis sobre los compuestos bioactivos presentes comúnmente en los sistemas biofloc, se encontraron: carotenoides, clorofilas, fitoesteroles, bromofenoles, amino azúcares y compuestos antibacterianos (para las bacterias patógenas). Estas biomoléculas contribuyen a

estimular favorablemente el sistema inmunológico de los peces o crustáceos (Crab, 2010). El efecto modulador de los aditivos derivados de bacterias en la microbiota del intestino de los animales, los convierte en alternativas potenciales al uso tradicional de antibióticos en el control de enfermedades infecciosas (Xuan-Hui *et al.*, 2022).

- Prebióticos: oligosacáridos derivados de plantas, levaduras, microalgas o bacterias que funcionan como sustratos para el crecimiento de bacterias selectivas anaerobias en el intestino de los animales (Pérez, 2020).
- Probióticos: microorganismos vivos que generan beneficios a la salud, se alojan en el intestino de los animales: microalgas, levaduras, hongos o bacterias, algunas de ellas son las actinobacterias, bacteriodetes, firmicutes y las proteobacterias (Pérez, 2020).
- Parabióticos: también denominados probióticos fantasma, son bacterias inactivas, componentes estructurales celulares, fragmentos o secreciones de bacterias, que generan beneficios a la salud intestinal del animal (Pérez, 2020).
- Postbióticos: son productos bioquímicos derivados de los metabolitos secundarios liberados por las bacterias. Se ha comprobado que los postbióticos modulan la producción de citoquinas, que funcionan como mensajeros químicos implicados en la regulación, crecimiento, activación y diferenciación de las células del sistema inmune. Una forma de evaluar el efecto postbiótico es mediante la regulación de la respuesta inmune después de su aplicación (Pérez, 2020).

Efectos postbióticos:

1. Regulan la actividad moduladora en el intestino
2. Incrementan la resistencia a enfermedades
3. Fortalecen y activan el sistema inmunológico y antioxidante
4. Son promotores del crecimiento
5. Regulan la calidad del agua (Pérez, 2020)

Se recomienda suministrar la microbiota y sus componentes directamente en el agua o en el alimento, aunque el método más eficiente es aplicarlo directamente en el agua (Xuan-Hui *et al.*, 2022).

La capacidad postbiótica en los sistemas biofloc, que estimula el sistema inmune de los animales cultivados, se debe a diversos componentes bioquímicos (Pérez, 2020).

Se ha descubierto que una de las moléculas de mayor importancia es el polihidroxi butirato, metabolito empleado por algunas bacterias heterótrofas aerobias como una forma de almacenamiento de energía, esta sustancia se ha detectado en grandes cantidades durante los momentos de estrés celular o cuando sucede la muerte bacteriana en los sistemas biofloc (Jendrossek y Hardyck., 2002; Crab, 2010).

Así mismo, el acetato de polihidroxi, influye de manera importante en el control de la proliferación de algunos microorganismos patógenos y también es un probiótico importante (Irshad *et al.*, 2016).

Adicionalmente se han encontrado inmunosacáridos, que son alimentos no digeribles (prebióticos) que estimulan el crecimiento de determinadas bacterias benéficas, en el colon de los animales cultivados, y se relacionan con los carbohidratos añadidos para equilibrar la proporción C: N; 20:1 (Irshad *et al.*, 2016; Pérez, 2020).

Los carotenoides en los sistemas biofloc también estimulan el sistema inmunológico, por lo que son un elemento que enriquece integralmente la dieta de los animales cultivados (Irshad *et al.*, 2016; Crab., 2010; Jang, *et al.*, 2011). A estos compuestos se les atribuye una influencia muy importante en el crecimiento de peces y camarones, ya que también mejora la sobrevivencia, potencian el desarrollo y estimulan algunos mecanismos de defensa del sistema inmunológico, debido al aporte nutricional que los compuestos representan en la dieta de los organismos. Por lo que se considera a estos componentes como una alternativa sustentable en el manejo de sanidad acuícola (Panigrahi *et al.*,

2018).

Así mismo se ha encontrado que los microorganismos probióticos de los biofloc, como *Bacillus cereus* y *Bacillus lincheiformis*, mejoran la inmunidad de los peces y camarones cultivados (Hargreaves, 2013).

Para obtener un desarrollo óptimo de los animales y buena salud (sistema inmune funcional), los sistemas de cultivo de peces deben tener un suministro de alimento rico en proteínas de alta calidad, así como un aporte de elementos nutritivos adicionales, suficientes para prevenir enfermedades y disminuir la mortalidad (Tacon, 1989). De esta forma se previene la baja producción y se evita la adición de antibióticos sintéticos, lo cual aumentaría los costos de producción y disminuye la calidad del producto final (Hernández *et al.*, 2019).

### **Metabolismo de NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, C y O<sub>2</sub> en los sistemas biofloc**

Los sistemas biofloc disminuyen la acumulación de compuestos nitrogenados tóxicos para los animales cultivados, como son el amonio/amoniaco, los nitritos, y los nitratos (NH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>) (Claude, 2018). El nitrógeno es uno de los principales productos generados por el metabolismo animal (Claude, 2018).

Los peces, los crustáceos y los moluscos, excretan tres fuentes principales de compuestos nitrogenados: ácido úrico, amonio y amoniaco los cuales provienen de las heces (Ebeling, 2006).

Una parte de estos compuestos, son transformados a moléculas proteicas, por medio de procesos nitrificantes de bacterias aerobias heterótrofas de los cultivos biofloc. Por ejemplo, las bacterias heterótrofas fijan el carbono utilizándolo como fuente de energía y aprovechan el nitrógeno para la síntesis de proteínas para formar su membrana celular (Avnimelech, 1999b; 2006; Panigrahi *et al.*, 2018; Claude, 2018).

Los compuestos amoniacales se encuentran en su forma ionizada a pH ácidos, que es menos tóxica (NH<sub>4</sub>), en cambio con valores superiores a 9, el amonio se encuentra en su

forma no ionizada ( $\text{NH}_3$ ) la cual es muy tóxica debido a que disminuye la absorción del oxígeno en las branquias y aumenta la susceptibilidad a enfermedades y la mortalidad de los peces ya que modifica la oxihemoglobina en metahemoglobina, esta es más afín al nitrógeno produciendo un “autoenvenenamiento” (Avnimelech, 2006; 2009). La concentración letal de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) reportada para los peces varía de 0.2 a 2.0 mg/L dependiendo de la edad y del tamaño de los peces (Wajsbrodt *et al.*, 1993; Avnimelech, 1999b; Claude, 2018).

El metabolismo de compuestos inorgánicos como los sulfatos, fosfatos y nitratos ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{NO}_3$ ), son aprovechados por el fitoplancton para la síntesis de aminoácidos, proteínas y otras biomoléculas que se transforman en biomasa (Avnimelech, 2006; 2009; Hargreaves, 2006; Panigrahi *et al.*, 2018; Claude, 2018).

Los valores del pH son otro aspecto importante dentro de la dinámica química de los sistemas biofloc. Para que se lleve a cabo el fenómeno de la floculación, es necesario mantener el pH en 7-9. Esto permite la formación de los flóculos, los cuales a su vez requieren de sustancias poliméricas para formar una matriz que encapsula a los microorganismos (bacterias, hongos, fitoplancton y zooplancton), que funciona como núcleo de adhesión, centro de cohesión, sustrato alimenticio y de fijación (Azim y Little, 2008; Ray *et al.*, 2010; Collazos y Arias, 2015).

En los sistemas biofloc es de suma importancia mantener la saturación de oxígeno entre 5-12 mg/l, debido a la gran carga de materia orgánica que se encuentra en el sistema, ya que eleva la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Esto permite mantener activa a la comunidad bacteriana aerobia heterotrófica, además, la saturación de oxígeno ayuda a mantener una buena calidad de agua, debido a que evita la proliferación de bacterias anaerobias patógenas (Avnimelech, 1999a).

Existen otras fuentes de carbono y nitrógeno, como los alimentos balanceados, que contienen una proporción de carbono/nitrógeno (C/N) de 7/1. Las heces de los peces

contienen una proporción de 10/1, mientras que en el plancton muerto la proporción es de 6/1. Una cantidad de 1.4 mg/l de nitrógeno amoniacal producirá 14 mg/L de biomasa bacteriana, esta biomasa contiene 7 mg/L de carbono (Claude, 2018).

### **Valores nutricionales de los sistemas biofloc**

Los sistemas biofloc inicialmente son dominados por el fitoplancton, por lo que el contenido de proteína es bajo, mientras que los lípidos son más abundantes. Posteriormente alcanzan un grado de “madurez” en el que las comunidades bacterianas heterotróficas dominan el medio de cultivo, por lo que la proteína microbiana aumenta las concentraciones de proteínas en los flóculos y disminuye las concentraciones de lípidos (Azim y Little, 2008; Quintero *et al.* 2013; Claude, 2018), por lo tanto, la calidad nutricional varía según el grado de “madurez” que se presente en el momento en el que se introduzcan los animales a cultivar.

Los sistemas biofloc representan una fuente proteica importante por aminoácidos como lisina, valina, treonina, leucina, fenilalanina, histidina, entre otros (Hernández *et al.*, 2019). El aporte de lípidos es muy significativo, debido a que se encuentran ácidos grasos saturados (ácido araquidónico, ácido palmítico, y ácido esteárico), ácidos grasos volátiles (ácido acético, ácido butírico, ácido propiónico, ácido isobutírico, ácido valérico y ácido isovalérico). También aporta vitaminas y minerales, especialmente fósforo que es utilizado para la síntesis de membranas y biomoléculas. Los flóculos tienen una aceptable palatabilidad para la mayoría de las especies de peces y crustáceos cultivados. Los bioflóculos son de alta asimilación, fáciles de ingerir y digerir (Azim y Little, 2008; Hargreaves, 2013; Hernández *et al.*, 2019).

Tabla 1.- Valores nutricionales de algunos sistemas biofloc (Hernández *et al.*, 2019).

<b>Autor</b>	<b>Proteínas (%)</b>	<b>Lípidos (%)</b>	<b>Fibra (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Energía (Kcal)</b>
<b>Azim y Little, 2008</b>	<b>38</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>19</b>
<b>Hargreaves, 2013</b>	<b>30-45</b>	<b>1-5</b>			
<b>Tacon et al., 2002</b>	<b>31.2</b>	<b>2.6</b>		<b>28.2</b>	
<b>Macintosh et al. 2001</b>	<b>43</b>	<b>12.5</b>		<b>26.9</b>	

### La comunidad ecológica en los sistemas biofloc

Desde un punto de vista ecológico, en un sistema biofloc las interacciones entre las especies y las condiciones generan flujos de materia y energía variables que se transfieren por una red trófica (Clements, 1916; Walker, 2005). Esta dinámica genera cambios en la estructura de la comunidad y en las abundancias de las especies a lo largo del tiempo (Walker, 2005), hasta llegar a un estado clímax (Chang y Turner, 2019).

En general, en los sistemas biofloc, se han identificado bacterias como *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus sp.*, *Klebsiella sp.*, *Micrococcus sp.* (Ayazo-Genes *et al.*, 2019). En cuanto al fitoplancton se han reportado *Scenedesmus acuminata*, *Scenedesmus acuatus*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia linearis*, *Navículasp.* También algunos protozoarios como; *Actinetas sp.*, *Suctoría sp.*, *Euplotes sp.*, *Paramecium caudata*, *Vorticella convalaria*, así como otro tipo de zooplancton como los: rotíferos, anélidos, ciliados entre otros (Hernández *et al.*, 2019; Ayazo-Genes *et al.*, 2019).

## **Antecedentes en cultivos de peces y crustáceos en sistemas biofloc**

El sistema biofloc para producción de juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) es rentable ya que esta biotecnología permitió tener cosechas en menor tiempo y en mayores densidades, obteniendo un producto final de alta calidad. (Emerciano *et al.*, 2013).

Se cultivaron juveniles de *Chirostoma Jordani* (Wollman, 1894) en un sistema biofloc para evaluar su efecto en crecimiento. Los resultados confirmaron que los sistemas biofloc son una alternativa sustentable para el desarrollo de los peces, en comparación con los sistemas de agua clara (Castro-Mejía *et al.*, 2016).

Se ha comprobado que el efecto de los probióticos en los sistemas biofloc mejoran la actividad enzimática, ya que aumentan la digestibilidad del alimento balanceado y favorecen el crecimiento de juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Muñoz, 2018).

## PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

---

1. ¿Las poblaciones de microorganismos que componen la comunidad biofloc mejorarán el crecimiento y la sobrevivencia durante el desarrollo temprano de *C. humboldtianum*?
2. ¿Cuál es el sistema de cultivo más eficiente para mantener una buena calidad del agua?
3. ¿Cuál es la contribución nutricional del biofloc?

## HIPÓTESIS

---

Si el sistema biofloc tiene una buena calidad del agua y contribuye a la nutrición y salud de *Chirostoma humboldtianum*, durante el desarrollo temprano, mejorará el desarrollo y la sobrevivencia de esta especie.

# OBJETIVOS

---

## Objetivo general

Evaluar la eficiencia de un sistema biofloc y un sistema de agua clara, sobre el desarrollo temprano de *C. humboldtianum*.

## Objetivo específico

1. Comparar el efecto de un sistema biofloc y un sistema de agua clara sobre la sobrevivencia y el desarrollo de *C. humboldtianum*, desde la eclosión hasta la transformación a juvenil.
2. Comparar la calidad del agua y la contribución nutricional de cada sistema

# MATERIAL Y MÉTODOS

---

## **Mantenimiento de los reproductores**

Se emplearon reproductores de 2 años, certificados genética y morfológicamente, en proporción de 3:1, originarios de la presa Las Tazas, Tiacaque, Edo. Mex. Se mantuvieron a  $18^{\circ}\text{C} \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ , 0 g/L NaCl, con un fotoperiodo de 12:12 h.

La dieta de los reproductores consistió en alimento balanceado (Nutripec Purina), con 44 % de proteína y 18 % de lípidos, así como de juveniles de *Heterandria sp.* y *Pecilia reticulata*.

Los estanques contaron con sistemas de recirculación de agua, para mantener una aireación suficiente. Se realizaron recambios del 50% del agua semanalmente para mantener una calidad de agua adecuada.

## **Preparación del biofloc**

Se utilizaron 10 mg/L  $\text{NH}_4\text{Cl}$  para fertilizar el sistema y se inoculó con 20 g de flóculos de un biofloc establecido, se agregaron 200 mg/L de alimento balanceado en polvo (fuente de carbono) (Quintero *et al.*, 2013) y 5 g/L NaCl.

## **Parámetros fisicoquímicos (ACC y TBF)**

Se midieron: nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) en ambos sistemas de cultivo (ACC y TBF), cada tercer día con un espectrofotómetro (Hatch DR 2000).

Para medir las concentraciones (nm) de los nutrientes, se filtró el agua de los biofloc con una bomba de vacío, un frasco milipore y filtros Whatman de fibra de vidrio. El carbono orgánico total (COT) se midió con un equipo Shimadzu TOC 5000-A.

La temperatura se mantuvo constante a  $20^{\circ}\text{C}$ , con un calentador que, junto con el oxígeno, se midieron con un sensor YSI pro-20 (MR). El pH se midió con un potenciómetro pH pen azoo

(MR) y la salinidad con un refractómetro portátil Bellingham + Stanley Eclipse (MR).

La cantidad de clorofila (a) en los sistemas biofloc se midió a 640 nm con un equipo Hatch DR2000.

### **Estructura de la comunidad planctónica en el sistema biofloc (TBF)**

Las comunidades planctónicas se analizaron cada tres días. Se tomaron alícuotas del medio en suspensión, y se fijaron con formol al 10%.

Se tomaron fotografías de los organismos que conformaron la comunidad planctónica (Fitoplancton y zooplancton) con ayuda de un estereomicroscopio (Wild (®)), y un microscopio (Olympus (®)), para la identificación de las especies.

Se elaboraron curvas tipo del fitoplancton; para ello, se tomaron alícuotas del fitoplancton y se contaron las células en cámaras Neubauer y se midieron sus absorbancias (640 nm) para relacionarlas con el número de células, cada 3 días. Por otra parte, se contaron los organismos del zooplancton, en cajas de Petri, divididas en cuadros de 1 cm<sup>2</sup> con ayuda de microscopio estereoscópico Wild (®).

### **Diseño experimental**

#### **Obtención de los huevos**

Los huevos se obtuvieron por desoves espontáneos, con colectores instalados en los estanques de los reproductores.

#### **Período larvario en los sistemas de agua clara control (ACC) y el sistema biofloc (TBF).**

Se emplearon eleuteroembriones recién eclosionados en ambos tratamientos, cada uno tuvo cinco réplicas (n= 25 individuos por réplica).

Se empleó una canaleta de 60 L, para cada tratamiento. Se desinfectaron con 10 ml/L NaClO.

Se eliminó el agua clorada y se llenaron con agua dura (160-180 mg/L de CaCO<sub>3</sub>) con 5 g/L NaCl.

Se colocaron cinco cilindros de PVC hidráulico, en cada canaleta, como unidades experimentales (réplicas), con una capacidad de 2 L, con cuatro ventanas cubiertas con malla de 0.7 mm de luz, que permitieron el paso de los bioflóculos, pero no permitieron la salida de los peces.

Tratamiento de agua clara (ACC): los peces se mantuvieron a 20 °C, agua clara con dureza de 160-180 mg/L y 5 g/L de NaCl. Se hicieron recambios del 50 % cada segundo día.

Tratamiento con biofloc (TBF): los peces se mantuvieron en el biofloc, en las mismas condiciones que en agua clara: 20 °C, agua de biofloc con dureza de 160-180 mg/L, 5 g/L de NaCl.

Se contaron los peces en las 5 réplicas de ambos tratamientos, todos los días, para evaluar la sobrevivencia.

Se tomaron fotografías de cada paso del desarrollo los días: 0, 3, 5, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42 y 47, para registrar los cambios morfológicos.

Se añadió una unidad experimental en cada tratamiento, (n = 280), para evaluar el desarrollo. En ambos tratamientos (ACC y TBF), se anestesiaron 5 individuos cada día, con benzocaína (25 mg/L), y posteriormente se fijaron con formol al 10%, se utilizó una reglilla micrométrica Olympus para determinar el crecimiento absoluto.

### **Alimentación de las larvas en los sistemas ACC Y TBF**

En el tratamiento ACC, las apterolarvas se alimentaron con rotíferos (*Brachionus rotundiformis*, 30 individuos/ml); al inicio de la alimentación mixta. Posteriormente, se suministraron nauplios de *Artemia franciscana*., (25 individuos/ml), además de los rotíferos,

una vez que el tamaño de la boca fue el adecuado (mayor a 0.5 mm).

En la fase de pterolarva se continuaron suministrando rotíferos y nauplios de *Artemia franciscana*.

En el TBF, los peces consumieron los flóculos y el alimento balanceado en polvo (0.25g/día). cuando los peces alcanzaron la fase de pterolarva cada 3er día se añadieron nauplios de *Artemia franciscana* en (5 individuos/ml), para enriquecer la dieta.

Cada semana se retiraron 200ml de sedimento para hacer los análisis bromatológicos y las mediciones de carbono orgánico total.

### **Análisis de resultados**

Se evaluó, en ambos tratamientos (ACC y TBF), El crecimiento absoluto (longitud notocordal (LN/ mm)). Se midió desde la punta de la boca hasta el pedúnculo caudal. El tamaño de la boca se calculó por el método de Shirota, (1970), Boca =  $AB\sqrt{2}$ , donde AB es la longitud de la maxila superior.

La mediciones se realizaron con una reglilla micrométrica (Olympus, MR) y un microscopio estereoscópico (Wild, MR).

Se aplicaron regresiones lineales en cada fase del desarrollo, para estimar las tasas de crecimiento (mm).

Se aplicó una prueba t de student para comparar el crecimiento final de las larvas en cada tratamiento (ACC y TBF).

La sobrevivencia se determinó cada tercer día.

En el sistema TBF se identificaron las especies que se establecieron, por medio de claves taxonómicas. Se determinó la diversidad y la equidad finales de las comunidades fitoplanctónica y zooplanctónica, con los índices de Simpson.

Se realizaron análisis bromatológicos en el sistema TBF para cuantificar el contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos y posteriormente se hicieron las equivalencias a Kcal.

Para determinar en el sistema de agua clara el contenido nutricional, se utilizó información bibliográfica.

Tabla 2. Lista de acrónimos usados en la tesis.

<b>Lista de acrónimos</b>	
Agua Clara Control	ACC
Carbono Orgánico Total	COT
Relación Carbono/Nitrógeno	C/N
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO
Días Después de la Eclosión	DDE
Eleuteroembrión	EL
Longitud Notocordal	LN
Saco Vitelino	SV
Tratamiento Biofloc	TBF

## RESULTADOS

---

### Condiciones fisicoquímicas, biológicas y ecológicas en los sistemas de cultivo ACC y TBF durante el desarrollo temprano de *C. humboldtianum*

La concentración de nitritos ( $\text{NO}_2$ ) fue mayor en ACC ( $0.02 \text{ mg/L} \pm 0.02 \text{ mg/L}$ ), que en TBF, donde se mantuvo en  $0.01 \text{ mg/L} \pm 0.00 \text{ mg/L}$ . Por el contrario, los demás compuestos tuvieron concentraciones menores en el tratamiento ACC.

Los nitratos ( $\text{NO}_3$ ) tuvieron una concentración de  $1.07 \text{ mg/L} \pm 0.23 \text{ mg/L}$ , mientras que en el tratamiento TBF fue de  $2.62 \text{ mg/L} \pm 0.60 \text{ mg/L}$ .

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), presentó en el sistema ACC, una concentración de  $0.01 \text{ mg/L} \pm 0.01 \text{ mg/L}$  y en TBF la concentración fue de  $0.04 \text{ mg/L} \pm 0.01 \text{ mg/L}$ .

Los fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) tuvieron una variación semejante ya que en el tratamiento ACC, tuvieron una concentración de  $0.21 \text{ mg/L} \pm 0.07 \text{ mg/L}$  y en TBF, la concentración promedio se mantuvo en  $1.26 \text{ mg/L} \pm 0.39 \text{ mg/L}$ .

Los sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) en el tratamiento ACC, presentaron una concentración de  $2.64 \text{ mg/L} \pm 1.36 \text{ mg/L}$ , mientras que en TBF la concentración fue de  $16.09 \text{ mg/L} \pm 7.09 \text{ mg/L}$ .

El oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ) en ambos tratamientos se mantuvo en condiciones de saturación con  $5.11 \text{ mg/L} \pm 0.01 \text{ mg/L}$  en el tratamiento ACC. En el cultivo TBF la concentración promedio fue de  $5.71 \text{ mg/L} \pm 0.26 \text{ mg/L}$ .

Los valores de pH se mantuvieron estables; en el sistema ACC la concentración promedio fue de  $8.62, \pm 0.16$ , mientras que en TBF la concentración promedio fue de  $8.84 \pm 0.14$  (Tabla 1).

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos en agua clara control(ACC) y biofloc (TBF).

PARÁMETRO	ACC	BFT	CONCENTRACIONES LETALES
<b>NO<sub>2</sub></b> (mg/L)	<b>0.01</b> ±0.00	<b>0.02</b> ±0.02	<b>0.2 ---1 mg/L</b> Mayes, <i>et al.</i> ,1987; Si-Luo <i>et al.</i> , 2015; Kruopova <i>et al.</i> , 2005.
<b>NO<sub>3</sub></b> (mg/L)	<b>1.07</b> ± 0.23	<b>2.62</b> ± 60	<b>19 ---50 mg/L</b> Mayes, <i>et al.</i> ,1987; Si-Luo <i>et al.</i> , 2015; Kruopova <i>et al.</i> , 2005.
<b>NH<sub>3</sub></b> (mg/L)	<b>0.01</b> ± 0.01	<b>0.04</b> ± 0.01	<b>&lt;2 mg/L</b> Mayes, <i>et al.</i> ,1987; Si-Luo <i>et al.</i> , 2015; Kruopova <i>et al.</i> , 2005.
<b>PO<sub>4</sub></b> (mg/L)	<b>0.21</b> ± 0.07	<b>1.26</b> ± 0.39	
<b>SO<sub>4</sub></b> (mg/L)	<b>2.64</b> ± 1.36	<b>16.09</b> ± 7.09	
<b>O<sub>2</sub></b> (mg/L)	<b>5.11</b> ± 0.10	<b>5.71</b> ± 0.26	<b>&lt;5 mg/L</b> Figuerola <i>et al.</i> , 1999; Hernández- Rubio <i>et al.</i> , 2006; Hernández-Rubio, 2009.
<b>pH</b>	<b>8.62</b> <b>±0.16</b>	<b>8.84</b> <b>± 0.14</b>	
<b>°C</b>	<b>20.22</b> ± 0.16	<b>20.14</b> ± 0.22	<b>&gt;18°</b> <b>&lt;25°C</b> Figuerola <i>et al.</i> , 1999; Hernández- Rubio <i>et al.</i> , 2006; Hernández-Rubio, 2009

## Concentraciones de los nutrientes en el sistema TBF

Al inicio se registró una concentración de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) de 30 mg/L, que disminuyó hasta alcanzar un valor mínimo de 9 mg/L en el día 47 (Fig. 1).

Las concentraciones de los fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) en el día cero fueron de 2.21 mg/L, se observó una disminución hasta llegar a un mínimo de 0.77mg/L en el día 47 (Fig. 1).

Los nitratos ( $\text{NO}_3$ ) tuvieron una concentración inicial de 1.41 mg/L y se fueron incrementando hasta alcanzar un máximo de 3.4 mg/L en el día 47 (FIG. 1)

La absorbancia del fitoplancton en el día cero fue de 0.031nm (135, 810 células/ml). Se incrementó hasta alcanzar un máximo de 0.329nm (1,441, 333 células/ml) (Fig. 1).

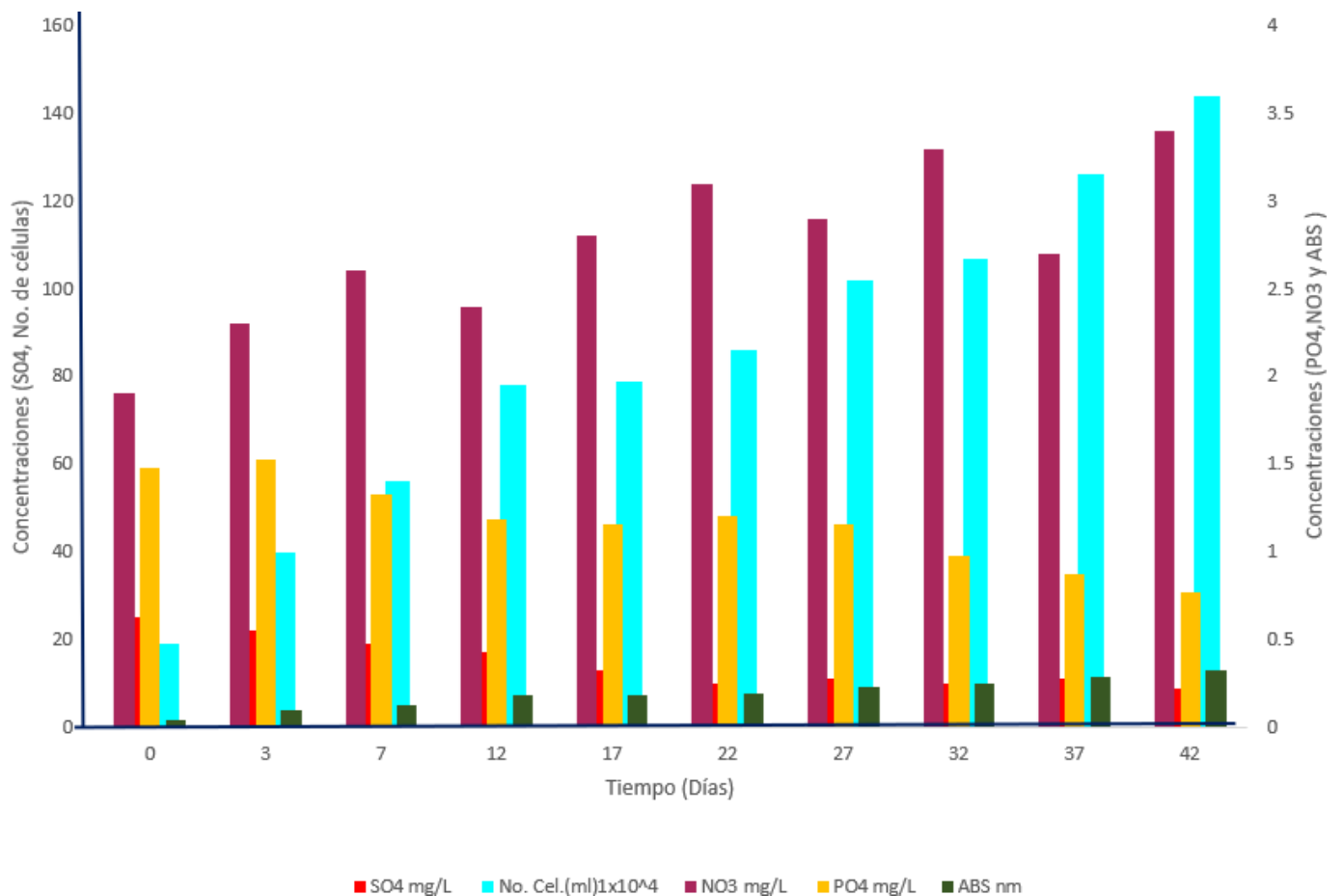


Figura 1. Concentración de nutrientes ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$ ), absorbancias y número de células del fitoplancton ( $1 \times 10^4$ ), en el tratamiento TBF durante 47 días.

En el día cero se registraron 35 especies: 17 de fitoplancton y 18 de zooplancton. El número de especies se incrementó, hasta llegar a un máximo de 48 especies en el día 37 (22 de fitoplancton y 26 de zooplancton), a partir de ese momento se mantuvo estable hasta el fin del experimento (Fig. 2).

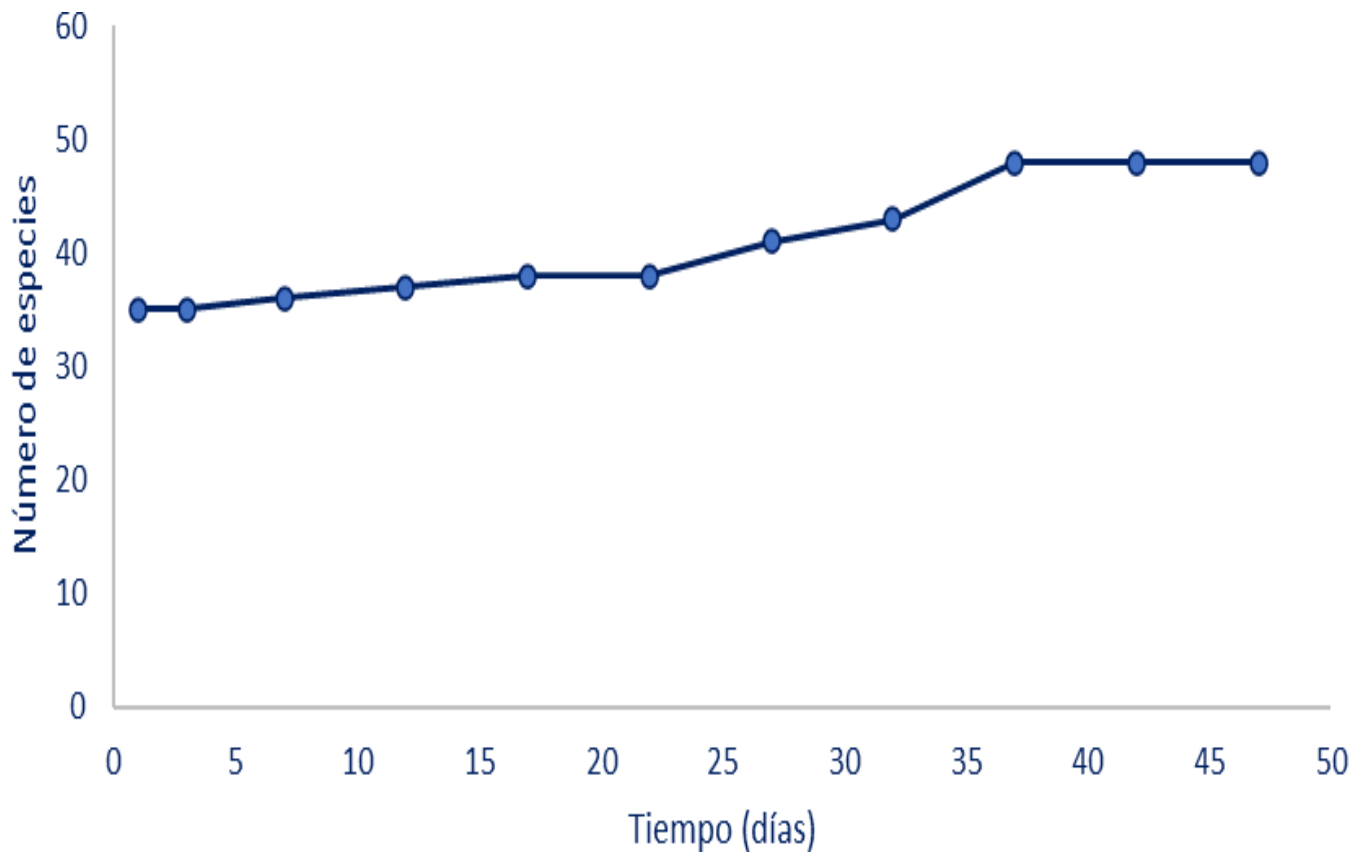


Figura 2. Número de especies en el sistema TBF del día 0 al 47.

Las diatomeas fueron el grupo que tuvo el mayor número de especies con 12 taxa, después los ciliados con 8 especies, los rotíferos con 6, las amibas y las clorofitas con 5, los anélidos con 3 especies, las cianofitas, zignematales y copépodos tuvieron 2 especies cada grupo y por último las heterocontofitas, anfípodos y ostrácodos de los que se identificó una especie de cada uno (Fig. 3).

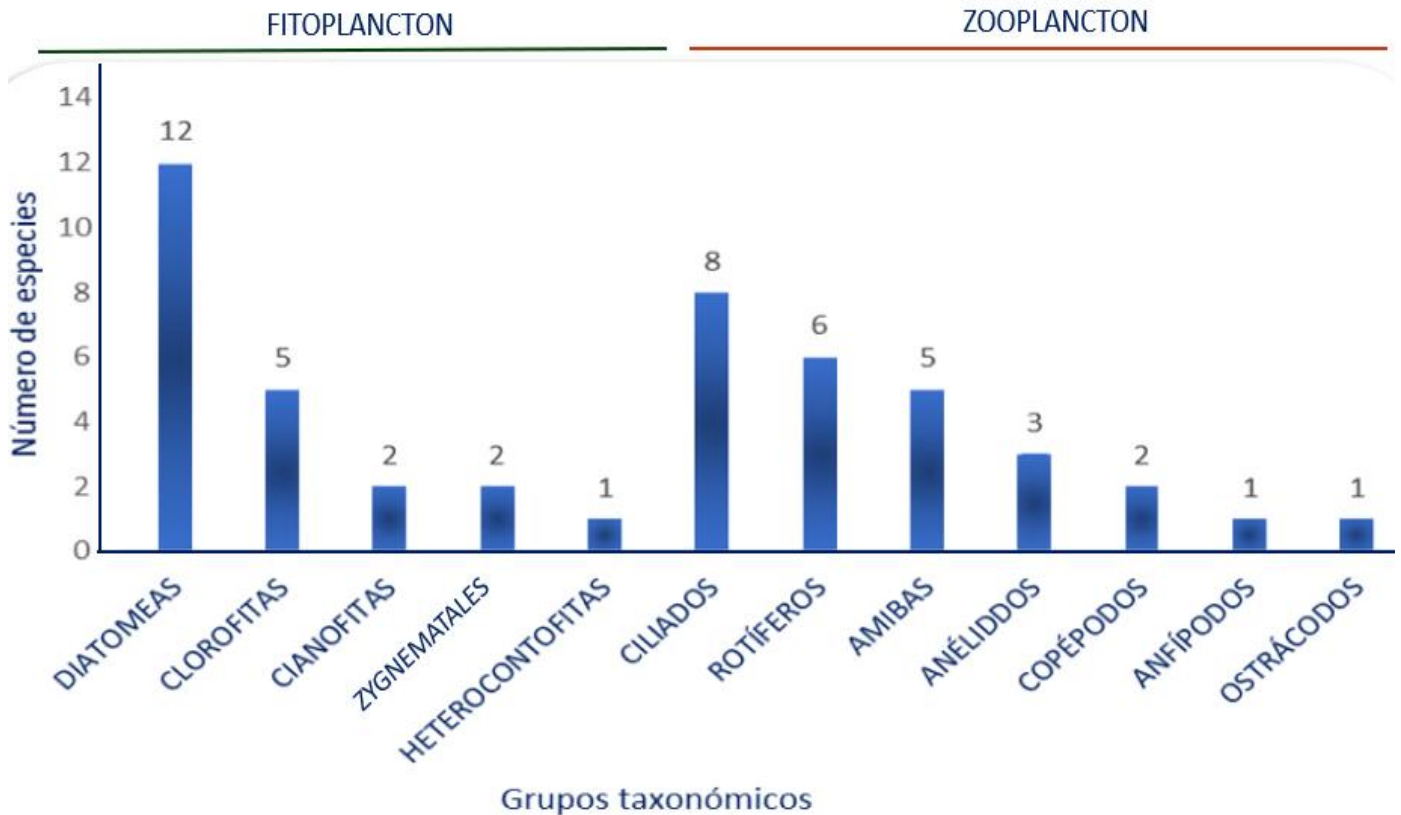


Figura 3. Número de especies de cada grupo taxonómico.

### Fitoplancton

*Chlorella sp.* fue la especie más abundante durante todo el tiempo del experimento, con un promedio de 607,979 células/ml. Debido a su gran abundancia no se incluyó en la figura 4.

La siguiente especie más abundante fue *Oocystis sp.*, con un promedio de  $7,158 \pm 405$  células/ml, se mantuvo constante.

La tercera especie más abundante fue *Nitzschia palea* con  $1,933 \pm 674$  células/ml también se mantuvo con poca variación en sus abundancias. *Nannochloropsis sp.* fue la cuarta especie más abundante con  $968 \pm 232$  células/ml. Estas especies se mantuvieron durante todo el experimento.

Las especies que tuvieron las menores abundancias fueron: *Closterium acutum* con un

promedio de  $352 \pm 115$  células/ml y presente sólo durante dos tercios del periodo, *Ankistrodesmus acicularis* con un promedio de  $209 \pm 31$  células/ml, estuvo presente los 47 días y con poca variación en sus abundancias, *Surirella sp.* con un promedio de  $80 \pm 46$  células/ml y estuvo presente solo durante un tercio de los 47 días, *Diatoma sp.* tuvo una abundancia de  $74 \pm 43$  células/ml y estuvo presente durante un tercio de los 47 días, *Scenedesmus quadricauda* sólo se encontró durante el primer tercio y presentó una abundancia de  $8 \pm 11$  células/ml y por último, la menos abundante fue *Hydrodictyon reticulatum* que se registró en un tercio de los 47 días con una abundancia promedio de  $1 \pm 2$  células/ml. Las demás especies tuvieron abundancias entre 800-300 células/ml (Fig. 4) (Tabla 3).

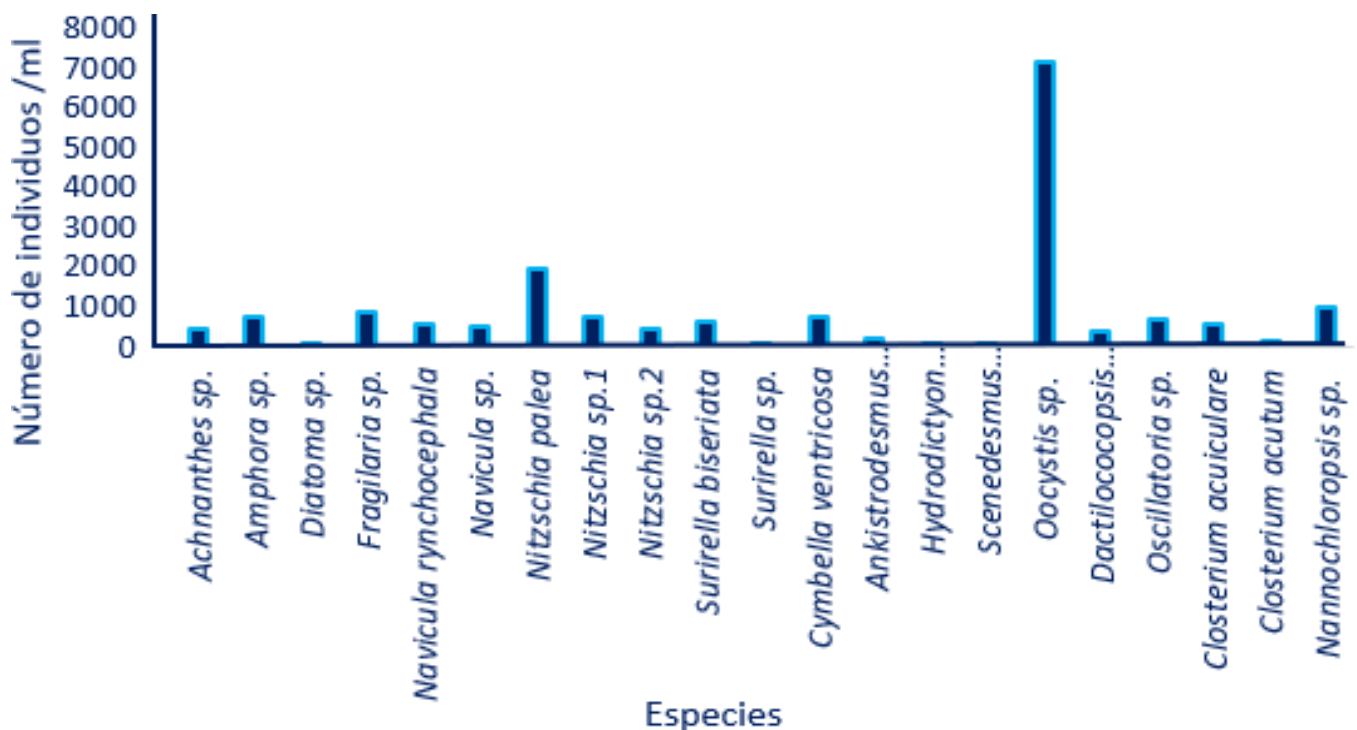


Figura 4. Promedio de las abundancias del fitoplancton en el tratamiento TBF.

## Zooplankton

Las especies con mayores abundancias fueron: *Tetrahymena pyriformis* con  $36 \pm 4$  individuos/ml, seguida por *Paramecium bursaria* con  $32 \pm 5$  individuos/ml, *Vorticella sp.* con  $31 \pm 37$  individuos/ml; las demás especies de ciliados tuvieron abundancias entre 7-27 individuos/ml. (Tabla 3).

La cuarta especie con mayor promedio de abundancia fue *Uronema sp.* con  $27 \pm 7$  individuos/ml, y se mantuvo presente durante los 47 días.

*Mastigodiatomus sp.*, sólo tuvo 1 individuo/ml. Se observó en dos tercios de los 47 días. Las demás especies de zooplankton tuvieron abundancias promedio de 7-19 individuos/ml (Fig. 5 y Tabla 3).

Los rotíferos tuvieron abundancias más homogéneas, entre 11-13 individuos/ml, la mayor abundancia la presentó *Rotaria sp.* con  $22 \pm 4$  individuos/ml, la menor abundancia fue la de *Testudinella patina* con un promedio de  $5 \pm 2$  individuos/ml.

En el grupo de las amibas, las abundancias promedio oscilaron entre 7-14 individuos/ml. *Metachaos sp.* fue la especie más abundante con  $14 \pm 6$  individuos/ml *Arcella sp.* fue la segunda más abundante con  $10 \pm 11$  individuos/ml. Solamente *Vahlkampfia sp.* tuvo una abundancia promedio de  $2 \pm 2$  individuos/ml (tabla 3).

En el grupo de los anélidos *Monhystera sp.* fue la especie más abundante con  $7 \pm 2$  individuos/ml.

En el grupo de los copépodos *Cyclops strenuus* presentó una abundancia promedio de  $2 \pm 1$  individuos/ml y *Mastigodiatomus sp.* con  $1 \pm 1$  individuos/ml (Tabla 3).

El grupo de los anfípodos solamente estuvo representado por una especie, *Hyalella azteca* con  $2 \pm 1$  individuos/ml.

En el grupo de los ostrácodos únicamente se identificó a una especie, *Cypricercus affinis* con 2

± 1 individuos/ml.

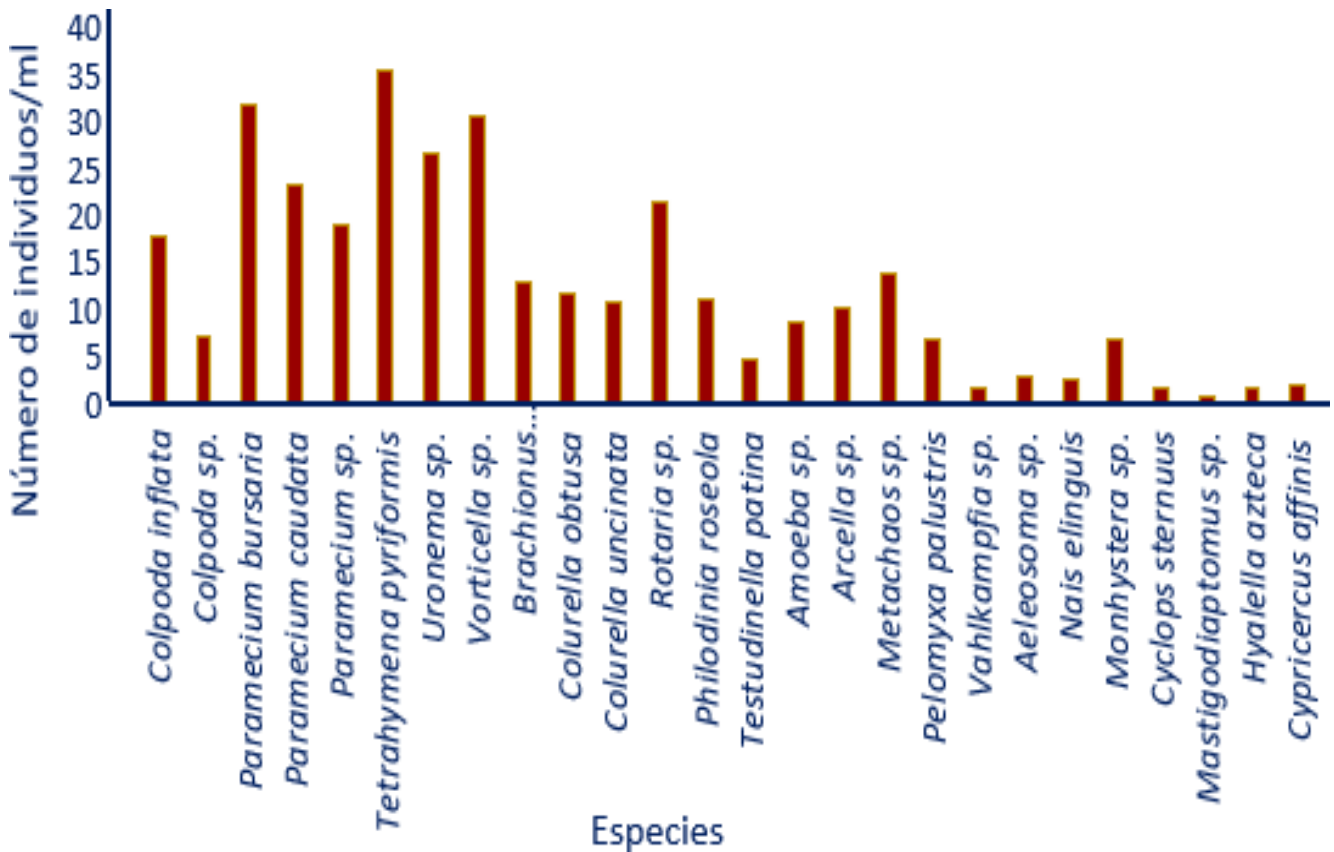


Figura 5. Abundancias de las especies del zooplancton en el TBF

## Diversidad

### Fitoplancton

Esta comunidad presentó una diversidad muy baja ( $D = 0.06$ ) y, por lo tanto, una equidad baja ( $E = 0.05$ ), debido a una alta dominancia de *Chlorella sp.*, *Oocystis sp.* y *Nitzschia palea* (Tabla 2).

### Zooplancton

Por el contrario, la diversidad fue alta en esta comunidad ( $D = 0.94$ ), sin embargo, alcanzó una equidad media (0.61), en virtud de la abundancia relativamente alta de algunas especies.

Tabla 4. Diversidad (D) y equidad (E) del fitoplancton y zooplancton en el TBF.

	<b>FITOPLANCTON</b>	<b>ZOOPLANCTON</b>
TAXAS	<b>22</b>	<b>26</b>
INDIVIDUOS	<b>625,666</b>	<b>494</b>
D	<b>0.06</b>	<b>0.94</b>
E	<b>0.05</b>	<b>0.61</b>

Tabla 5. Especies registradas en el sistema TBF.

<b>GRUPO</b>	<b>ESPECIES</b>	<b>PROMEDIO/ml</b>
	<i>Achnanthes sp.</i>	410 ± 426
	<i>Amphora sp.</i>	758 ± 176
	<i>Diatoma sp.</i>	25 ± 42
	<i>Fragilaria sp.</i>	868 ± 155
<b>DIATOMEAS</b>	<i>Navicula rynchocephala</i> (Ehrenb. 1844)	561 ± 280
	<i>Navicula sp.</i>	471 ± 117
	<i>Nitzschia palea</i> (Kütz., 1856)	1,933 ± 674
	<i>Nitzschia sp.1</i>	727.33 ± 164
	<i>Nitzschia sp.2</i>	430 ± 197
	<i>Surirella biseriata</i> (Schulz, 1926)	636.67 ± 174
	<i>Surirella sp.</i>	26.67 ± 46

	<i>Cymbella ventricosa</i> (Agardh, 1830)	728 ± 481
<b>CLOROFITAS</b>	<i>Ankistrodesmus acicularis</i>	209 ± 31
	<i>Chlorella sp.</i>	607,979 ± 546,087
	<i>Hydrodictyon reticulatum</i> (Roth, 1797)	1 ± 2
	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Meyen, 1829)	8.33 ± 10
	<i>Oocystis sp.</i>	7,158 ± 405
<b>CIANOFITAS</b>	<i>Dactilocopsis acicularis</i> (Lemmermann 1900)	374 ± 101
	<i>Oscillatoria sp.</i>	696 ± 86
<b>ZIGNEMATALES</b>	<i>Closterium aciculare</i> (West, 1904)	583 ± 337
	<i>Closterium acutum</i> (Brébisson, 1848)	117 ± 114
<b>HETEROCONTOFITAS</b>	<i>Nannochloropsis sp.</i>	968 ± 232
	<i>Colpoda inflata</i> (Stokes, 1884)	18 ± 16
	<i>Colpoda sp.</i>	7 ± 13
	<i>Paramecium bursaria</i> (Ehr., 1831)	32 ± 5
<b>CILIADOS</b>	<i>Paramecium caudatum</i> (Ehrenberg, 1833)	23 ± 6
	<i>Paramecium sp.</i>	19 ± 17
	<i>Tetrahymena pyriformis</i> (Ehrenberg, 1830)	36 ± 4
	<i>Uronema sp.</i>	27 ± 7
	<i>Vorticella sp.</i>	31 ± 37

	<i>Brachionus rotundiformis</i> (Tschungunoff, 1921)	13 ± 3
	<i>Colurella obtusa</i> (Gosse, 1886)	12 ± 4
<b>ROTÍFEROS</b>	<i>Colurella uncinata</i> (Müller, 1773)	11 ± 3
	<i>Rotaria sp.</i>	22 ± 4
	<i>Philodinia roseola</i> (Ehrenberg, 1832)	11 ± 3
	<i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)	5 ± 2
	<i>Amoeba sp.</i>	9 ± 6
	<i>Arcella sp.</i>	10 ± 11
<b>AMIBAS</b>	<i>Metachaos sp.</i>	14 ± 6
	<i>Pelomyxa palustris</i> (Greef, 1874)	7 ± 4
	<i>Vahlkampfia sp.</i>	2 ± 2
	<i>Aeleosoma sp.</i>	3 ± 3
<b>ANÉLIDOS</b>	<i>Nais elinguis</i> (Müller, 1774)	3 ± 3
	<i>Monhystera sp.</i>	7 ± 2
<b>COPÉPODOS</b>	<i>Cyclops sternuus</i> (Fischer, 1851)	2 ± 1
	<i>Mastigodiatomus sp.</i>	1 ± 1
<b>ANFÍPODOS</b>	<i>Hyalella azteca</i> (Saussure, 1858)	2 ± 1
<b>OSTRÁCODOS</b>	<i>Cypricercus affinis</i> (Fischer, 1851)	2 ± 1

## **Análisis bromatológico del sedimento del sistema TBF**

En cada unidad experimental se generó  $1.3 \pm 0.41$  g de materia (bioflóculos en peso seco) por semana, cuyo contenido nutricional fue: 9% de proteínas, 35% de lípidos y 27% de carbohidratos.

A partir de la cantidad de 1.3 g (bioflóculos), la proporción de materia equivalente al porcentaje de las proteínas (9%); fue de 0.11g, lo que a su vez tuvo una equivalencia de 0.6 kcal., mientras que la parte proporcional proveniente del 35% de los lípidos se estimó en 0.44 g; que tuvo una equivalencia de 4.1 kcal. Por último, del 27% proveniente de los carbohidratos, se generaron 2.3 Kcal., lo que dio un promedio de 7 kcal. disponibles en el medio de cultivo TBF por cada unidad experimental a la semana.

Las dos especies de zooplancton que sirvieron de alimento de *C. humboldtianum* (*Brachionus rotundiformis* y *Artemia franciscana.*), tuvieron el siguiente contenido nutricional: las proteínas representaron aproximadamente el 49.5%, los lípidos un 11% y los carbohidratos un 16.5%. Sus equivalencias en kcal/g fueron: 3.34 para las proteínas, 0.74 para los lípidos y 1.11 para los carbohidratos, sumando un total de 6.75 Kcal/g, lo cual se aproxima a las 7 Kcal/1.3g cuantificadas en el TBF.

Tabla 6. Contenido nutricional de los sistemas ACC y TBF.

**Análisis bromatológicos del TBF y su equivalencia en kcal. (En 2 litros de medio de cultivo por cada unidad experimental)**

	(%)	1.3 g/U.Ex	kcal/1.3g
Proteínas	9	0.11	0.6
Lípidos	35	0.44	4.1
Carbohidratos	27	0.35	2.3
<b>SUMATORIA</b>	<b>71</b>	<b>0.9</b>	<b>7</b>

**Aproximaciones nutricionales teóricas de *Artemia sp.* ( A ) y *Brachionus rotundiformis* ( B ) en 2 litros de medio de cultivo (ACC) por cada unidad experimental** (Hertrampf y Piedad-Pascual, 2000; Pereira *et al.*, 2015).

	(%)	Promedio de Kcal/g de (A) y (B)
Proteínas	49.5	3.34
Lípidos	11	0.74
Carbohidratos	16.5	1.11
<b>SUMATORIA</b>	<b>77</b>	<b>6.75</b>

### **Desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum***

#### *Período embrionario*

La fase de eleuteroembrión tuvo una duración, de 0-3 DDE en ambos tratamientos (ACC y TBF), al final de esta fase inició la alimentación mixta, marcando el umbral en el cual inicia el período larvario.

La longitud notocordal (LN) promedio en la fase de eleuteroembrión en el tratamiento ACC, fue de 5.29 mm  $\pm$  0.23, la longitud final fue de 5.45  $\pm$  0.10, mientras que en el sistema TBF, la LN promedio de los eleuteroembriones fue de 5.27  $\pm$  0.18 mm (fig. 6). La longitud final fue de 5.40  $\pm$  0.16.

#### *Período larvario*

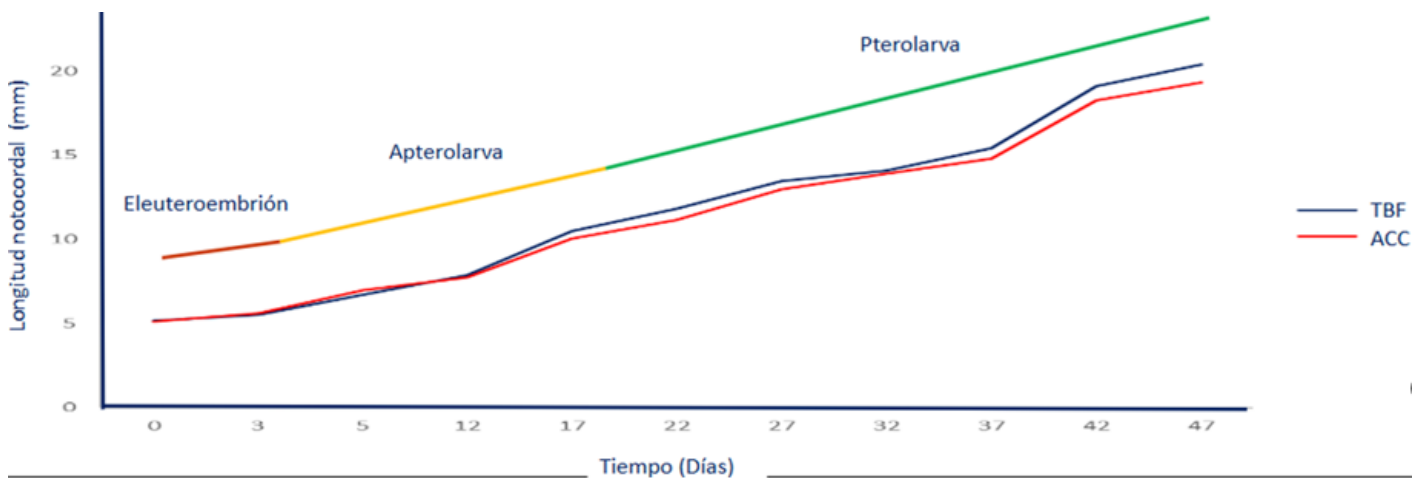
La fase de apterolarva tuvo una duración de 14 días (del día 4-17 DDE) en ambos tratamientos

(ACC y TBF). En el tratamiento ACC la LN de los peces fue de  $8.12 \pm 1.75$  mm, con una longitud final de  $10.03 \pm 0.85$  y en el tratamiento TBF, los peces tuvieron una LN de  $8.32 \pm 1.97$  mm, con una longitud final de  $10.48 \pm 1.01$  (fig. 6).

Por último, la fase de pterolarva tuvo una duración de 30 días, (17-47 DDE) en ambos tratamientos (ACC y TBF) (fig. 6).

Las longitudes promedio fueron de  $15.07 \pm 3.14$  mm, con una longitud final de  $19.30 \pm 0.25$  en el tratamiento ACC y una longitud promedio de  $15.70 \pm 3.35$  mm, con una longitud final de  $20.36 \pm 1.18$  en el tratamiento TBF. (fig. 6).

El crecimiento tuvo un ajuste lineal en todas las fases, sin diferencias en la LN final ( $t, p > 0.05$ ).



Fase	Edad (días)	Regresión ACC	Regresión TBF	Longitud promedio por fase (mm)	Crecimiento (mm) promedio por día en cada fase
Eleuteroembrión	0-3 (3 días)	$y = 0.16x + 5.13$ $R^2 = 1$	$y = 0.13x + 5.14$ $R^2 = 1$	ACC = $5.29 \pm 0.23$ BFT = $5.27 \pm 0.18$	ACC = (0.16) BFT = (0.13)
Apterolarva	3-17 (14 días)	$y = 0.27x + 5.45$ $R^2 = 0.92$	$y = 0.32x + 5.40$ $R^2 = 0.94$	ACC = $8.12 \pm 1.75$ BFT = $8.32 \pm 1.97$	ACC = (0.27) BFT = (0.32)
Pterolarva	17-47 (30 días)	$y = 0.31x + 10.03$ $R^2 = 0.97$	$y = 0.33x + 10.48$ $R^2 = 0.96$	ACC = $15.06 \pm 3.14$ BFT = $15.70 \pm 3.35$	ACC = (0.31) BFT = (0.33)

Figura 6. Desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum* en los tratamientos ACC y TBF. Y = LN.

## Características morfológicas

### Fase de eleuteroembrión

Durante la fase de eleuteroembrión el tamaño de la boca fue de  $0.25 \pm 0.03$  mm, se observaron melanóforos en las regiones cefálica y dorsal y en la superficie del saco vitelino (SV). La cabeza tuvo una forma redondeada y los ojos pigmentados. Durante los días 0-1, la alimentación de los eleuteroembriones fue endógena (Fig. 7).

Los eleuteroembriones, en el tratamiento ACC, presentaron una LN inicial de  $5.13 \pm 0.22$  mm y en el TBF fue de  $5.14 \pm 0.24$  mm. La longitud del saco vitelino (SV) fue de  $1.13 \pm 0.02$  mm en el tratamiento ACC, mientras que en el tratamiento TBF fue de  $1.15 \pm 0.01$  mm.

Los peces que se mantuvieron en el tratamiento ACC consumieron el SV aproximadamente un 41% entre los días 0-1 DDE, en el medio TBF el SV se consumió aproximadamente un 59% (Fig. 7).

Los días 2-3 DDE, la LN de los eleuteroembriones del tratamiento ACC fue de  $5.45 \pm 0.10$  mm, mientras que el saco vitelino se redujo a  $0.23 \pm 0.02$  mm de diámetro. Los peces del tratamiento TBF, tuvieron una LN promedio fue de  $5.40 \pm 0.16$  mm, y la longitud del SV se redujo a  $0.21 \pm 0.02$  mm.

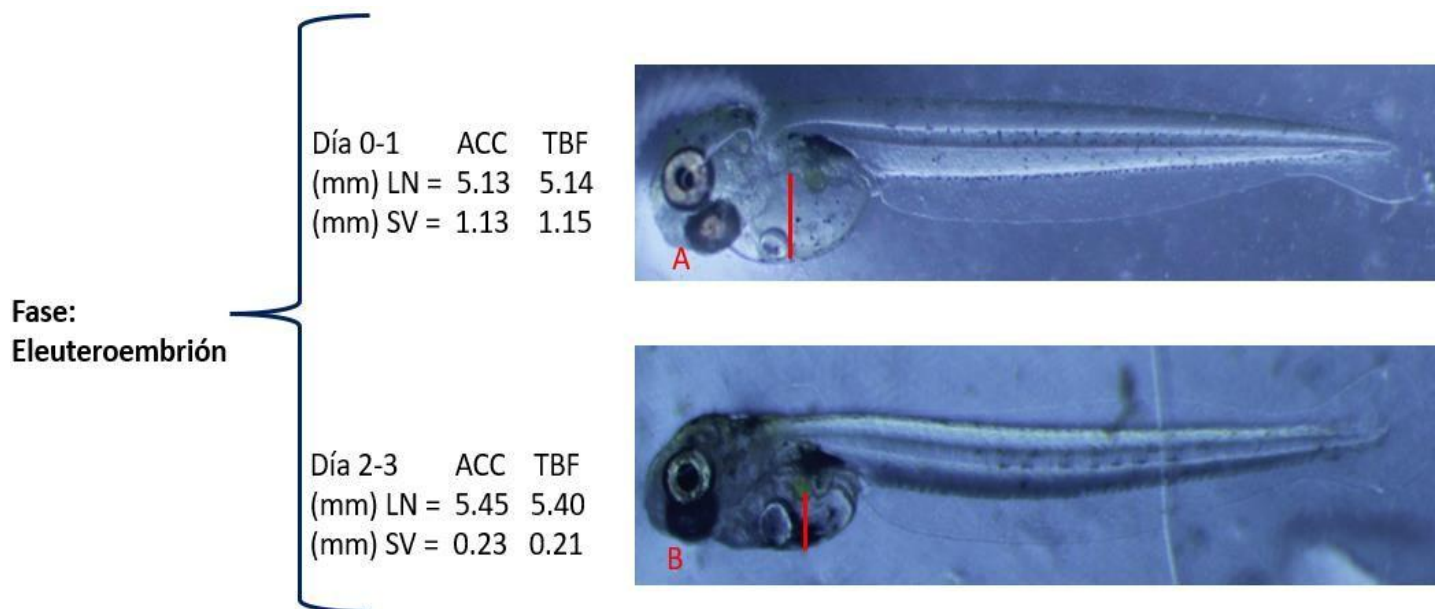


Figura 7. Fase de eleuteroembrión, del día 0-3 DDE de *C. humboldtianum*, LN en (mm) A (día 0-1), B (día 1-2) y la longitud (mm) del saco vitelino (SV).

## **Fase de apterolarva**

La fase de apterolarva (4-16 DDE) inició cuando comenzaron a consumir alimento externo mientras aún quedaba aproximadamente el 20 % del saco vitelino (alimentación mixta) 3-4 días DDE (fig. 8). En el tratamiento ACC, los días 4-12 la LN promedio de las larvas fue de  $6.59 \pm 0.3$  mm.

En el tratamiento TBF tuvieron una LN promedio de  $6.63 \pm 0.43$  mm (Fig. 8A).

Los días 13-16, la LN promedio de las apterolarvas del tratamiento ACC fue de  $7.73 \pm 0.58$  mm y en el tratamiento TBF fue de  $7.86 \pm 0.78$  mm (Fig. 8B).

En esta fase el tamaño de la boca midió en promedio  $0.14 \pm 0.45$  mm, la cabeza fue tomando una forma más afilada, la aleta embrionaria aún estaba presente, aunque se hacía más estrecha en la región caudal, la vejiga gaseosa midió un promedio de  $0.56 \pm 0.02$  mm, entre el cuarto y quinto día ya se consumió el saco vitelino, la musculatura se observó más desarrollada.

En el día 17 se presentó la flexión, con lo que inició la fase de pterolarva. La LN promedio en el tratamiento ACC, fue de  $10.03 \pm 0.85$  mm, mientras que en el tratamiento TBF fue de  $10.48 \pm 1.01$  mm (fig. 8C).

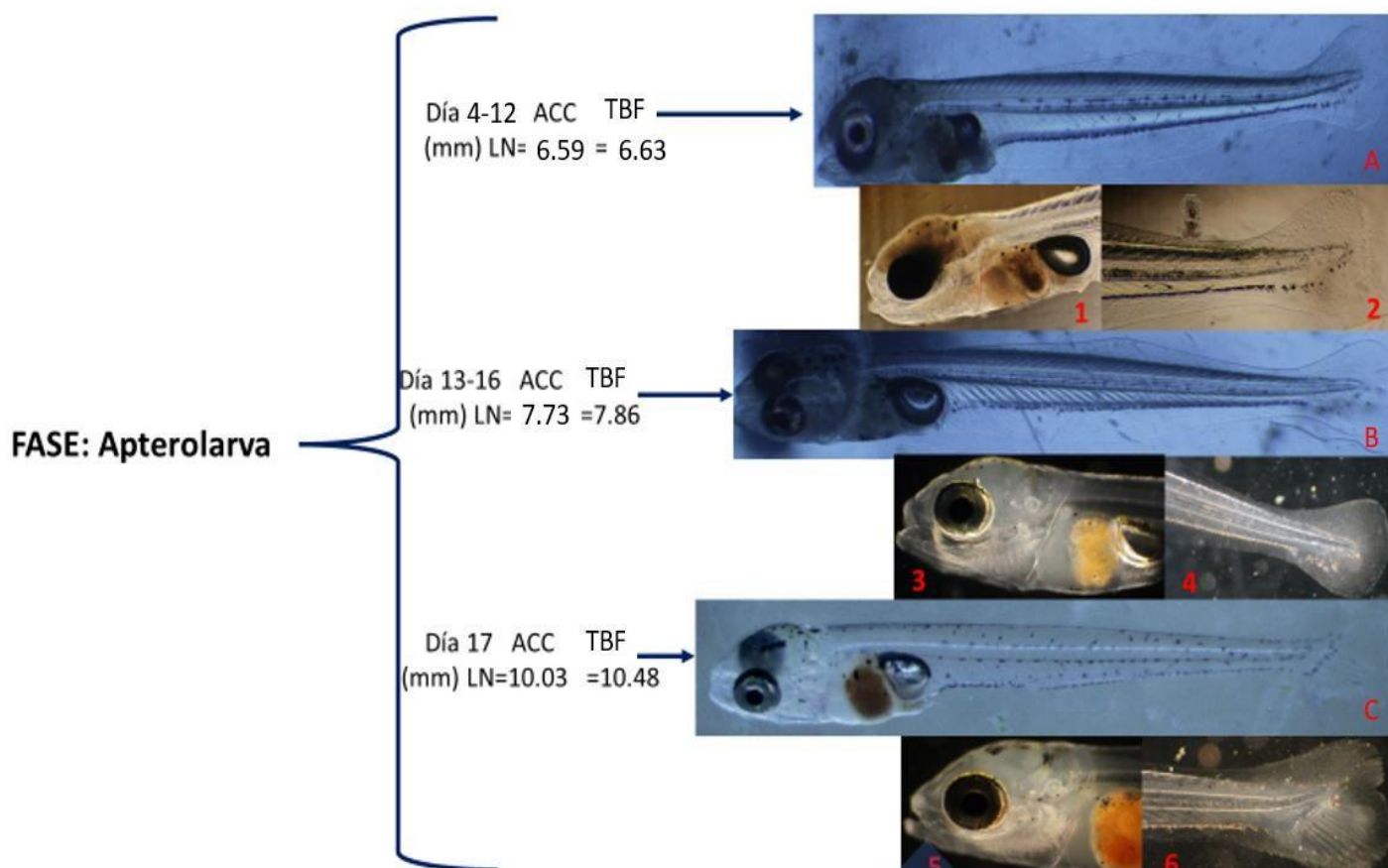


Figura 8. Fase de Apterolarva: del día 4-12 (A), 13-16 (B) y al 17 (C), los números del 1-6 muestran la morfología de la cabeza y la aleta caudal.

### Fase de pterolarva

La flexión de la notocorda se presentó a partir del 17 DDE en ambos tratamientos, lo que indicó el inicio de la fase de pterolarva.

El día 22 las pterolarvas del tratamiento ACC tuvieron una LN promedio de  $11.13 \pm 0.98$  mm, en el sistema de cultivo TBF la LN fue de  $11.80 \pm 0.85$  mm (fig. 9 A).

En el día 27 DDE las pterolarvas del tratamiento ACC tuvieron una LN promedio de  $12.98 \pm 0.61$  mm, las larvas del TBF tuvieron una longitud de  $13.45 \pm 0.75$  mm (fig. 9B).

En la edad correspondiente al día 32 DDE, las pterolarvas del tratamiento ACC obtuvieron una LN promedio de  $13.91 \pm 0.47$  mm, las larvas del TBF obtuvieron una longitud de  $14.02 \pm 0.59$

mm (Fig. 9C).

En este intervalo (17-32 DDE) la región de la boca se hizo más afilada, el tamaño de la boca midió  $0.85 \pm 0.12$  mm, la vejiga gaseosa se observó de mayor tamaño ( $1.4 \pm 0.3$  mm); las aletas 2a dorsal, anal y caudal se observaron con mayor definición y con presencia de radios, se comenzó a diferenciar la 1a aleta dorsal.

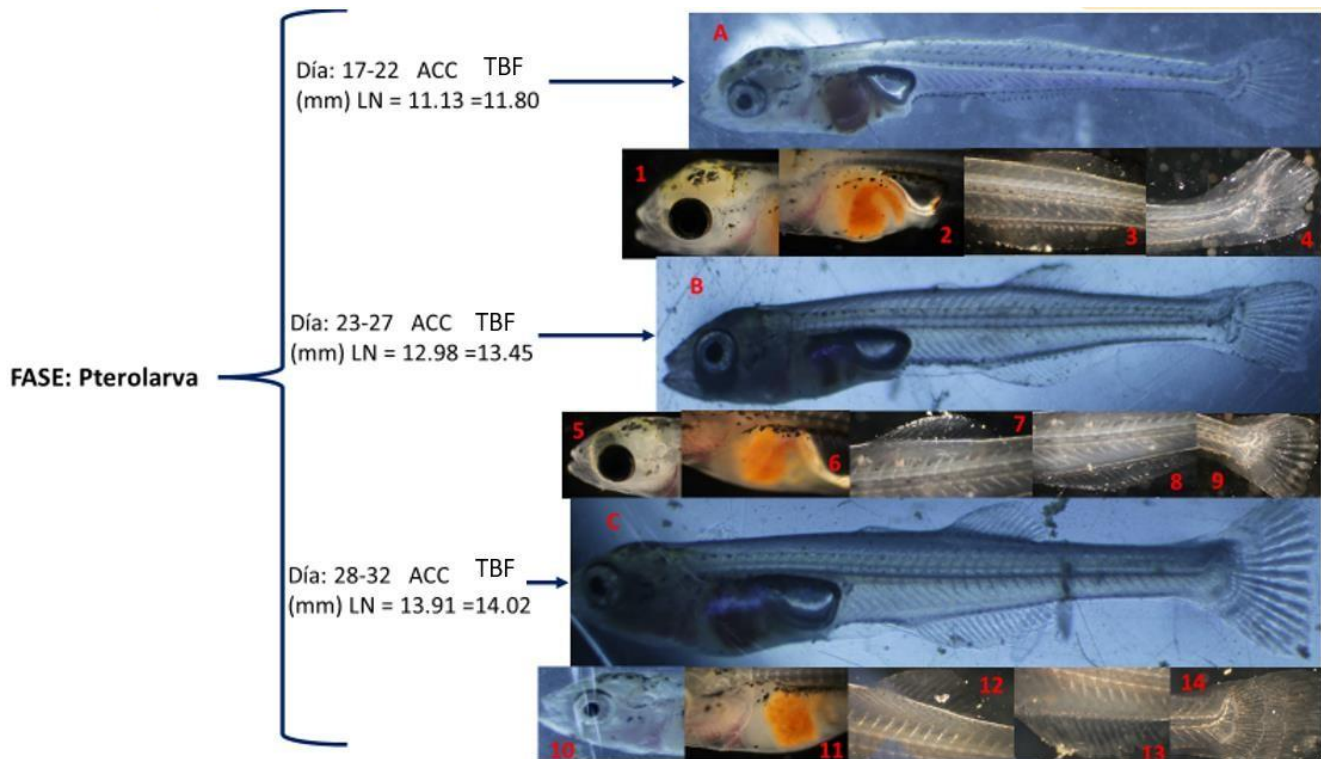


Figura 9. Fase de pterolarva 17, 27 y 32 DDE.

La LN promedio fue de  $14.79 \pm 0.47$  mm en el tratamiento ACC, mientras que en el tratamiento TBF la LN fue de  $15.42 \pm 0.59$  mm el día 37 DDE (Fig. 10D).

En el día 42 DDE, las pterolarvas del tratamiento ACC obtuvieron una LN promedio de  $18.27 \pm 1.18$  mm, en el sistema de cultivo TBF la LN fue de  $19.07 \pm 1.03$  mm (Fig. 10E).

En el día 47 DDE, las pterolarvas del tratamiento ACC obtuvieron una LN promedio de  $19.39 \pm 0.94$  mm, en el TBF tuvieron una longitud de  $20.36 \pm 1.14$  mm (fig. 10F).

Entre los días 37-47 DDE las características morfológicas que más sobresalieron fueron: la cabeza continuó haciéndose más afilada, el tamaño de la boca fue de  $1.16 \pm 0.85$  mm, la vejiga gaseosa se elongó hasta  $5.4 \pm 0.9$  mm, todas las aletas (pectorales, pélvica, 1a y 2a dorsales, anal y caudal) se formaron completamente, se observó la presencia de las primeras escamas, la aleta caudal se bifurcó y por último la 1a aletadorsal tuvo la presencia de radios. Este conjunto de características fueron los indicios del término del periodo larvario y el inicio del periodo juvenil.

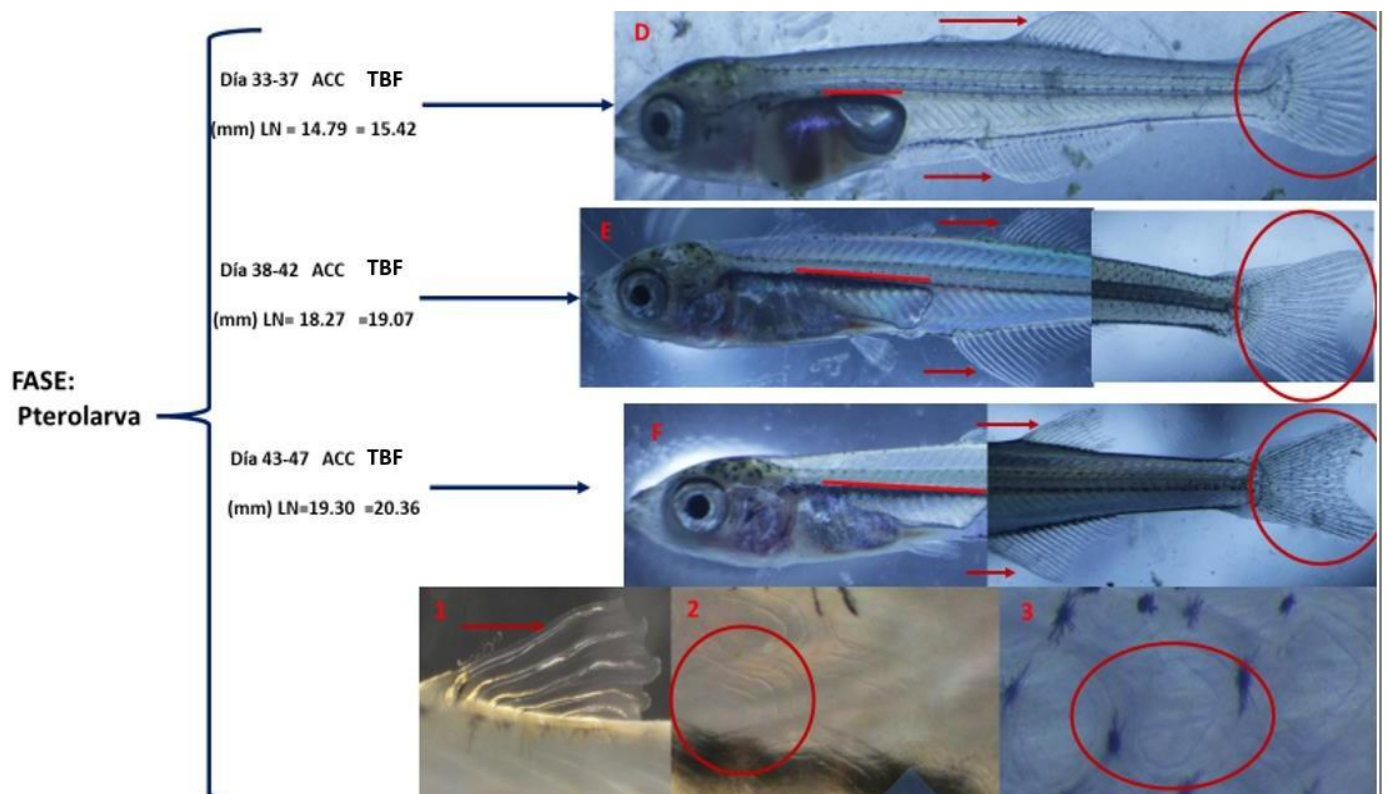
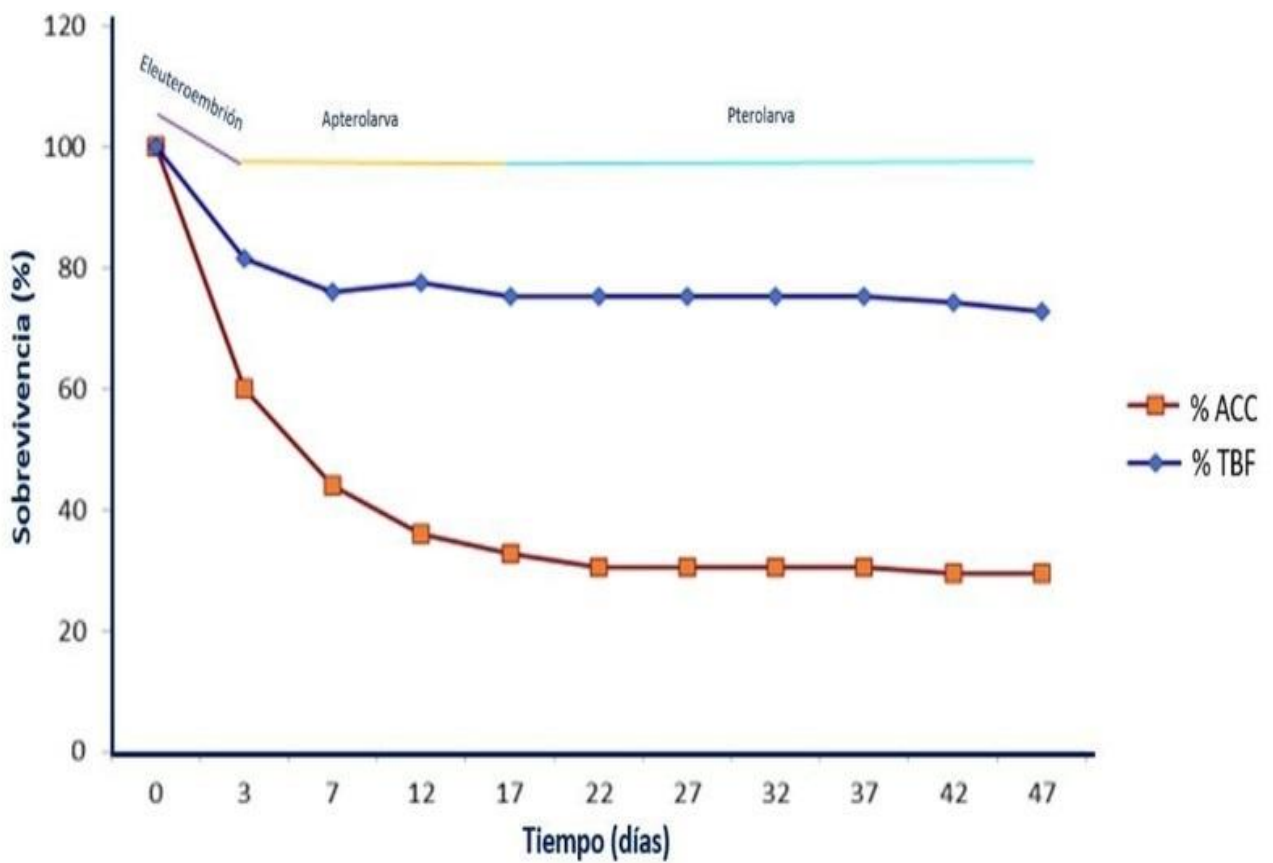


Figura 10. Pterolarvas de 33-37 DDE (D), de 38-42 (E) y de 47 días (F). Primera aleta dorsal con radios (1), escamas (2 y 3).

## Sobrevivencia

La sobrevivencia fue menor en el tratamiento ACC. La menor sobrevivencia se presentó en la fase de eleuteroembrión, representando aproximadamente un 60% en el sistema de cultivo ACC y un 81% en el sistema TBF. La sobrevivencia se estabilizó aproximadamente desde el día 7 en el sistema TBF, en el sistema de cultivo ACC aproximadamente en el día 22. La sobrevivencia final en ACC fue de 28% (n = 7) y en TBF de 72% (n= 18) (fig. 11).



Tratamiento	Cantidad inicial	Cantidad final	Sobrevivencia final (%)
ACC	25	7	28
TBF	25	18	72

Figura 11. Sobrevivencia en el tiempo en los sistemas ACC y TBF

## DISCUSIÓN

---

### **Análisis fisicoquímico y calidad de agua en los tratamientos ACC y TBF**

Los nitritos son uno de los componentes más tóxicos dentro de los cultivos acuícolas, y a que transforman la oxihemoglobina que es el grupo funcional normal en metahemoglobina que es afín al nitrógeno, produciendo un auto envenenamiento y reduce la captación de oxígeno, por lo tanto, es importante su control para asegurar que no afecten negativamente la salud de los peces. Las concentraciones en ambos tratamientos se mantuvieron bajas en relación con lo reportado para otros peces durante el desarrollo temprano (Mayes *et al.*, 1987; Kruopova *et al.*, 2005; Si-Luo *et al.*, 2015).

En el TBF las concentraciones de los nitritos se mantuvieron bajas por el efecto metabólico de las bacterias nitrificantes y heterotróficas aerobias, que oxidaron los nitritos a nitratos, con lo que se logró mantener una buena calidad de agua y sus concentraciones no llegaron a niveles tóxicos (Azim y Little, 2008; Ray *et al.*, 2010; Crab, 2010).

Las concentraciones altas de nitratos en cuerpos de agua suelen causar eutroficación y son tóxicos para los peces y otros animales, por lo que los sistemas biofloc contribuyen a disminuir sus concentraciones debido a que el fitoplancton los incorpora a sus vías metabólicas (Hargreaves, 2006).

En ambos tratamientos, las concentraciones de los nitratos se mantuvieron por debajo de lo reportado para el desarrollo temprano en peces (Mayes *et al.*, 1987; Kruopova *et al.*, 2005; Si-Luo *et al.*, 2015), por lo que las condiciones fueron óptimas para el desarrollo de las larvas de *C. humboldtianum*.

En el tratamiento ACC, las concentraciones de los nitratos fueron bajas debido a los recambios del agua, mientras que en el sistema biofloc, el fitoplancton los consumió (Avnimelech, 1999b;

Crab, 2010; Hargreaves, 2006; Claude, 2018), lo que contribuyó a mantener una buena calidad de agua.

Los desechos metabólicos de los peces, la descomposición de alimento no ingerido y la materia orgánica liberan amonio/amoniaco al medio de cultivo, por lo que sus concentraciones no pueden exceder los niveles tolerables por este tipo de peces, ya que causaría un aumento de enfermedades y en la mortalidad (Azim y Little, 2008; Quintero *et al.* 2013).

En los sistemas de cultivo ACC y TBF, la concentración de amoniaco se mantuvo por debajo de los niveles tóxicos (Mayes *et al.*, 1987; Kruopova *et al.*, 2005; Si-Luo *et al.*, 2015) por las bacterias nitrificantes y por el fitoplancton (Avnimelech, 1999; Azim y Little, 2008; Hargreaves, 2006; Claude, 2018).

Los fosfatos en altas concentraciones pueden causar la eutroficación de los cuerpos de agua. En el tratamiento ACC, los fosfatos se regularon debido a los recambios de agua.

En el tratamiento TBF, el fitoplancton consumió los fosfatos para la síntesis de sus biomoléculas, contribuyendo así a mantener una buena calidad de agua para el desarrollo de las larvas (Avnimelech, 1999b; Hargreaves, 2006; Hernández *et al.*, 2019).

Así mismo, las concentraciones de sulfatos fueron bajas en el sistema ACC, debido a los recambios de agua, mientras que en el tratamiento TBF los sulfatos fueron asimilados por el fitoplancton, lo que contribuyó a mantener una óptima calidad de agua (Avnimelech, 1999b; Crab, 2010; Hargreaves, 2006; Claude, 2018 Hernández *et al.*, 2019).

El oxígeno disuelto en ambos tratamientos se mantuvo en condiciones de saturación, por lo que las concentraciones fueron óptimas para el desarrollo de las larvas de *C. Humboldtianum*, manteniéndose por arriba de los 5 mg/L (Figuroa *et al.*, 1999; Hernández-Rubio *et al.*, 2006).

En el sistema TBF la concentración de oxígeno fue ligeramente mayor que en el tratamiento ACC

probablemente por la actividad fotosintética del fitoplancton que liberó oxígeno en el medio de cultivo (Avnimelech, 1999<sup>a</sup>; Hargreaves, 2006; 2013).

La saturación de oxígeno disuelto en el tratamiento TBF fomentó la dominancia de la comunidad bacteriana aeróbica, lo que contribuyó a que no se presentaran enfermedades a causa de bacterias patógenas (Avnimelech, 2007; 2006; Azim y Little, 2008; Claude, 2018).

Los carbonatos se mantuvieron estables en ambos sistemas, estas condiciones ayudaron a mantener el equilibrio osmótico y cubrieron los requerimientos de calcio para el óptimo desarrollo de los peces, además de que contribuyeron a mantener la alcalinidad del agua y a estabilizar el pH (Azim y Little, 2008; Avnimelech y Kochba, 2009).

Los valores de pH son muy importantes en los sistemas de cultivo acuícolas, ya que intervienen directamente con el metabolismo y el estado de salud de los peces (Avnimelech, 1999<sup>a</sup>; Azim y Little, 2008).

El pH se mantuvo estable en ambos tratamientos. En el tratamiento ACC las concentraciones fueron óptimas para el desarrollo de las larvas de *C. humboldtianum*, ya que se recomienda un pH entre 7-9 para mantener la salud de la mayoría de los peces. En el tratamiento TBF el pH varió entre 8.6-9.1 (Reddon y Hurd, 2013).

El control y la estabilidad del pH contribuyó a que se llevara a cabo la floculación y así los bioflóculos fueron viables y pudieron ser consumidos por los peces (Azim y Little, 2008).

Los niveles de pH también fueron benéficos para la formación del exoesqueleto de algunos organismos planctónicos, que a su vez fueron una fuente potencial de alimento para las larvas cultivadas (Hernández *et al.*, 2019).

## Comunidad planctónica en el sistema TBF

Las especies de fitoplancton y zooplancton del inóculo fueron las especies fundadoras del sistema de cultivo TBF. En los sistemas biofloc, sucede un fenómeno de sucesión debido a que las condiciones y recursos iniciales facilitan el establecimiento de diferentes grupos de organismos por medio de un inóculo (Ray *et al.*, 2010; Claude, 2018; Quintero *et al.*, 2013).

Todos los organismos del biofloc, pudieron haber formado parte de la dieta de las larvas, de forma directa o indirecta, ya que algunas de estas especies han sido reportadas como parte del alimento que se ha encontrado en los bioflóculos que comen los peces cultivados en los sistemas biofloc (Hernández *et al.*, 2019; Ayazo-Genes *et al.*, 2019) algunas de las especies identificadas en el sistema TBF, se encuentran en sitios donde se distribuye *C. humboldtianum* (Paulo-Maya *et al.*, 2000).

Las diatomeas son uno de los grupos taxonómicos que se han identificado en este tipo de sistemas de cultivo y suelen ser dominantes en el fitoplancton (Hernández *et al.*, 2019).

El grupo de las diatomeas y los demás grupos del fitoplancton, fueron la base alimenticia de los consumidores primarios, dentro de estos, los ciliados fueron los más abundantes. Los ciliados han sido reportados como organismos con propiedades enzimáticas que favorecen la digestión (Elliott, 1973), por lo que es posible que hayan contribuido a mejorar la digestión de las larvas de *C. humboldtianum*.

Los rotíferos formaron una fuente de alimentación importante para las larvas de *C. humboldtianum*, en los sistemas de cultivo, son el alimento más recomendado durante la primera alimentación, debido a que tiene el tamaño adecuado para la boca de las larvas de estos peces, además, es rico en algunos ácidos grasos esenciales y proteínas, que contribuyeron al óptimo desarrollo de los peces (Figuroa *et al.*, 1999; Castro-Barrera, 2004; Hernández-Rubio *et al.* 2006).

En el biofloc en el que se desarrollaron las larvas de *C. Humboldtianum* se observaron coloraciones verdes en el agua causadas principalmente por *Chlorella sp.*, lo que fue un indicador de que se mantuvo como un biofloc predominantemente autótrofo.

*Chlorella sp.* fue la especie más abundante durante todo el tratamiento TBF. Esta microalga es una fuente de alimento rica en ácidos grasos insaturados, que son necesarios en las dietas de los peces principalmente para el desarrollo del sistema nervioso, así mismo, las demás especies del fitoplancton que son asimiladas a través de las cadenas tróficas (Tacon, 1989; Castro-Barrera, 2004; Castro-Mejía *et al.* 2016), por lo tanto, gran parte de la dieta de las larvas de *C. humboldtianum* dependió de los bioflóculos en suspensión, que contenían fitoplancton y zooplancton.

La distribución del fitoplancton fue heterogénea, algunas especies se encontraron en aglomeraciones en los flocos (*Nitzschia palea*, *Navicula sp.*, *Fragilaria sp.*, *Surirella biseriata* y *Surirella sp.*), así como otras especies se encontraron suspendidas en el medio de cultivo (*Oocystis sp.*, *Amphora sp.*, *Closterium aciculare*, *Chlorella sp.*, etc.).

Los flujos de materia y energía que suceden a través de la red trófica transcurren en el tiempo siendo objeto de múltiples cambios, por lo que la composición y abundancia de las especies cambia en consecuencia (Walker, 2005).

El ciliado *Tetrahymena pyriformis*, fue una de las especies que presentaron mayores abundancias; este ciliado ha sido reportado como una especie de importancia médica, ya que se le atribuye una actividad enzimática importante para la purificación de componentes subcelulares (Elliott, 1973). Este ciliado se encontró en el interior de los flocos ingiriendo materia orgánica, por lo que es posible que esta materia orgánica predigerida y potencialmente impregnada con enzimas digestivas, haya sido benéfica para el metabolismo de las larvas de *C. humboldtianum* al ingerir a estos ciliados.

La mayoría de las especies registradas en el TBF, son comunes en los sistemas biofloc; (Monroy-Dosta *et al.*, 2013; Ayazo-Genes *et al.*, 2019; Hernández *et al.* 2019). También se han encontrado en los cuerpos de agua donde habita *C. humboldtianum* (Paulo- Maya, *et al.* 2000). La diversidad y, en consecuencia, la equidad del fitoplancton fue baja, lo que probablemente se debió a que la comunidad se encontraba en un estado temprano, ya que en otros biofloc se han determinado diversidades medias y altas (Ayazo-Genes *et al.*, 2019)

En general la estructura de la comunidad del fitoplancton en el TBF se consideró de baja diversidad, baja equidad y alta dominancia de *Chlorella sp.*, *Oocystis sp.* y *Nitzschia palea*, probablemente por el tiempo (47 días) no se logró que la comunidad fitoplanctónica se estabilizara.

El zooplancton presentó una diversidad y una equidad mayores que el fitoplancton, esta variación se ha reportado en otros biofloc (Ayazo-Genes *et al.*, 2019). Lo que puede deberse a que la comunidad del zooplancton se encontraba estable debido a que los recursos eran suficientes (Chang y Turner, 2019).

Las especies que dominaron en el fitoplancton fueron consumidas por el zooplancton, especialmente *Chlorella sp.* y *Nannochloropsis sp.* debido a esto, las larvas de *C. humboldtianum* tuvieron acceso a una fuente de alimento en cantidad y calidad nutricional suficientes para sobrevivir y desarrollarse óptimamente.

### **Calidad Nutricional de los sistemas de cultivo (ACC y TBF)**

La cantidad de proteínas cuantificadas en los bioflóculos del sistema de cultivo TBF, fue baja en comparación con otros sistemas biofloc, donde determinaron: 38% de proteínas, 0% de carbohidratos, 3% de lípidos y 19 kcal (Azim y Little, 2008) y 30-40% de proteínas, 29-10 % de carbohidratos y 0.47% de lípidos (Emerciano *et al.*, 2012)

La baja cantidad de proteínas cuantificadas en el biofloc de este trabajo se debió a que la

comunidad planctónica fue dominada por las microalgas, lo que explicaría el alto contenido de lípidos y la baja cantidad de proteínas.

Estos resultados son consecuencia de las altas abundancias de fitoplancton en el TBF, ya que de haber alcanzado el estado en el cual las bacterias presentan las mayores abundancias, el contenido de proteína se hubiera incrementado, ya que las membranas celulares tienen un alto contenido de glico y lipoproteínas (Jendrossek y Hardyck, 2002; Avnimelech, 2007; Panigrahi, 2018; Claude, 2018).

Los sistemas biofloc no son suplementarios en la alimentación de los peces cultivados, sino que son complementarios y se llega a reducir hasta un 50% el suministro de alimento dentro de estos sistemas de cultivo (Quintero *et al.*, 2013; Emerciano *et al.*, 2013). En este sentido, las kcal de ambos sistemas de cultivo fueron adecuadas para nutrir a las larvas de *C. humboldtianum*.

### **Crecimiento de *Chirostoma humboldtianum***

Durante los primeros días de del desarrollo temprano en los peces, la mayoría de la energía del vitelo se dirige al desarrollo de los órganos y sistemas (Osse *et al.* 1997; Webb, 1999; Gilbert, 2000), en especial a los sistemas respiratorio y digestivo (Osse *et al.* 1997), lo que explica que los eleuteroembriones de *C. humboldtianum* no se presentaran un crecimiento significativo en ambos sistemas (ACC vs TBF), y que no hubiera diferencias entre sus longitudes, por lo que ambos sistemas permitieron un crecimiento similar.

Con el inicio de la alimentación mixta, aumentó la velocidad de crecimiento en la fase de apterolarva, en ambos tratamientos (ACC vs TBF), probablemente por la variedad de alimento que hubo en el biofloc, que pudo generar una respuesta fisiológica favorable para el crecimiento, aunque no fue distinta de la longitud obtenida en el tratamiento ACC.

El alimento vivo tiene propiedades enzimáticas, que actúan como estimulantes en la actividad

metabólica de las larvas de peces, debido a la ingesta de aminoácidos libres y otras biomoléculas, como las enzimas que se encuentran en el zooplancton. Por lo tanto, el alimento vivo representó una fuente de energía importante para favorecer el crecimiento de los peces (David-Ruales *et al.*, 2018).

La fase de pterolarva tuvo la mayor duración, lo cual coincide con los peces con desarrollo indirecto, debido a que, en esta fase, la mayoría de los órganos ya tienen mayor eficiencia funcional, en donde los peces adquieren una mayor capacidad de nado y con esto, una mayor eficiencia en la captura de sus presas, debido al desarrollo de las aletas, orientando esta energía al crecimiento y al desarrollo del aparato reproductor (Figuroa *et al.*, 1999; Hernández-Rubio *et al.* 2006).

En ambos tratamientos (ACC y TBF) el alimento vivo permitió que las velocidades de crecimiento (LN) fueran semejantes, así como el nivel de desarrollo de las estructuras morfológicas de las larvas, lo que fue un indicador de que ambos tratamientos son adecuados para el crecimiento.

### **Cambios morfológicos durante el desarrollo temprano de *C. humboldtianum***

#### **Fase de eleuteroembrión**

Los melanóforos observados en los eleuteroembriones de *C. humboldtianum* son comunes en los peces, ya que funciona como un mecanismo de protección contra la depredación y la luz uv (Funes-Rodríguez y Esquivel-Herrera, 1988; Finn y Kapoor, 2010; Valdivieso-Guerrero, 2023).

La aleta embrionaria; junto con los primordios de las aletas pectorales, les permiten estabilizarse y mantener el equilibrio, pero no pueden desplazarse grandes distancias (Gilbert, 2010).

La duración de esta fase (eleuteroembrión) Y la longitud notocordal son semejantes a lo observado en otros trabajos (Figuroa *et al.*, 1999; Hernández-Rubio *et al.*, 2006).

## **Período larvario**

El desarrollo de las aletas fue un factor importante que favoreció la hidrodinámica en el nado, haciendo a las larvas más eficientes en la captura de su alimento (Finn y Kapoor, 2010), por lo que se optimizó el uso de la energía reflejándose en un aumento en la velocidad de crecimiento en ambos tratamientos.

Las pterolarvas presentaron la cabeza en forma triangular, lo que les confirió ser más hidrodinámicas y utilizar de mejor forma la energía, en esta fase las aletas se observaron más desarrolladas mejorando su desplazamiento en el agua, lo que le permitió capturar presas de mayores dimensiones y esto favoreció su estado de salud.

Los peces presentaron un aumento en el tamaño de la boca con forme iban creciendo, que les permitió cazar presas de mayores dimensiones y de forma más eficiente, su musculatura se observó robusta, lo que se tomó como un indicador de buena salud, además de que les confirió mayor fuerza para el nado.

Este conjunto de características son indicios del término del periodo larvario y el inicio del periodo juvenil (Figuroa *et al.*, 1999; Hernández-Rubio *et al.*, 2006; Hernández-Rubio, 2009).

## **Sobrevivencia durante el desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum***

La falta de conocimiento sobre técnicas de adaptación al cautiverio, manejo de reproductores, colecta y preservación de huevos, larvicultura, entre otros, son parte de la problemática en la diversificación de los productos acuícolas (David-Ruales *et al.*, 2018). Aunado a lo ya mencionado, la menor sobrevivencia de los peces (cuello de botella) se presenta durante el desarrollo temprano, debido al cambio de alimentación endógena a mixta (Balon, 1985; Webb, 1999; Figuroa *et al.* 1999; Hernández- Rubio *et al.*, 2006; Hernández-Rubio, 2009).

Es por medio del microbiota bacteriana del alimento externo (bioflóculos y zooplancton), que las larvas asimilan mejor los nutrientes y estimulan el sistema inmunológico (Xuan-Hui *et al.* 2022).

Además, confiere una resistencia a las enfermedades, debido a los probióticos (Avnimelech, 2007).

En los cultivos con agua clara, no hay microbiota suficiente en el alimento vivo suministrado; a menos de que se enriquezca con probióticos o algunos otros elementos de alto valor nutricional, y menos aún en el alimento balanceado, a diferencia de la microbiota que se encuentra en los sitios donde se distribuye la especie o en el sistema biofloc. Por esta razón la mayor mortalidad, se presentó en el sistema ACC.

En el sistema TBF, los bioflóculos fueron una rica fuente de prebióticos y probióticos, necesarios para activar el sistema inmune, estimulando así el sistema inmunológico, aumentando las probabilidades de sobrevivencia (Johnson *et al.*, 2008; Jang *et al.*, 2011). Se ha comprobado que algunas bacterias heterotróficas liberan aditivos que funcionan como antibióticos naturales (Xuan-Hui *et al.* 2022).

Además, el fitoplancton en los sistemas biofloc, tiene propiedades antibióticas naturales que disminuyen la proliferación de algunos agentes patógenos, incrementando la sobrevivencia de los animales cultivados. (Crab, 2010).

Los postbióticos regulan el sistema inmunológico (Pérez, 2020). Este efecto se reflejó en la mayor sobrevivencia que se observó en el sistema TBF.

La capacidad postbiótica de los sistemas de cultivo biofloc, se debe a múltiples componentes bioquímicos, como el polihidroxitirato, que es un metabolito empleado por algunas bacterias heterótrofas, como forma de almacenamiento de energía, el cual es liberado tras la muerte de las bacterias. Por lo tanto, el polihidroxitirato, al ser un compuesto que estimula el sistema inmunológico de los peces (Jendrossek y Hardyck, 2002), pudo haber contribuido a que no se observara la presencia de enfermedades en los peces cultivados en el sistema TBF.

El acetato de polihidroxi, funciona como antibiótico y estimulante del sistema inmune, se ha

detectado como un componente químico en los sistemas biofloc (Irshad *et al.*, 2016).

Por tales motivos, la sobrevivencia y el buen estado de salud de los animales cultivados en el sistema biofloc, fue notoriamente mayor en comparación con el sistema de agua clara, que carece de todos los componentes bioquímicos mencionados anteriormente.

## CONCLUSIONES

---

De acuerdo con los resultados obtenidos es posible concluir que:

1. El sistema de cultivo biofloc es más eficiente que el sistema de agua clara, para la producción de juveniles de *C. humboldtianum*. Requiere menos volumen de agua, se autorregula la calidad del agua, a través de las cadenas tróficas del biofloc.
2. En el sistema biofloc se obtiene una sobrevivencia mayor de juveniles y un mejor control de las enfermedades.
3. Los sistemas biofloc son eficientes, como fuente complementaria de alimento, en especies zooplanctófagas. Por su carácter heterotrófico proveen un mayor aporte de proteína en la dieta y favorecen la colonización de elementos de la microbiota que mejoran la digestión como se reflejó en este trabajo.
4. La menor sobrevivencia en el sistema ACC se presentó en el paso de la alimentación endógena a mixta, probablemente debido a la ausencia de bacterias que colonizan el tubo digestivo para desarrollar una microbiota que mejore la asimilación de nutrientes, a diferencia del tratamiento que incluyó un biofloc.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Aguilar, P., Navarrete, S. N. (1997). Crecimiento, condición y mortalidad del charal *Chirostoma humboldtianum* (Atheriniformes: Atherinidae) en México. *Revista de Biología Tropical*. 44 (3) / 45 (1): 573-578).
- Avnimelech, Y. (1999<sup>a</sup>). *Biofloc technology- A practical guide book*. The world aquaculture society. Baton Rouge, United States.
- Avnimelech, Y. (1999<sup>b</sup>). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176: 227-235
- Avnimelech, Y. (2006). *Biofilters: the need for a new comprehensive approach*. *Acuaculture Eng.*
- Avnimelech, Y. (2007). Feeding With microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds *Aquaculture*.
- Avnimelech, and Kochba, M. (2009). Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in biofloc tanks, using 15N tracing. *Aquaculture* 287: 163-168.
- Ayazo-Genes, J., Pertúz-Buevas, V., Jiménez-Velázquez, C. Espinoza-Araujo, J., Atencio-García, V. y Prieto-Guevara, M. (2019). Comunidades planctónicas y Bacterianas asociadas al cultivo de Bocachio, *Prochilodus magdalenae* con tecnología biofloc. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. *Rev. MVZ Córdoba.*, Vol. 24 No. 2.
- Azim, M. and Little, D. (2008). The Biofloc Technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition and growth and welfare of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283: 29-35.
- Barbour, C. (1973). A biogeographical history of *Chirostoma humboldtianum* (Pices:

- Atherinidae): a species flock from the Mexican Plateau. *Copeia*, 3, 533, -556.
- Barker, M. F. and Scheilbling. (2008). Rates of fission, somatic growth and gonadal development of a fisio parous sea star *Allostichaster insignis*, in New Zeland. *Marine Biology*. 153:815-824.
  - Balon, E. K. (1981) Saltatori process and altricial to precocial forms in the ontogeny of fishes. *American Zoologist*. Vol. 21. No. 2. Pp 573-596.
  - Balon, E.K. (1985) the theory of salutatory ontogeny and life history models revisited.pp. 13-30 In: EK Balon (ed.) *Early Life Histories of fishes: New Developmental, Ecological and Evolutionary Perspectives*, Dev. In *Env. Biol. Fish.* 5, Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht.
  - Balon, E.K. (1986). Saltatory ontogeny and evolution. *Rivista di Biologia* 79:151-190.
  - Bockmann, C. (1987). *Ecológica and evolutionary dynamics of populations*. New York:Springer.
  - Bloom, D. D., Weir, J. T., Piller, K. R. and Lovejoy, N. R. 2013. ¿Do freshwater diversity faster than marine fishes? A test using state-dependent diversification analyses and molecular phylogenetics of new world silversides (Atherinopsidae). *Evolution* 67, 2040.
  - Campanella, D., Huges, L.C., Unmack, P.J., Bloom, D. D., Piller, K. R. and Ortí, G. (2015). Multi locus fossil calibrated phylogeny of Atheriniformes (Teleostei, ovalentaria). *Molecular Phylogenetics and Evolution* ISSN 1055-7093.
  - Castro-Barrera, T. (2004). *Alimento vivo para organismos acuáticos*. AGT, Editor, S. A. México CDMX. ISBN:968-463-111-1.
  - Castro-Mejía, G., De Lara-Andrade, R., Monroy-Dosta, M.C., Castro-Mejía, J. y Ocampo- Cervantes, J.A. (2016). Estudio preliminar del uso de Biofloc como alimento

para el incremento de talla y peso de *Chirostoma jordani* (Wollman, 1894) en un sistema de recirculación en laboratorio. Revista Digital del Departamento. El Hombre y su Ambiente ISSN: 2007-5782 Vol. 1 (12): 28-35.

- Chávez-Toledo, C. (1987). Ictiofauna del Alto Lerma; aspectos sistemáticos, zoogeográficos y ecológicos. Tesis de Licenciatura. Biólogo. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. México. 51 pp
- Collazos, L. y Arias A. (2015). Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT), una alternativa para la piscicultura en Colombia. Revista Orinoq. 77-86.
- Costas, B., Aragão C., Mancera, J. M., Dinis, M. T. and Conceição, L. E. C. (2007). High stocking density induces crowding stress and affects amino acid metabolism in senegalese sole *Solea senegalensis* (Kaup, 1858) juveniles. Aquaculture Research 39:1-9.
- Chang, C. C. y Turner, B. L. (2019). Ecological Succession in Changing World. Journal of Ecology 107. 503-510.
- Chiappa-Carruya, Y., Galindo de Santiago, M. C. y Cervantes-Sandoval, A. (2009). Introducción a los modelos matemáticos de crecimiento con aplicaciones en sistemas biológicos. UMDI-SISAL-UNAM. Pp105.
- Chu, C.P. y Lee, D.J. (2004). Multiscale structures of biological flocs. Chem. Eng. Sci. 59 (8–9), 1875– 1883.
- Claude, E. (2018). Relaciones carbono-nitrógeno en fertilización de estanques y sistemas de biofloc. Acuaculture and Aquatic Sciences. Aburn University U.S.A.
- Clark, T. D. and Seymour, R. S. (2006). Cardio respiratory physiology and swimming energetics of a high-energy-demand teleost, the yellow tail King fish (*Seriola lalandi*). Journal of experimental Biology. 209:3940-3951.

- Clements, F. E. (1916). *Plant Succession: An Analysis of the Deveopment of Vegetation*. Carnegie Institution of Washington Publication 242, Washington, D.C., USA.
- Crab, R. (2010). *Bioflocs technology: An integrate system for removal of nutrients and simultaneous production of feel in aquaculture*. Doctoral tesis (Ph D). Appliedbiological Sciencies, environmental technology, Faculty of biosciencie, Engineer Ghent University. Belgium.
- Díaz- Pardo, E. (1986). *Requerimientos ecológicos de peces aterinidos. Resúmenes del 1 Congreso de la Asociación Mexicana de Acuaculturista*. Mexico, D. F.
- David-Ruales, C.A., Machado-Fracalossi D. y Vásquez-Torres W. (2018). *Desarrollo temprano en larvas de peces, clave para el inicio de la alimentación exógena*. *Revista Lasallista de investigación-Vol. 15 No. 1. 180-194*.
- Ebeling, J. M. (2006). *Biofiltration-Nitrification Desing Overview*. *Environ. Eng.*
- Elliott, A. M. (1973). *Biology of Tetrahymena*. Downen Huchinson and Ross Inc. ISBN 0-87933-013-9.
- Emerenciano, M., Gaxiola, G. and Cuzon, G. (2012). *Biofloc technology applied to shrimp broodstock*. In: Avnimelech Y (ed). *Biofloc technology -a practical guide book*, pp. 217-230. The World Aquaculture Society, Baton Rouge.
- Emerciano, M. (2013). *Bio Floc Technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry*. *Biomass now: cultivation and utilization*. Edit. Tech. Rijeka. Croatia.
- FAO. (2024). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. [El estado mundial de la pesca y la acuicultura \(fao.org\)](#) Ultima consulta 20/7/2024.
- Fernández, E. G., Navarrete-Salgado, N. A. y Rodríguez-Robles, J. L. (2008).

el embalse

R.N. Soyaniquilpan Estado de México. Revista: Chapingo Ciencias Forestales y del Ambiente, 14 (2): 129-134.

- Figueroa-Lucero, G., Hernández-Rubio, M.C., Ríos, B.G. y Sevilla, H.M.L., (1999). Bioensayos de alimentación en alevines de *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes) (Pisces: Atherinidae), bajo condiciones de laboratorio. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas 45, 17–23.
- Figueroa-Lucero, G., Hernández-Rubio, M. C. y Ontiveros, López, G. (2007). Reproducción en charales y peces blancos. En: Olivera, L. J. I., Jaramillo, J. M. T., Molina, H. M., Téllez, A. N. P. (Eds.), Reproducción y manejo de fauna silvestre 3. UAM-Universidad Veracruzana, México. pp: 323-336.
- Finn, R. N. and Kapoor, B. G. 2010. Fish larval Physiology. The quarterly Review of Biology. Vol. 85. Pp. 118-119.
- Funes-Rodríguez, R. y Esquivel-Herrera, A. (1988). Comparación de los caracteres merísticos, morfométricos y patrones de pigmentación en las larvas del género *Opisthonema* Gill, 1861, en el noroeste de México. Comparison of the Meristic, Morphometric Characters and Pigmentation Patterns in the *Opisthonema* Gill, 1861 Genus Larvae, in Northwestern Mexico. IPN. Ciencias Marinas 14(3): 51-68.
- Gilbert, S.F. (2000). Developmental Biology. Sinauer Associates Inc. USA. pp 3-24.
- Gleason, H. A. (1926). The individualistic concept on the plant association. Bulletin of the Botanical Club. 53:7-26.
- Hargreaves, J. A. (2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. Aquac Eng; 34 (3): 344–363
- Hargreaves, J. A. (2013). Biofloc production systems for aquaculture Southern regional.

Acuaculture center publication 450 3:1-12.

- Hernández-Rubio, M. C., Figueroa-Lucero, G., Barriga-Sosa, I. D. L. A., Arredondo-Figueroa, J. L. y Castro-Barrera, T. (2006). Early development of the shortfin silverside *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes, 1835) (Atheriniformes: Atherinopsidae). *Aquaculture*. 261.
- Hernández-Rubio, M. C. (2009). Historia de vida temprana de *Chirostoma humboldtianum* y *Chirostoma rojai* (Atheriniformes: Atherinopsidae) bajo la teoría de la ontogenia por saltos. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana (Xochimilco). Pp. 0-143.
- Hernández L. E., Londoño J. I., Hernández A., Torres L. C. (2019). The Bioflocs Systems: an efficient strategy in the Aquaculture production. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. Colombia. Vol. 14 (1) 71-99.
- Hertrampf, W. J. y Piedad-Pascual, F. (2000). Live foods. *Springer Nature* pp. 241-254.
- Irshad, H., Verma, A. K., Babitha, A.M., Rathore, G. Neelam, S. and Adnan, H.G. (2016). Growth, non-specific immunity, and disease resistance of *Labeo rohita* against *Aeromonas hydrophilia* in biofloc systems using different carbon sources. *El Sevier*. Mumbai India. *Aquaculture* 45:61-67.
- Jang, I. k., Pang z., Yu, j., Su-Kyong, k., Hyung-Cheol, S. and Yeong-Rok C. (2011). Selectively enhanced expression of prophenoloxidase activating enzyme 1 (PPAE1) at a bacteria clearance site in the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *BMC Immunology* 12: 70-77.
- Jendrossek, D and Hardyck, R. (2002). Microbial degradation of polyhydroxyalkanoates. *Annual review Microbiology* 56: 403-420.
- Jiménez, B. M. L. y García, G. A. (1995) Evaluación de la pesquería multispecífica de

charales (*Chirostoma sp.* Pisces: Atherinidae) del lago de Pátzcuaro Michoacán, México. Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ser. Zool. 66 (2): 205-231.

- Johnson, C., Barnes, S., Ogle, J., Grimes, J., Chang, Y. J., Peacock, D. and Kline, L. (2008). Microbial community analysis of water, foregut, and hindgut during growth of pacific White shrimp *Litopenaeus vannamei* in closed-system aquaculture. World Aquac Soc. 39:251-250.
- Kidder, G. W., Petersen, C. W. and Preston, R. L. (2006). Energetics of Osmoregulation: II Water flux and osmoregulatory work in the euryhaline fish, *Fundulus heteroelitus*. Journal of experimental zoology 305: 318-27.
- Kobelkoswky, A. y Figueroa, L. G. (2018). El sistema digestivo del pescado blanco de Pátzcuaro *Chirostoma estor* (teleostei, Atherinopsidae). Acuicultura en México: impacto en producción, manejo y conservación. Hidrobiológica (1): 37-50.
- Kolkowsky, S., Tandler, A. and Izquierdo, M. S. (1997). Effects of live food and dietary digestiva enzymes on the efficiency of microdiets for sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. Aquaculture. 148:313-322.
- Kroupova, H., Machova, J. and Svobodova, Z. (2005). Nitrite influence on fish: a reiew. Vet. Med.- Czech, 50, (11): 461-471.
- López, L. L. (1991). Peces y moluscos en el libro undécimo del Códice Florentino. Pp 2211-248. In O. J. Polaco (coord.), La fauna en el Templo Mayor. Asociación de Amigos del Templo Mayor, A.C., en coedición con el Instituto Nacional de Antropología e Historia y García Y Valadéz editores, S.A. de C.V.
- Lauff, M. and Hoffer, R. (1984). Proteolytic enzymes in fish development and the importance of dietary enzymes. Acuaculture. Vol. 37 Issue 4. Pp 335-346.

- Lucas, A. (1996). Bioenergetics of aquatic Animals. Taylor y Francis, Ltd. 169 pp.
- MacArthur, R. (1961). Population ecology birds. New York:Harper and Row.
- Mares, B. L. G. (1987) Cultivo del pescado blanco *Chirostoma estor* en jaulas en el lago de Pátzcuaro. INP-CRIP-Pátzcuaro. Informe Técnico D. 1987. Inédito. 8 pp.
- Margalef, R. (1963). On certain unifying principles in ecology. *The American Naturalist*97: 357-374
- Margalef, R. (1997). Our Biosphere. O. Kinne, editor. Excellence in Ecology Series. Ecology Institute, Oldendorf, Germany.
- Martínez-Palacios, C. A., Toledo-Cuevas, M., Racotta-Dimitrov, E., Ríos-Durán, M.G., Palacios-Metchenov, E., Fonseca-Madrigal, J. Campos-Mendoza, A. y Ross, L. G. (2006). Aspectos nutricionales del pescado blanco de Pátzcuaro (*Chirostoma estor estor* Jordan, 1879). Avances en nutrición acuícola, VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola 15-17 noviembre. UANL. Monterrey México. ISBN. 970-694-333-5.
- Mayes, M. A., Alexander, H. C., Hopkins, D. L. and Latvaitis P. B. (1986). Acute and chronic toxicity of ammonia to fresh water fish: a site-specific study. *Environmental Toxicology*.
- Muñoz, V. (2018). Contribución del biofloc inoculado con diferentes probióticos sobre el crecimiento y niveles de actividad enzimática digestiva en juveniles de tilapia *Oreochromis niloticus*, var. Spring. Tesis de maestría. Centro de investigación científica y de educación superior de ensenada B.C.S. México. 77 p.
- Moncayo, E. R. (1996). Estructura y función de la comunidad de peces de la laguna de Zacapu, Michoacán, México. Tesis de Maestría. CICIMAR, IPN. México.
- Monroy-Dosta, M., De Lara-Andrade, R., Castro Mejia, J., Castro-Mejia, G. y Coelho-

- Emerenciano, M. (2013). Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Rev Biol Mar Oceanogr*; 48(3):511-520.
- McIntosh, R. (2001). Changing Paradigms in Shrimp Farming: Establishment of heterotrophic bacterial communities. *Global Aquaculture Alliance*; 4: 53-58
  - Odum, E. P. (1992). Great ideas in ecology for the 1990's. *BioScience* 42:542-545.
  - Osman, A.G.M.; Wuertz, S.; Mekki, I.A.; Verreth, J. and Kirschbaum, F. (2008). Early development of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), focusing on the ontogeny of selected organs. *J. Appl. Ichthyol.*, 24, 187–195. doi:10.1111/j.1439-0426.2007.01018. x.
  - Osse, J. W. M., Van Den Boogart, J. G. M., Van Snik, G. M. and Van Der Sluys, L. (1997). Priorities during early growth of fish larvae. *Aquaculture* 155:249-258.
  - Paulo-Maya, J., Figueroa, L. G. y Soria, B. M. (2000). Peces dulceacuícolas mexicanos XIX *Chirostoma humboldtianum* Atherinopsidae. *Zoología informa. ENCB-IPN.* (43):59-74.
  - Panigrahi, A., Saranya, C., Sundaram, M., Kannan, S. R., Das R. R., Kumar, R. S. Rajes, P. and Ota, K. S. (2018). Carbon: Nitrogen (C: N) ratio level variation influences microbial community of the systems and grow as well as community of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in biofloc based culture system fish and shellfish *Immun.* 81. 329-337.
  - Pereira, S. L., Mendonça, P. P., Pellanda, A. S., Matiello, M. D., & Junior, L. P. G. (2015). Different foods in larviculture of traíra (*Hoplias malabaricus*). *Brazilian Journal of Veterinary Medicine*, 37(3), 233–238.

- Pérez, T. (2020). Postbióticos estimulan la respuesta inmune innata de las truchas. CEIN. España. 1-1.
- Person, L. (1989). Early weaning of marine fish larvae onto microdiets: Constraints and perspectives. (Conference). 20 febrero - 4 marzo 1989. Recuperado de: [https://pdfs.semanticscholar.org/c935/307e8cd95fa7143c\\_ca00421ffe28ff2bdfb3.pdf](https://pdfs.semanticscholar.org/c935/307e8cd95fa7143c_ca00421ffe28ff2bdfb3.pdf)
- Planas, M. y Cunha, I. (1999). Larviculture of marine fish: Problems and perspectives. *Aquaculture* 177. 171-190.
- Quintero, S., Tolosa, A. y Aguilar, O., (2013). Tecnología del biofloc en un cultivo de mojarra roja (*Oreochromis sp.*) en la etapa de levante. *Revista Innovando en la U. Universidad Libre.*; 5 (4): 1-10.
- Ray, A., Seaborn, G., Leffler, J., Wilde, S., Lawson, A. and Browdy, C. (2010). Characterization of the microbial communities in minimal exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture* 310: 130-138
- Reddon, R. A. and Hurd, L. P. (2013). Water pH during early development influences sex ratio and male morph in a west African cichlid fish (*Pelvicachromis pulcher*). *Zoology*. Vol. 116. Issue 3.
- Rojas, C. P. M. y Barba, J. F. T. (1992). Obtención de la temperatura óptima de incubación del pescado blanco *Chirostoma estor* del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Memorias de resúmenes del XIII Congreso Nacional de Ictiología del 24-27 de noviembre, 1992. Oaxtepec, Morelos. México. 11 pp.
- SADER. 2024. Acuicultura en México. [Acuicultura en México | Secretaría de Agricultura y](#)

- Si-luo, Xiaoqui-Xiong and Jianwei-Wang. (2015). Short-term toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to early life stages of the rare minnow (*Gobiocypris rarus*). Environmental toxicology. Vol. 35. Issue 6.
- Soria-Barreto, M., Paulo-Maya, J., Chacón, A. y Segura-García, V. (1998). Peces dulceacuícolas mexicanos XVI *Chirostoma estor* (Atheriniformes: Atherinidae). Zoología informa, (38) 33-46.
- Solórzano, P. A. (1963). Algunos aspectos biológicos del pescado blanco del lago de Pátzcuaro (*Chirostoma estor* Jordán, 1979). SIC. Dirección General de Pesca e Industrias Conexas. Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras. Pp. 1-15.
- Subcommittee on Fish Nutrition, National Research Council. (1993). Nutrient requirement of fish. Board on Agriculture. National Academy Press. Washington, D.C. 128 pp.
- Tacon, AG. (1989). Nutrición y Alimentación de Peces y Camarones Cultivados. Manual de Capacitación. Programa Cooperativo Gubernamental. FAO, Documento de campo 4, Brazil, pp. 572
- Tacon, A., Cody J., Conquest, D., Divakaran, S., Forster, P. and Decamp, E. (2002). Effect of culture system on the nutrition and growth performance of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (bonne) fed different diets. Aquac Nutr; 8: 121–137.
- UN. (2024). <https://www.un.org/es/observances/biological-diversity-day#:~:text=En%20este%202021%2C%20el%20tema,Soy%20parte%20de%2>

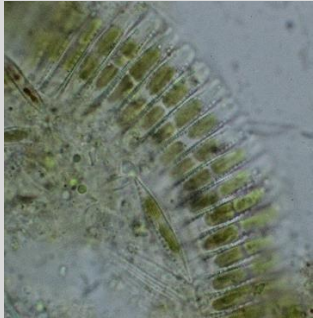

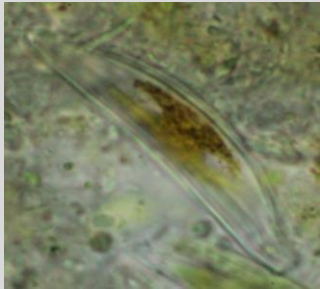
[0la%20soluci%C3%B3n%E2%80%9D.&text=Desde%20soluciones%20basada s%20en%20la,la%20cual%20podemos%20reconstruir%20mejor](#) Última consulta 18/07/2024

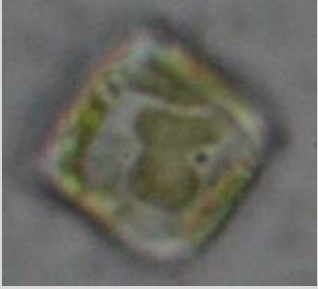
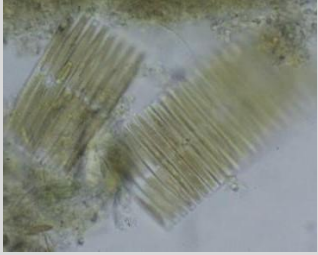


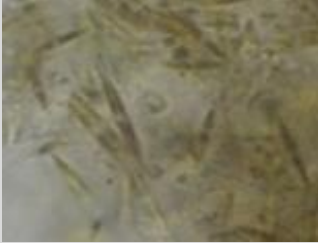
- Valdivieso-Guerrero, C. A. (2023). Modulación de la expresión génica en respuesta a la irradiación con luz UVB en peces. Tesis doctoral. Universidad de Chile.
- Wajsbrodt, N., Gasith, A., Diamant, A. M. and Popper, M. D. (1993). Chronic toxicity of ammonia to juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* and related histopathological effects. *Journal of Fish Biology*. 42, 321-328.
- Walford, J., Lim, T. M. and Lam, T. J. (1999). Replacing live foods with microencapsulated diets in the rearing of seabass (*Lates calcanifer*) larvae: do the larvae ingest and protein-membrane microcapsules?. *Aquaculture* 177: 171-199.
- Walker, L.R. (2005). Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas*. 2005/1 (URL: [http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=70&Id\\_Categoria=2&tipo=portada](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=70&Id_Categoria=2&tipo=portada))
- Watanabe, T., Kitajima, C. and Fujita S. (1983). Nutritional values of live prey organisms used in Japan for mass propagation of fish: A review. *Aquaculture* 177:171-199.
- Watanabe, T. and Kiron J. (1994). Prospects in larval fish dietetics. *Aquaculture* 124: 223-251.
- Webb, J.F. (1999). Larvae in Fish Development and Evolution. In B. K. Hall & M. Wake (eds.). *The Origin and Evolution of Larval Forms*. (109-158). Berkeley: Academic Press
- Xuan-Hui G, Teng-Hern T, Woan-Fei L, Hooi-Leng S, Kooi-Yeong K, Vengadesh L, Learn-Han L, Bey-Hing G. (2022). Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprobiotics, and postbiotics for shrimp farming. Malaysia- China. *Rev Aquac*. 00: 1–20.




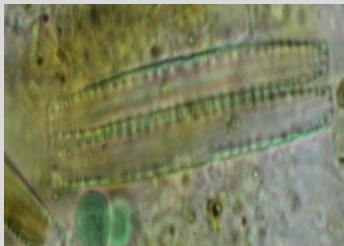
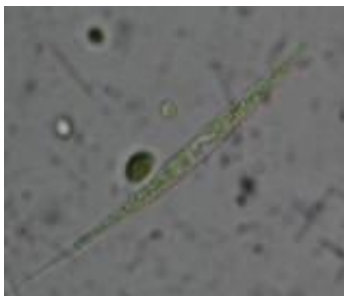
- Yufera, M., Fernández-Díaz, M. and Pascual E. (1995). Feeding rates of gild head sea bream, *Sparcus curenta*, larvae on microcapsules. Aquaculture 134: 257-268.

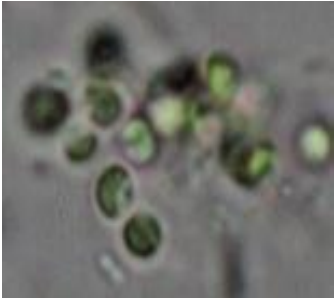
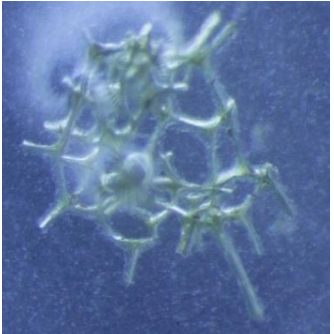

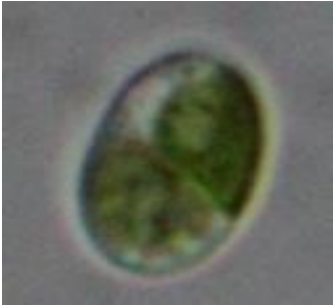

## APÉNDICE



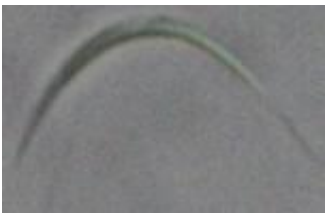
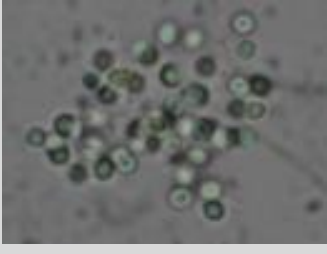

Tabla 1. Especies planctónicas identificadas en el medio decultivo TBF del fitoplancton y zooplancton.

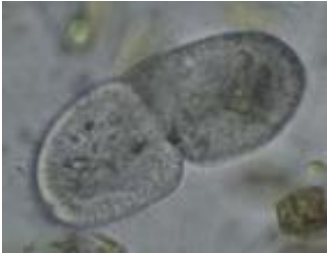
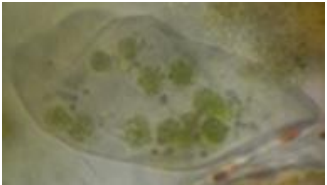




GRUPO	ESPECIES	IMÁGEN
DIATOMEAS	<i>Achnanthes sp.</i>	
	<i>Amphora sp.</i>	
	<i>Cymbella ventricosa</i>	




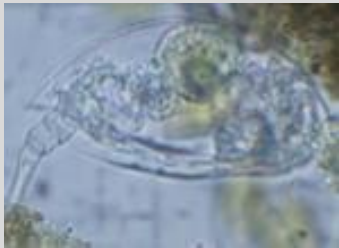

	<i>Diatoma sp.</i>	
	<i>Fragilaria sp.</i>	
	<i>Navicula rynchocephala</i>	
	<i>Navicula sp.</i>	
	<i>Nitzschia palea</i>	

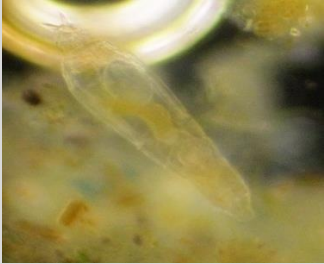
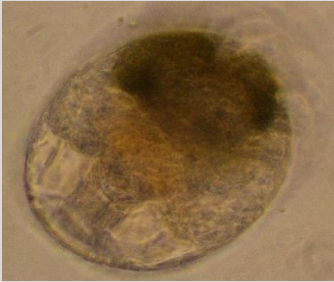

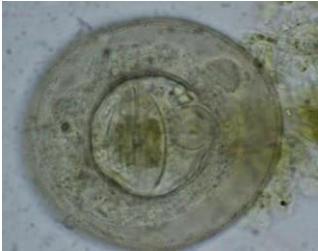
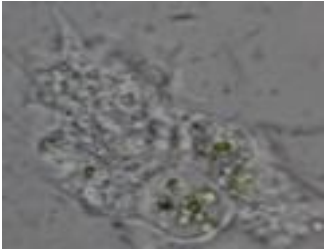
	<i>Nitzschia sp.1</i>	
	<i>Nitzschia sp.2</i>	
	<i>Surirella biseriata</i>	
	<i>Surirella sp.</i>	
	<i>Ankistrodesmus acicularis</i>	



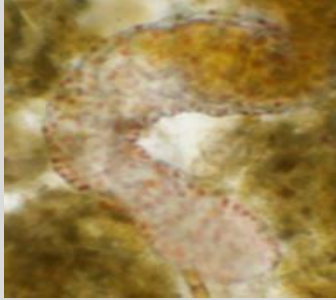


<b>CLOROFITAS</b>	<i>Chlorella sp.</i>	
	<i>Hydrodictyon reticulatum</i>	
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	
	<i>Oocystis sp.</i>	
	<i>Dactilocopsis acicularis</i>	





<p><b>CIANOFITAS</b></p>	<p><i>Oscillatoria sp.</i></p>	
<p><b>ZYGNEMATALES</b></p>	<p><i>Closterium acuiculare</i></p>	
	<p><i>Closterium acutum</i></p>	
<p><b>HETEROCONT OFITAS</b></p>	<p><i>Nannochloropsis sp.</i></p>	
	<p><i>Colpoda inflata</i></p>	

<b>CILIADOS</b>	<i>Colpoda sp.</i>	
	<i>Paramecium bursaria</i>	
	<i>Paramecium caudata</i>	
	<i>Paramecium sp.</i>	
	<i>Tetrahymena pyriformis</i>	
	<i>Uronema sp.</i>	

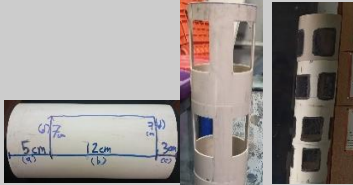
	<i>Vorticella sp.</i>	
<b>ROTÍFEROS</b>	<i>Brachionus rotundiformis</i>	
	<i>Colurella obtusa</i>	
	<i>Colurella uncinata</i>	
	<i>Rotaria sp.</i>	




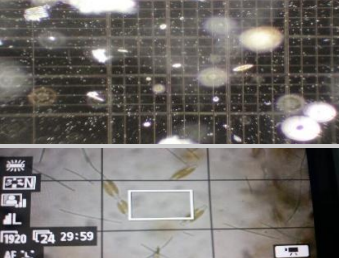
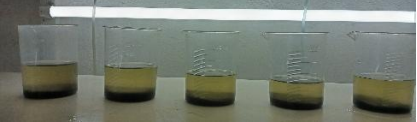
	<i>Philodinia roseola</i>	
	<i>Testudinella patina</i>	
<b>AMIBAS</b>	<i>Amoeba sp.</i>	
	<i>Arcella sp.</i>	
	<i>Metachaos sp.</i>	


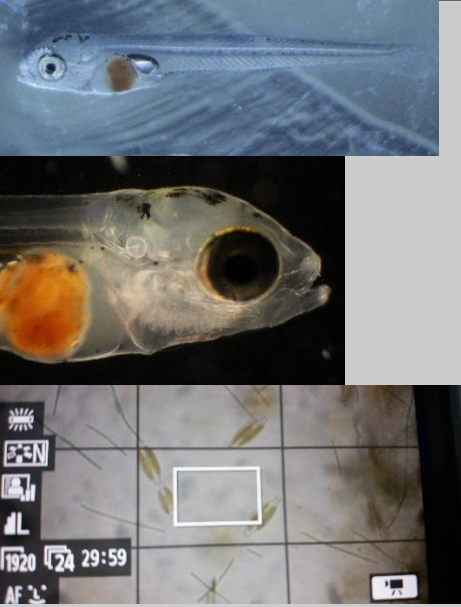
	<i>Pelomyxa sp.</i>	
	<i>Vahlkampfia sp.</i>	
<b>ANÉLIDOS</b>	<i>Aeleosoma sp.</i>	
	<i>Monhystera sp.</i>	
	<i>Nais elinguis</i>	

<b>COPÉPODOS</b>	<i>Cyclops sternuus</i>	
	<i>Mastigodiptomu</i> s sp.	
<b>ANFÍPODO</b>	<i>Hyalella azteca</i>	
<b>OSTRÁCODO</b>	<i>Cypricercus sp.</i>	

**TABLA 2. Respaldo fotográfico de la metodología**

Proceso	Equipo	Función	Observaciones
<p>A) Manufactura de las unidades experimentales:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Paso uno; Medir y cortar las aberturas de las unidades</li> <li>2. Paso dos; lijar y poner pegamento para adherir las mallas en las aberturas</li> <li>3. Paso 3 colocar solo una tapa a las unidades</li> </ol>	 <p>Paso 1   Paso 2   Paso 3</p>	<p>Contener a las larvas dentro de las unidades experimentales y mantenerlas comunicadas con el medio acuoso en el que estuvieron sumergidas.</p>	<p>El material utilizado fue PVC hidráulico de 4" cedula 40, las mallas de las aberturas tenían una luz de malla de 0.1 mm<sup>2</sup>, las bases (tapas) fueron de acrílico.</p>

experimentarles.			
B) Preparación de los sistemas biofloc a partir de un biofloc madre siguiendo el método de Quintero <i>et al.</i> , 2013.		Proveer de los recursos alimenticios (bioflóculos) y de las condiciones ambientales (físicoquímicas) a las larvas de <i>Chirostoma humboldtianum</i> .	Se utilizaron canaletas de 60L con sistema de aireación homogénea continua.
C) Incorporación de los eleuteroembriones a las unidades experimentales en cada tratamiento (ACC y TBF).		Mantener aislados a los eleuteroembriones y larvas para el conteo de individuos por cada unidad experimental, en contacto directo con el medio de cultivo a través de las aberturas cubiertas con malla de 0.1 mm <sup>2</sup> .	El tamaño de luz de malla (0.1mm), permitía el paso de los bioflóculos y el zooplancton ( <i>Artemia franciscana</i> y <i>Brachionus rotundiformis</i> ), también permeaba el medio de cultivo.
D) Medición de los parámetros físicoquímicos en el sistema biofloc, así como en el tratamiento de agua clara.  pH (potencial hidrógeno) NO <sub>2</sub> (Nitritos) NO <sub>3</sub> (Nitratos) NH <sub>4</sub> (Amonio) PO <sub>4</sub> (Fosfatos) SO <sub>4</sub> (Sulfatos) O <sub>2</sub> (Oxígeno disuelto) COT (Carbono orgánico tota) CIT (Carbono inorgánico total)		Conocer y controlar las concentraciones de los compuestos mencionados para mantener en óptimas condiciones la salud de los peces	Se utilizaron diversos equipos certificados para los análisis físicoquímicos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hach DR 2000</li> <li>• Shimadzu TOC 5000<sup>a</sup></li> <li>• pH pen AZOO</li> <li>• YSI 55</li> </ul>
E) Identificación y conteo de especies y sus abundancias a través del tiempo.		Identificar que especies de fitoplancton y zooplancton se encontraron presentes durante el bioensayo	Se utilizaron cámaras Neubauer, cajas de Petri con cuadrantes de 1mm <sup>2</sup> , 10mm <sup>2</sup> , 40mm <sup>2</sup> y de 1cm <sup>2</sup> para realizar los conteos.
F) Análisis bromatológicos de los bioflóculos del sistema TBF		Conocer el contenido nutricional y calórico en términos de proteínas, lípidos y carbohidratos presente en el tratamiento TBF	Cada semana se extrajo el sedimento de las unidades experimentales (5), se deshidrató para medir el peso seco y realizar los análisis

			<p>bromatológicos.</p>
<p>G) Mediciones, observaciones y registro de supervivencia y crecimiento absoluto de <i>C. humboldtianum</i></p>		<p>Las mediciones se realizaron con un microscopio estereoscópico Wild MR y una reglilla micrométrica Olympus para saber el crecimiento cada 3er día.</p> <p>La supervivencia se obtuvo contando directamente en cada unidad experimental</p>	

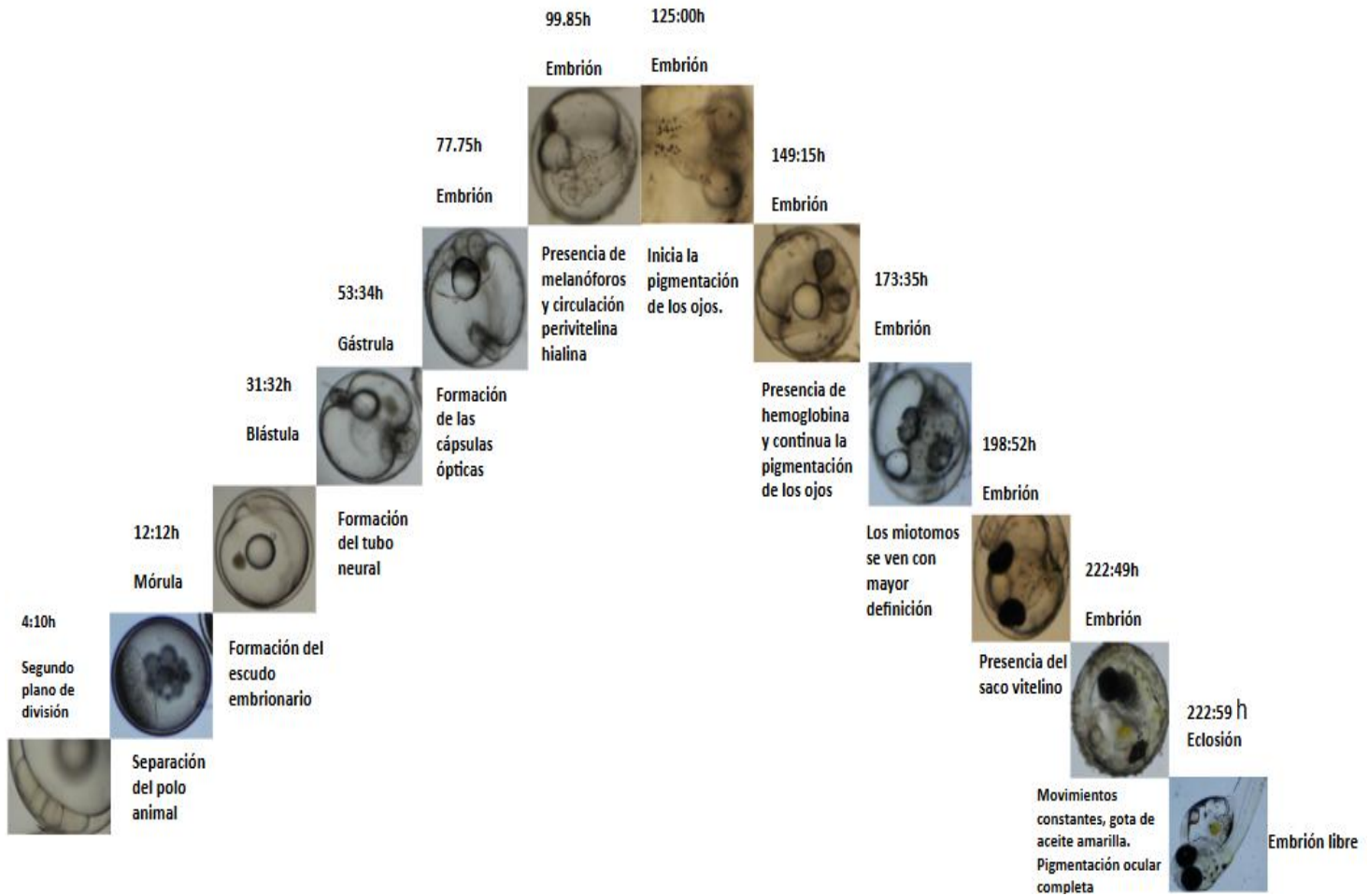


Imagen 1. Desarrollo embrionario de *Chirostoma humboldtianum* en el intervalo de 4:10h-222:59 h antes de la eclosión.

Se colectaron, separaron y contaron 25 huevos los cuales se pusieron a incubar en baño María a 20°C, con 12h de luz por 12 de obscuridad, realizando recambios del 50% del agua del contenedor (vaso de precipitados de 250ml) cada día, manteniendo la oxigenación alrededor de los 6mg/L de oxígeno disuelto y 5 ppm de salinidad con 5 réplicas, para registrar fotográficamente el desarrollo embrionario de *Chirostoma humboldtianum*.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

## ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00226

Matrícula: 2212801362

Evaluación del desarrollo temprano de *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes, 1835) en un sistema de agua clara y un sistema biofloc

En la Ciudad de México, se presentaron a las 15:00 horas del día 22 del mes de enero del año 2025 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DRA. ALMA SOCORRO SOBRINO FIGUEROA  
M. EN C. MARIA EUGENIA ZAMUDIO RESENDIZ  
DR. JESUS DAMASO BUSTAMANTE GONZALEZ  
DRA. MONICA CRISTINA RODRIGUEZ PALACIO



JOSÉ ANTONIO ROSAS HERRERA  
ALUMNO

Bajo la Presidencia de la primera y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRO EN BIOLOGÍA

DE: JOSÉ ANTONIO ROSAS HERRERA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

**APROBAR**



MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ  
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

Acto continuo, la presidenta del jurado comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.



DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBS

DR. JOSÉ LUIS GÓMEZ OLIVARES



PRESIDENTA

DRA. ALMA SOCORRO SOBRINO FIGUEROA



VOCAL

M. EN C. MARIA EUGENIA ZAMUDIO RESENDIZ



VOCAL

DR. JESUS DAMASO BUSTAMANTE GONZALEZ



SECRETARIA

DRA. MONICA CRISTINA RODRIGUEZ PALACIO