



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

**Efecto de la ración diaria sobre el
crecimiento, supervivencia y malformaciones
óseas en juveniles de pez blanco de Pátzcuaro,
en dos sistemas de cultivo**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

P R E S E N T A:

MVZ. Elias Romero Cosío

DIRECTOR

DR. Carlos Antonio Martínez Palacios

CO-DIRECTOR

DR. Carlos Cristian Martínez Chávez



Morelia, Michoacán a Agosto de 2018



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

**Efecto de la ración diaria sobre el
crecimiento, supervivencia y malformaciones
óseas en juveniles de pez blanco de Pátzcuaro,
en dos sistemas de cultivo**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

P R E S E N T A :

MVZ. Elias Romero Cosío

Comité de tutores:

Dr. Carlos Antonio Martínez Palacios

Dr. Carlos Cristian Martínez Chávez

Dra. María Gisela Ríos Durán

Dr. Jorge Fonseca Madrigal

Dra. Pamela Navarrete Ramírez



Morelia, Michoacán a Agosto de 2018

DEDICATORIAS

A MIS PADRES, ABUELA, HERMANOS Y PRIMOS QUE ME AYUDARON A SER LO QUE SOY, A MI ESPOSA QUE ME HA APOYADO Y BRINDADO CONFIANZA Y A MIS HIJOS POR SER EL MOTIVO DE CRECER AUN MAS.

A MI ABUELO RAFAEL COSSIO GUERRERO POR FORMARME Y ORIENTARME COMO UN HOMBRE RECTO, A MI ABUELA ANGELA VILLICAÑA AYALA POR DARME SU AMOR Y PROTECCION, A MI TIO EDILBERTO ROMERO VILLICAÑA POR SU APOYO, CARIÑO Y SER UNO DE MIS EJEMPLOS A SEGUIR, A MI PRIMO EDILBERTO ROMERO ESPINOZA POR APOYARME EN TODO MOMENTO Y A MI AMIGO JUAN MANUEL RUIZ MARTINEZ A QUIEN LE ESTARE AGRADECIDO SIEMPRE.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos Antonio Martínez Palacios por ser la persona que me transmitió el gusto por la acuicultura, además de brindarme su tiempo, conocimientos y consejos.

Al Dr. Carlos Cristian Martínez Chávez por ser la persona que más me apoyo y ayudo en mi proyecto desde el inicio hasta el final.

A la Dra. María Gisela Ríos Durán, por apoyarme en el desarrollo de los análisis de mi proyecto y por la revisión a mi tesis.

Al Dr. Jorge Fonseca Madrigal por ser la persona que me alentó y acerco al Instituto para estudiar la maestría en Producción Agropecuaria y por sus consejos.

Al Dr. Luis David Solís Murgas, por ayudarme en mí proceso de investigación, sin importar la distancia en la que se encuentra

Al Biol. Jesús López García por ser mi amigo y ofrecerme siempre su ayuda y experiencia, sin la cual no habría podido terminar mi maestría.

Al MC. Lázaro Cruz Aguilar por guiarme a lo largo de la maestría y ayudarme cuando lo necesite.

A la Dra. Pamela Navarrete Ramírez por su ayuda y actitud, las cuales fueron de gran importancia, en el transcurso de mi maestría.

Al Dr. Samuel Pineda Guillermo por su gran apoyo en mi proceso de titulación.

A MC. Ruy Ortiz Rodríguez por apoyarme siempre que lo necesite desde mi licenciatura hasta hoy en día.

A todos mis maestros de maestría quienes dedicaron tiempo y esfuerzo para ayudar a superarme profesionalmente.

A Rafael Medina Martínez por su calidez, sencillez y espíritu de ayuda.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	7
3. HIPÓTESIS	7
4. OBJETIVO GENERAL	7
5. OBJETIVOS PARTICULARES	8
6. MATERIALES Y MÉTODOS	8
6.1 Diseño experimental	8
6.2 Establecimiento de la tasa de alimentación de cada tratamiento	9
6.3 Estrategia de alimentación y mantenimiento a lo largo del experimento	10
6.4 Muestreo experimental	11
6.5 Cálculo de parámetros productivos	11
6.6 Análisis radiográficos	12
6.7 Análisis estadísticos	13
7. RESULTADOS	13
7.1 Deformidades	22
7.2 Evaluación radiográfica	23
8. DISCUSIÓN	27
9. CONCLUSIONES	36
10. BIBLIOGRAFIA	37

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Modelo de crecimiento indeterminado típico en peces	3
FIGURA 2. Primer cálculo de tasa de alimentación (días 3, 4 y 5)	14
FIGURA 3. Segundo cálculo de tasa de alimentación (días 22 y 23)	14
FIGURA 4. Tercer cálculo de tasa de alimentación (días 37 y 38)	15
FIGURA 5. Crecimiento en peso de los juveniles sometidos a los distintos tratamiento en el experimento	16
FIGURA 6. Crecimiento en longitud de los juveniles sometidos a los distintos tratamiento en el experimento	17
FIGURA 7. Factor de condición de los juveniles sometidos a los distintos tratamiento en el experimento	18
FIGURA 8. Dispersión de pesos de los juveniles sometidos al tratamiento de Sacidad T	20
FIGURA 9. Dispersión de pesos de los juveniles sometidos al tratamiento de $\frac{1}{2}$ Sacidad T	20
FIGURA 10. Dispersión de pesos de los juveniles sometidos al tratamiento de $\frac{1}{4}$ Sacidad T	21
FIGURA 11. Dispersión de pesos de los juveniles sometidos al tratamiento de Sacidad C	21
FIGURA 12. Supervivencia por tratamiento en el experimento	22
FIGURA 13. Imágenes radiográficas de juveniles de <i>C. estor</i> sometidos a dos distintos tipos de estudios radiográficos	24
FIGURA 14. Categorización de los distintos signos radiográficos encontrados en el estudio al día 55	24
FIGURA 15. Prevalencia de signos de anomalías óseas en los juveniles sometidos a los distintos tratamientos	25
FIGURA 16. Representación de los puntos de incidencia encontrados en juveniles de <i>C. estor</i>	26

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Parámetros físico-químicos del agua promedio durante el experimento...	9
TABLA 2. Tasa de alimentación representada en porcentaje de peso corporal en los distintos tratamientos utilizados durante el experimento	15
TABLA 3. Parámetros productivos de los distintos tratamientos del experimento...	19
TABLA 4. Porcentaje de malformaciones aparentes y diagnosticadas mediante estudios radiográficos, por tratamiento	23
TABLA 5. Comparación de los puntos de incidencia (regiones vertebrales) y numero de vertebras reportadas en distintas especies y el presente estudio en <i>C. estor</i>	26

RESUMEN

RESUMEN

El cultivo de pez blanco del lago de Pátzcuaro (*Chirostoma estor*) actualmente se encuentra en una fase piloto, por lo que aún hay puntos importantes a establecer en su zootecnia. Un problema importante es el lento crecimiento en los juveniles y una posterior aparición de deformidades al transcurrir el ciclo productivo. El presente trabajo se enfocó en evaluar el efecto de la tasa de alimentación y tipo de tanque sobre estos fenómenos. Se utilizaron 1200 organismos de tres meses de edad, distribuidos en nueve tanques circulares (8,482 L c/u) y tres canaletas (163 L c/u). Estos organismos se sometieron a tres tratamientos con diferentes tasas de alimentación (saciedad, $\frac{1}{2}$ saciedad y $\frac{1}{4}$ saciedad) y a dos tratamientos con diferentes de tipos de tanque (tanques circulares y canaletas). Durante el periodo experimental se realizaron biometrías a los peces en tres puntos distintos de tiempo y exámenes radiográficos con la finalidad de evaluar el efecto de los distintos tratamientos sobre el crecimiento y la aparición de deformidades. Los grupos de peces alimentados a saciedad y $\frac{1}{2}$ saciedad en tanques circulares, mostraron un mayor crecimiento (peso/longitud) siendo estadísticamente iguales ($p < 0.05$), a la fecha esta tasa de crecimiento ha sido la mayor encontrada para *C. estor* en esta etapa de crecimiento. Por el contrario el grupo de saciedad en canaletas mostró los pesos y longitudes más bajas y la menor supervivencia del experimento. No se encontró un efecto de la tasa de alimentación ni el tipo de tanque sobre la aparición de deformidades. Sin embargo se observó una baja mineralización el grupo de peces alimentados a $\frac{1}{4}$ de saciedad, posiblemente por un bajo suministro de micronutrientes debido a la cantidad de la ración. Finalmente se observó un patrón, en las vértebras afectadas de los organismos sometidos a estudios radiográficos, el cual se ha encontrado en otros estudios con distintas especies de peces. Esta información abona en el conocimiento del manejo adecuado de *C. estor* para lograr tasas de conversión más altas durante la engorda de esta especie emergente.

Palabras clave: pez blanco, tasa de alimentación, deformidades, crecimiento exponencial, radiografías.

ABSTRACT

The culture development of pike silverside (*Chirostoma estor*) is presently at a pilot scale and several important zootechnical aspects are still being developed. An identified problem is its apparent slow growth and the occurrence of deformities in grow-out stages. The present work evaluated the feeding rate and tank type over these phenomena. For this, 1200 three month *C. estor* juveniles were evenly distributed in 9 circular tanks (8,482 L) and 3 half-pipe raceways (163 L). The organisms were subjected o three different feeding ratio treatments (apparent satiety, $\frac{1}{2}$ apparent satiety, and $\frac{1}{4}$ apparent satiety) and two type of tank treatments (circular tanks vs half-pipe raceways).

Three biometric and X-ray sampling points were done across r the duration of the experiment in order to evaluate growth and asses the rate of deformities. Fish fed to apparent satiety and $\frac{1}{2}$ apparent satiety showed the highest growth (mass/length) with no significant differences ($p < 0.05$). To date, these growth rates are the best obtained for *C. estor* during this grow-out stage. On the contrary, the apparent satiety group in halfpipe raceways presented the lower growth and survival rates. There was no effect of the feeding rate or tank type on the deformity prevalence. However, evidence of suboptimal mineralization was found in the $\frac{1}{4}$ apparent satiety treatment arguably by the limited amount of micronutrients offered in this group. Finally, a pattern of affected vertebrae from analyzed individuals emerged which concurs with evidence from other species with suboptimal feeding and/or dietary constraints. This information provides knowledge on the husbandry of *C. estor* in order to attain higher growth rates in the farming of this emergent aquaculture species.

Key words: white fish, feeding rate, deformities, exponential growth, radiographs.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más grandes que deberá enfrentar la humanidad en los próximos años, es el aumento de la población mundial. Se estima que en la actualidad, el planeta tiene unos 7 billones de habitantes, mientras que en 2030 podría llegar a los 8,3 billones y en 2050 se deberían alcanzar los 9 billones (Béné *et. al*, 2015). El principal problema que trae consigo este fenómeno será lograr alimentar a esta creciente población (FAO, 2014, Grafton *et al.*, 2015). También es importante determinar el tipo y la calidad de alimentos que se ofrecerá en un futuro, puesto que se ha relacionado directamente la buena nutrición de una población con la estabilización en el número de habitantes (Figuroa y Rodríguez-García, 2002).

Uno de los alimentos, que se espera sea parte de la dieta cotidiana futura es el pescado, puesto que contiene numerosos nutrientes y micronutrientes que no suelen estar presentes en las dietas occidentales y en particular, en las de la población más marginada. Sin embargo, el reto es cómo satisfacer el aumento en la demanda de pescado, cuando la actividad pesquera se encuentra a su máxima capacidad y por lo tanto los desembarques pesqueros mundiales han ido a la baja (HLPE, 2014; Naylor *et al.*, 2001; Duarte *et al.*, 2009). Esto ha acelerado el cultivo de peces y organismos acuáticos, sin embargo los cultivos comerciales actuales compiten con la alimentación humana. Este problema se basa principalmente en que la mayoría de las especies cultivadas son de hábitos carnívoros y requieren de la pesca de especies silvestres para ser alimentadas. Por lo tanto se crea una insostenibilidad en la acuicultura que deberá modificarse, disminuyendo el nivel trófico de las especies cultivadas; entendiendo por nivel trófico de una especie a su posición relativa en la cadena alimenticia (Naylor *et al.*, 2001; Duarte *et al.*, 2009; Tacon *et al.*, 2010). Surge entonces la necesidad de encontrar nuevas especies de peces con potencial de cultivo, las cuales cumplan con ciertas características deseadas por la acuicultura del futuro: especies locales o regionales, de baja posición en la cadena trófica, con adecuadas tasas de conversión alimenticia, fácil aceptación del alimento balanceado, buena calidad gastronómica, resistencia a las

enfermedades, facilidad de reproducción en el cautiverio, maduración temprana, alta fecundidad, tolerancia a una amplia gama de parámetros ambientales y crecimiento rápido (FAO, 1978, 2016, 2012).

Uno de los principales enfoques de la industria acuícola actual, es obtener crecimientos rápidos en la producción, mejorando así la rentabilidad de la misma, pero sin afectar la calidad del producto final. Se han utilizado distintas aproximaciones biotecnológicas para lograr este objetivo desde buscar dietas alternativas para remplazar la proteína y el aceite de pescado (harinas vegetales, harinas de insectos, etc.), implementación de diferentes tipos de cultivo (extensivo, semi-intensivo e intensivo), utilización de herramientas como el manejo del fotoperiodo, hasta transgénesis y triploidía (Le Boucher *et al.*, 2011, Menyo *et al.*, 2011, Tran *et al.*, 2015, Sprague *et al.*, 2016, Hansen *et al.*, 2017, Taranger *et al.*, 2010, Solimano *et al.*, 2015). Desde un punto de vista fisiológico, el crecimiento de los organismos comprende dos importantes procesos; anabolismo (construcción de macromoléculas y tejido) y el catabolismo (descomposición de macromoléculas), los cuales en conjunto son comúnmente denominados metabolismo. El equilibrio entre el anabolismo y el catabolismo, se puede manifestar por aumento, mantenimiento o disminución de la masa que conforma el organismo, y se le denomina “signo de crecimiento”. Los peces, a diferencia de otros organismos, presentan un tipo de crecimiento denominado “crecimiento indeterminado” lo cual significa que el organismo sigue creciendo durante toda su vida. Este crecimiento se caracteriza por un periodo de rápido crecimiento y un descenso de éste durante la madurez sexual (Enberg *et al.*, 2008, Torres, 2002). La **figura 1** representa un modelo típico de crecimiento indeterminado en un pez.

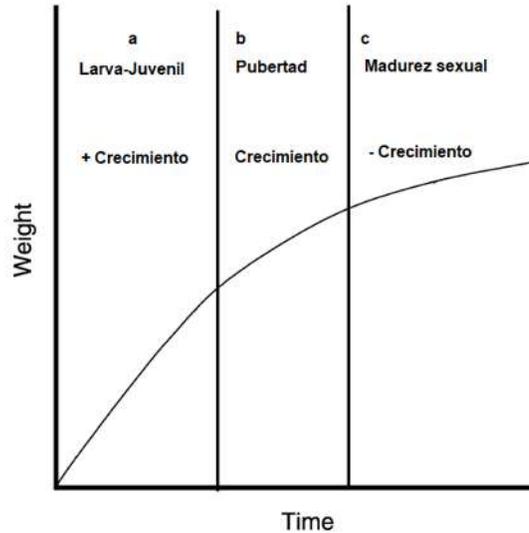


Figura 1. Modelo de crecimiento indeterminado típico donde se aprecia una etapa de crecimiento exponencial en el periodo de larva a juvenil (a), una reducción del crecimiento al llegar a la pubertad (b) y un menor crecimiento durante la madurez sexual (c). Modificado de Ali *et al.*, 2003.

En la actualidad la industria acuícola, comienza a contemplar un mayor número de variables que puedan optimizar el crecimiento de los peces para generar mejores rendimientos en una explotación. Por ejemplo, uno de los aspectos que han tomado relevancia es el bienestar de los organismos en cultivo. Esta orientación más integral toma en cuenta no solo la salud de los peces, sino también aspectos de ética profesional que al final se refleja directamente en la rentabilidad de la explotación (Braithwaite y Boulcott, 2007). Como se ha mencionado el bienestar de los organismos en producción tiene un impacto positivo en el desempeño productivo en términos de crecimiento “peso-longitud”. Una manera de interpretar esta relación peso-longitud es a través de una tasa conocida como factor de condición (FC), la cual nos da información sobre el desarrollo y bienestar de los peces (Ashley, 2006, Cifuentes *et al.*, 2012).

Además, entre los muchos otros factores que afectan el bienestar de los peces se encuentra la alimentación y todo lo que esta engloba, como el tipo y las características del alimento, así como su calidad, el manejo que se le da a éste y la forma de administrarlo a los organismos (Trichet, 2010, Li *et al.*, 2017). La cantidad de alimento ofrecida en un lapso de tiempo determinado, definida como “tasa de

alimentación” y la frecuencia de alimentación son aspectos muy importantes en los peces, puesto que repercuten directamente en su desempeño y además pueden afectar la calidad de los parámetros del agua en el cultivo (Cho, 2003). Ambos parámetros varían según la especie cultivada, su biología, hábitos de alimentación, la edad y el tipo de explotación al que los peces son sometidos. Se estima que la alimentación de una explotación animal comprende, entre un 70% y un 80% del total de gastos (Li *et al.*, 2017). Por lo anterior, es importante determinar la tasa óptima de alimentación para las especies emergentes en los diferentes estadios de cultivo, para así optimizar la producción (Cho, 2003, Mihelakakis, 2002, Li *et al.*, 2017).

Prácticas subóptimas de alimentación resultan en efectos negativos en la producción, como baja supervivencia, bajos pesos en el producto final, aparición de enfermedades y prevalencia de deformidades, entre otras (Izquierdo *et al.*, 2010). Estas últimas, disminuyen el valor del producto en el mercado, debido al poco atractivo estético para el consumidor, aunado a un bajo desempeño en su crecimiento durante su cultivo (Alarape, 2015). Por lo tanto, el estudio del impacto que generan las deformidades en la acuicultura y sus causas; están tomando mayor interés.

Para estudiar y diagnosticar este tipo de anomalías morfológicas, es necesario recurrir a estudios especializados para su identificación y análisis; prescindir de estos puede conllevar a una mala panorámica de lo que ocurre en una explotación (Fjellidal *et al.*, 2009). En vertebrados superiores el diagnóstico radiográfico es el método más utilizado y eficiente para la evaluación de tejidos internos en un organismo. Este tipo de estudios tienen como ventaja que no son invasivos ni necesariamente letales. Sin embargo, en vertebrados menores como los peces teleósteos, tanto la radiografía convencional como otros tipos de estudios por imagenología se complican, debido a la baja densidad ósea de estos organismos y a su difícil posicionamiento en los aparatos de diagnóstico, comúnmente no diseñados para este grupo de vertebrados. Lo anterior conlleva a diseñar técnicas de diagnóstico por imagenología para estas especies, que ofrezcan claridad, precisión y sean accesibles para su utilización (Argüello-Guevara *et al.*, 2014, Dhert

et al, 1998, Georgakopoulou *et al.*, 2007, Fraser y Nys, 2005, Morel *et al.*, 2010, Wildgoose 2003, Maclean, 2013).

Un ejemplo de la relevancia actual de la repercusión de las deformidades en acuicultura se encuentra en la industria del salmón, donde hasta un 70% de la producción presenta algún grado de deformidad y hasta el 4% de ésta es desechada por la severidad de estas afecciones (Fjellidal *et al.*, 2012). Un caso más extremo es el de la Lubina europea *Dicentrarchus labrax*, la cual presenta hasta un 90% de prevalencia de deformidades en cultivo (Barahona-Fernandes, 1981). Estas deformidades son afecciones de etiología multifactorial, incluso existen estudios donde se relaciona directamente su aparición con aspectos de deficiencias nutricionales en larvas y juveniles de ciertas especies de peces (Boglione, *et al.*, 2013).

Está comprobado que ciertos nutrientes tienen vital importancia en las primeras etapas de vida de los peces, y su restricción en la dieta conlleva a la aparición de deformidades durante estas o en futuras etapas (Lall y Lewis-McCrea, 2007). Existen estudios basados en aumentar las cantidades de ciertos nutrientes en la dieta de los animales para disminuir la incidencia de estas afecciones; por ejemplo, en juveniles diploides y triploides de salmón del Atlántico, se observó un descenso en las deformidades al aumentar el fósforo en la dieta (Smedley *et al*, 2016). En otro estudio con larvas de Trompeta rayada *Latris lineata*, se redujo el porcentaje y severidad de malformaciones de la columna vertebral, al ofrecer rotíferos enriquecidos con vitamina A en su dieta (Negm *et al.*, 2013). También se ha demostrado que altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados, específicamente DHA (> 1.2 %) en la dieta de reproductores de pez cebra, aumentan la calidad del huevo y de las larvas disminuyendo la incidencia de deformidades (Nowosad *et al.*, 2017).

Si bien se ha observado y estudiado la aparición de deformidades de la columna vertebral en distintas especies, en general lo comúnmente encontrado son: las compactaciones de cuerpos vertebrales y/o espacios intervertebrales (platispondilia), las fusiones vertebrales (anquilosis) y las curvaturas de la línea

(lordosis y escoliosis) (Perrot *et al.*, 2016). Otros hallazgos relevantes, encontrados en radiografías son las densidades de las estructuras óseas en los peces, lo que nos da idea de la mineralización del organismo (Smedley *et al.*, 2016).

Como se mencionó anteriormente, existe la necesidad de encontrar especies nuevas de cultivo, que ayuden a diversificar la acuicultura y cubrir las necesidades alimenticias de la población. Una especie con gran potencial de cultivo, la cual puede ocupar un lugar importante dentro de la acuicultura del futuro en México es el pez blanco del lago de Pátzcuaro (Martínez-Chávez *et al.* 2018). Este es un pez de agua dulce perteneciente a la familia *Atherinopsidae*. Es considerado un consumidor secundario por ser una especie que se alimenta principalmente de zooplancton (Vital-Rodríguez *et al.*, 2017). Es un pez de cardumen y presenta características únicas para la acuicultura como su anatomía digestiva y sus altos niveles de omega 3 (DHA) en su carne (Fonseca-Madrighal *et al.*, 2012). Estas características descritas en la especie, la califican como una excelente opción para su adopción como especie de cultivo comercial para el consumo humano, según el listado de la FAO.

En la actualidad se tienen grandes avances sobre su zootecnia, contando ya con un ciclo productivo completo piloto. Este ciclo productivo comprende desde la obtención de huevos, la eclosión de las larvas, la transición de larvas a juveniles, el crecimiento de juveniles a adultos, hasta la generación de nuevos reproductores. Sin embargo, no se ha podido dar el salto a un cultivo comercial, debido a la falta de información en las distintas etapas de la producción. Uno de los aspectos sin resolver se encuentra en la etapa de juveniles, en donde se desconocen las correctas prácticas de alimentación (tasa y frecuencia de alimentación), siendo éstas un punto clave para el desarrollo de los peces y la rentabilidad de la explotación. Es también una incógnita el efecto del tipo de tanques utilizados actualmente en su producción, puesto que se han observado altos porcentajes de aparición de deformidades al trasladar los juveniles de canaletas de crecimiento (163 L) a tanques de engorda (8,482 L) (Martínez-Palacios *et al.*, 2003, Martínez-Palacios, *et al.*, 2006, Fonseca-Madrighal *et al.*, 2012, López-García com. pers.).

Por lo anterior el presente estudio se enfocó en evaluar el efecto de la tasa de alimentación (ración diaria) y el tipo de tanque sobre el crecimiento e incidencia de deformidades en el cultivo de pez blanco de Pátzcuaro, en la etapa correspondiente al traslado de los juveniles de 3 meses de edad de canaletas de crecimiento a tanques de engorda, en la planta piloto del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) de la UMSNH.

2. JUSTIFICACIÓN

La planta piloto productora de pez blanco de la UMSNH ha presentado problemas de retraso en el crecimiento cuando los peces son mantenidos en canaletas 163 L, así como una subsecuente aparición de deformidades al transferirlos a tanques 8,482 L de capacidad. En el presente estudio se evaluó el efecto de la tasa de alimentación y el tipo de tanque sobre estos fenómenos en juveniles de 3 meses de edad. Esta información abona importante conocimiento sobre el manejo adecuado de técnicas de alimentación en esta especie y lo tipos de tanques más adecuados para esta etapa de mayor crecimiento. Lo anterior aportará información valiosa para el desarrollo del cultivo comercial de esta especie.

3. HIPÓTESIS

La tasa de alimentación y el tipo de tanque influyen significativamente en el crecimiento, supervivencia e incidencia de deformidades en los juveniles de pez blanco de Pátzcuaro.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la tasa de alimentación y dos tipos de tanques sobre el crecimiento, factor de condición, supervivencia y deformidades en los juveniles de pez blanco.

5. OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar el efecto de tres tasas de alimentación (saciedad, $\frac{1}{2}$ saciedad y $\frac{1}{4}$ saciedad) en tanques circulares y una cuarta tasa de alimentación (peces alimentados a saciedad) en canaletas, en el crecimiento y supervivencia de juveniles de tres meses de edad de C. estor.
- Establecer una técnica radiográfica para evaluar el tipo y porcentaje de deformidades en peces juveniles durante la fase estudiada.
- Determinar los principales tipos de deformidades observadas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Diseño experimental

Para este trabajo se utilizaron 1200 juveniles de pez blanco de Pátzcuaro, de tres meses de edad, provenientes de canaletas de crecimiento de 163 L, de la planta productora de pez blanco del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), de la UMSNH. El experimento tuvo una duración de 55 días (8/4/2017- 2/6/2017), en el cual se mantuvieron los parámetros físico-químicos del agua dentro de los límites recomendados para la especie (Martínez-Palacios *et al.*, 2002) (**Tabla 1**).

Tabla 1. Parámetros físico-químicos del agua promedio durante el experimento

Parámetro	Valor
Temperatura	23.6 °C
pH	7.6
Amonio	0.001
Nitritos	0.001
O ₂	6.8

El sistema experimental contó con nueve tanques circulares de 8,482 L y tres canaletas de 163 L. Se montaron tres sistemas de recirculación de agua para los nueve tanques circulares, cada uno de estos conformado por tres tanques y un último sistema de recirculación para las tres canaletas.

Los 1200 organismos se distribuyeron al azar en los nueve tanques circulares y las tres canaletas, designando un número de 100 peces por tanque o canaleta. En total se evaluaron tres tratamientos de tasa de alimentación designados al azar, con excepción de las canaletas, puesto que estas se sometieron directamente a alimentación a saciedad.

Los tratamientos fueron denominados de la siguiente manera:

Saciedad T= Saciedad aparente en Tanques circulares de 8,482 L.

$\frac{1}{2}$ **Saciedad T**= $\frac{1}{2}$ Saciedad aparente en Tanques circulares de 8,482 L.

$\frac{1}{4}$ **Saciedad T**= $\frac{1}{4}$ Saciedad aparente en Tanques circulares de 8,482 L.

Saciedad C= Saciedad aparente en Canaletas de 163 L.

6.2 Establecimiento de la tasa de alimentación de cada tratamiento

Los peces pertenecientes al grupo de Saciedad C, fueron sometidos a alimentación a saciedad aparente. Las tasas de alimentación para los grupos de $\frac{1}{2}$ Saciedad T y $\frac{1}{4}$ Saciedad T estaban directamente calculadas a partir del consumo de alimento del grupo de Saciedad T, por lo que fue necesario medir en primera instancia la

cantidad de alimento ingerido en este tratamiento para establecer la ración para los otros dos grupos.

Este cálculo de cantidad de alimento consumido (saciedad aparente) se realizó en tres periodos de tiempo a lo largo del experimento (**primero, días:** 1, 2, 3, 4 y 5, **segundo, días:** 22 y 23, y **tercero, días:** 37 y 38) con la finalidad de ir actualizando el consumo de los organismos conforme su crecimiento lo demandara. En los días de cálculo de tasa alimenticia, se alimentó manualmente a saciedad aparente a los peces de los tratamientos de Saciedad T y Saciedad C, con una frecuencia alimenticia de ocho veces en un periodo de doce horas (8:00 am – 8:00 pm), registrando el peso del alimento consumido. El tratamiento de $\frac{1}{2}$ Saciedad T recibió la mitad de la cantidad promediada de alimento consumido por las tres réplicas del tratamiento de Saciedad T, en un periodo de doce horas (8:00 am – 8:00 pm) y a su vez el tratamiento de $\frac{1}{4}$ Saciedad T recibió la mitad de esta cantidad, en un periodo de doce horas (8:00 am – 8:00 pm). Al finalizar los periodos de determinación de tasa alimenticia se calculó un promedio del consumo de alimento de los días registrados, estableciendo una cantidad fija para los periodos intermedios.

6.3 Estrategia de alimentación y mantenimiento a lo largo del experimento

En estos periodos intermedios, donde ya se tenía un promedio del consumo por tratamiento; se alimentaba con esta tasa fija de alimentación ocho veces al día (frecuencia de alimentación) durante doce horas, cuatro de estas alimentaciones se ofrecían manualmente y cuatro de manera mecánica mediante 21 alimentadores automáticos (boyu, zw-82) distribuidos en los tanques (dos por tanque circular y uno por canaleta).

Con la finalidad de mantener parámetros de calidad de agua adecuados, cada tercer día se realizaba limpieza de sedimentos y recambio de agua (1/3 del total de agua). Diariamente se registraba la mortalidad y se retiraba a los organismos muertos de los tanques.

6.4 Muestreo experimental

Se realizaron tres muestreos durante el experimento el cual tuvo una duración de 55 días, los días 0, 41 y 55. En el día 0 se colectaron 40 peces al azar, de los 1200 organismos, de los cuales se registró la longitud estándar y el peso en promedio por biomasa, estos organismos se sacrificaron por choque térmico y fueron sometidos a exámenes radiográficos. En el día 41 se colectaron 10 peces por tanque y canaleta; registrando su peso y su longitud estándar individual, se sacrificaron y se llevaron a exámenes radiográficos. En el día 55 se realizó biometría de todos los organismos del experimento, registrando su longitud estándar, su peso individual y se tomaron 10 peces por tratamiento para exámenes radiográficos. Se tomaron dos criterios para evaluar malformaciones en los peces el primero fue identificar a los organismos afectados mediante observación a simple vista, para lo cual se tomaron todos los organismos que sobrevivieron al final, a lo cual se denominó “malformaciones aparentes”. El segundo criterio se tomó mediante la utilización de estudios radiográficos.

6.5 Cálculo de parámetros productivos

Con la finalidad de evaluar el efecto sobre el crecimiento que ejercieron las distintas tasas de alimentación y los dos tipos de tanques utilizados en el experimento; se obtuvieron los parámetros productivos (Factor de condición, total de alimento consumido (mg), tasa de conversión alimenticia, promedio peso individual día 0 (mg), promedio peso individual día 55 (mg), peso ganado individual (mg), peso ganado individual al día (mg), peso ganado en % y tasa específica de crecimiento (%/día)) a partir de la información recopilada durante las biometrías, utilizando las siguientes formulas:

- Factor de condición (FC): $FC = \left(\frac{W}{L^3}\right) \times 100$
- Total de alimento consumido (mg): Total del alimento consumido en el registro.

- Tasa de conversión alimenticia: $TCA = \left(\frac{\text{Total de alimento consumido}}{\text{Peso ganado}} \right)$
- Promedio peso individual día 0 (mg): Promedio del peso de 40 organismos elegidos al azar (biomasa).
- Promedio peso individual día 55 (mg): Promedio del peso de los organismos pertenecientes a cada tratamiento.
- Peso ganado individual (mg): Promedio peso individual día 55 (mg) - Promedio peso individual día 0.
- Peso ganado individual al día (mg): $PGI/día = \left(\frac{\text{Peso ganada individual}}{\text{días del experimento}} \right)$
- Peso ganado en %: $PG\% = \left(\frac{\text{Peso ganada individual día 55} - \text{Peso ganada individual día 0}}{\text{Peso ganada individual día 0}} \right)$
- Tasa específica de crecimiento (%/día): $PG\% = \left(\frac{100((LN(\text{Peso ganada individual día 55}) - LN(\text{Peso individual día 0}))}{\text{Días del experimento}} \right)$

6.6 Análisis radiográficos

Al no existir en la literatura una técnica radiográfica establecida para peces de talla pequeña se probaron dos métodos radiográficos distintos. El primero se realizó en la Clínica Veterinaria para Perros y Gatos de la FMVZ de la UMSNH, utilizando una máquina de rayos x (DRGEM, VXR-32) y un digitalizador (CARESTREAM Vita Flex CR). Al no conseguir imágenes claras a pesar de utilizar distintas calibraciones (**Figura 13**), se optó por utilizar un aparato con mayor sensibilidad, por lo tanto se acudió al Centro Diagnostico Unión en la ciudad de Morelia Michoacán, donde se solicitó el uso de un mastógrafo (Siemens mammomat 3000). Los peces se agruparon por tratamientos, colocando en una placa los diez organismos de cada replica. Se usó una técnica radiográfica de 23 kV a 3 mA por segundo, obteniendo imágenes suficientemente claras para su interpretación.

6.7 Análisis estadísticos

Se analizaron los datos obtenidos para evaluar si cumplían con la homogeneidad y homocedasticidad de varianza. Los datos no cumplieron con estos parámetros por lo que los valores obtenidos de ganancia de peso, longitud y factor de condición se sometieron a una prueba de Kruskal-Wallis y para encontrar diferencia entre tratamientos se utilizó el método Dunn's con una ($p < 0.05$).

Los datos productivos (**Tabla 3**) fueron evaluados mediante un análisis de varianza ANOVA, y posteriormente se sometieron a una prueba de Tukey para encontrar diferencias con una $p < 0.001$.

7. RESULTADOS

Debido a la alta mortalidad que presentó el tratamiento Sacidad C, se decidió acortar el tiempo del experimento de 90 días a 55 días, con la finalidad de obtener el mayor número de datos posibles en este tratamiento.

Se registró el consumo de alimento a lo largo del día, durante los periodos de cálculo de ración en los tratamientos de sacidad aparente (**Sacidad T y Sacidad C**) (**Figuras 2, 3 y 4**). La **Figura 2** corresponde al consumo diario promedio por organismos en los primeros 5 días del experimento en donde, se observan tendencias similares en ambos tratamientos. Durante el segundo cálculo de tasa alimenticia realizado en los días 23 y 24 del experimento, se puede observar una estabilización de las cantidades de alimento demandadas (a sacidad), las cuales hasta este punto, se comportaban de manera muy similar en ambos tratamientos de sacidad aparente (**Sacidad T y Sacidad C**) (**Figura 3**). En el último punto de evaluación de tasa alimenticia correspondiente a los días 37 y 38 en el experimento, representado en la **Figura 4**, se observó una diferencia considerable en el consumo de alimento, demandado entre ambos tratamientos. Además se puede observar un consumo mayor de alimento en el tratamiento Sacidad T en las primeras horas el cual descendía paulatinamente conforme transcurría el día.

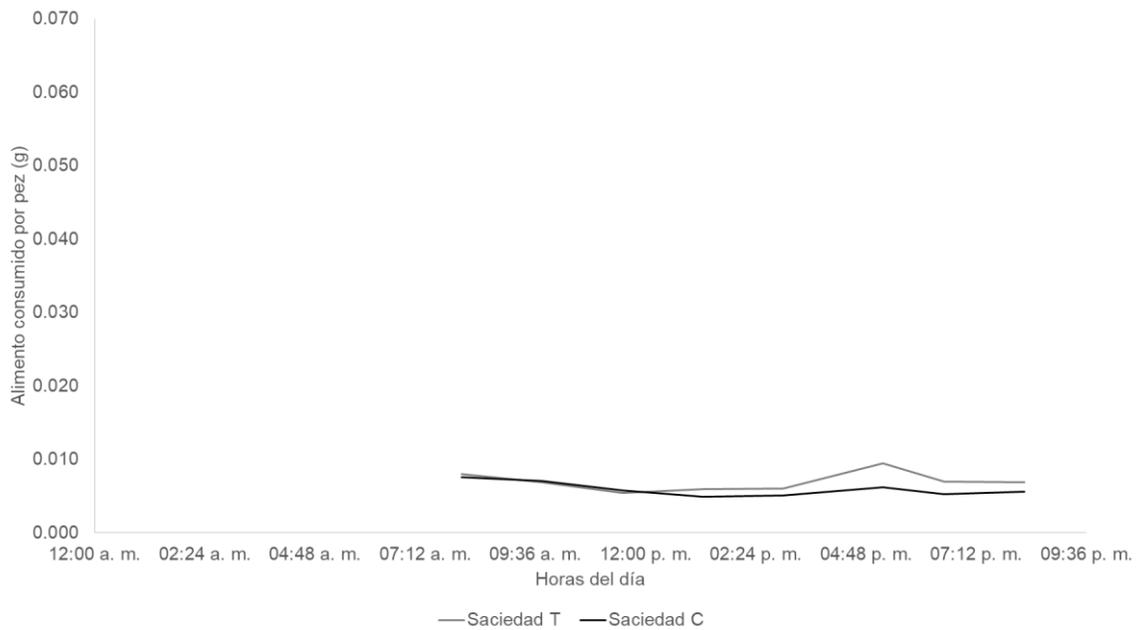


Figura 2. Primer cálculo de tasa de alimentación correspondiente a los días 3, 4 y 5.

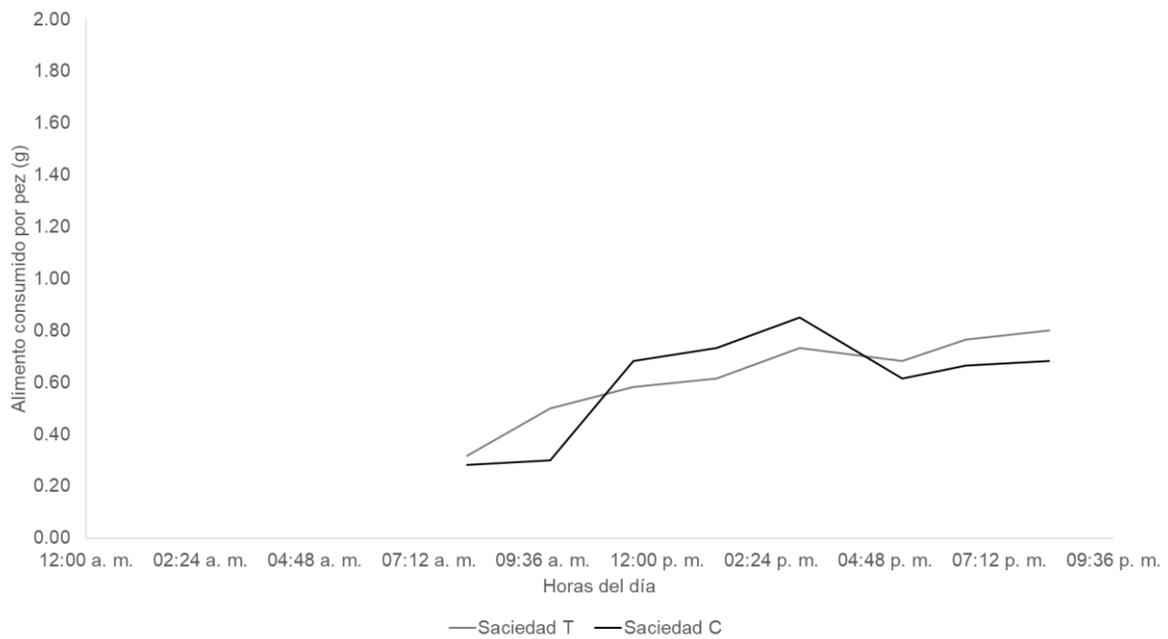


Figura 3. Segundo cálculo de tasa de alimentación correspondiente a los días 22 y 23.

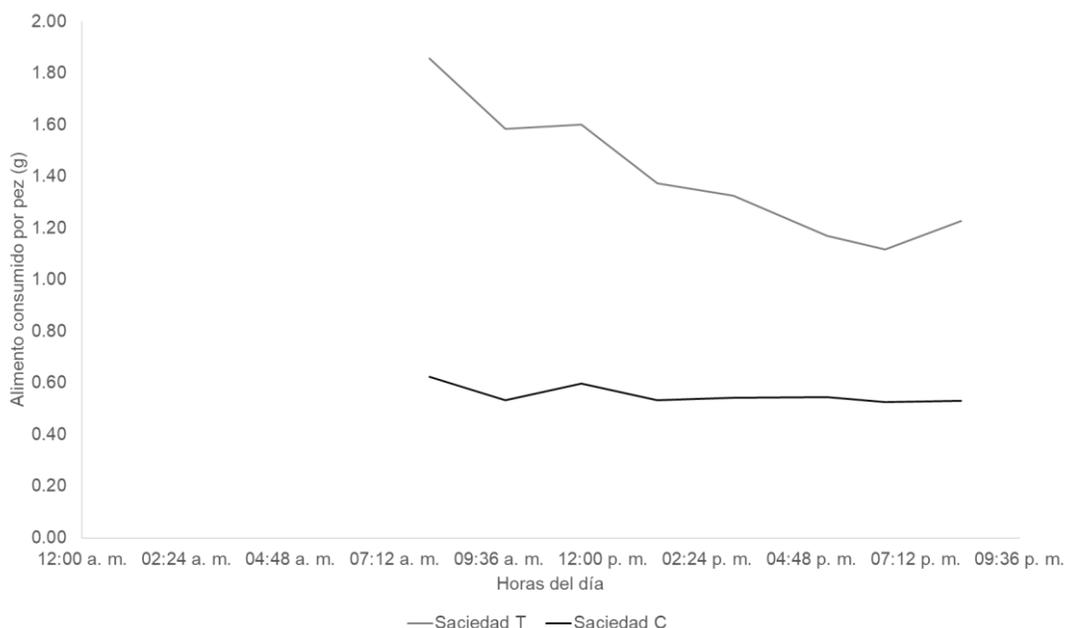


Figura 4. Tercer cálculo de tasa de alimentación correspondiente a los días 37 y 38

La tasa de alimentación establecida en el experimento, fue calculada a partir del consumo total de alimento de los organismos analizados y se representa en porcentaje del peso corporal de los mismos, al final en el experimento (día 55) (**Figura 2**). Como era de suponerse, la tasa de alimentación fue mayor en el tratamiento sometido a saciedad que en los tratamientos sometidos a una fracción de la saciedad ($\frac{1}{2}$ **Saciedad T** y $\frac{1}{4}$ **Saciedad T**). Debido a la alta mortalidad en el tratamiento **Saciedad C** no fue posible calcular este valor, para el mismo.

Tabla 2 Tasa de alimentación representada en porcentaje de peso corporal en los distintos tratamientos utilizados en el experimento

TRATAMIENTO	TASA DE ALIMENTACION (% DE PESO CORPORAL)
Saciedad T	3.4 %
$\frac{1}{2}$ Saciedad T	1.6 %
$\frac{1}{4}$ Saciedad T	1.0 %
Saciedad C	-

En cuanto a la ganancia de peso y longitud estándar, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de Sacidad T y ½ Sacidad T. Sin embargo los tratamientos de ¼ Sacidad T y Sacidad C fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) de los tratamientos de Sacidad T y ½ Sacidad T (**Figuras 5 y 6** respectivamente).

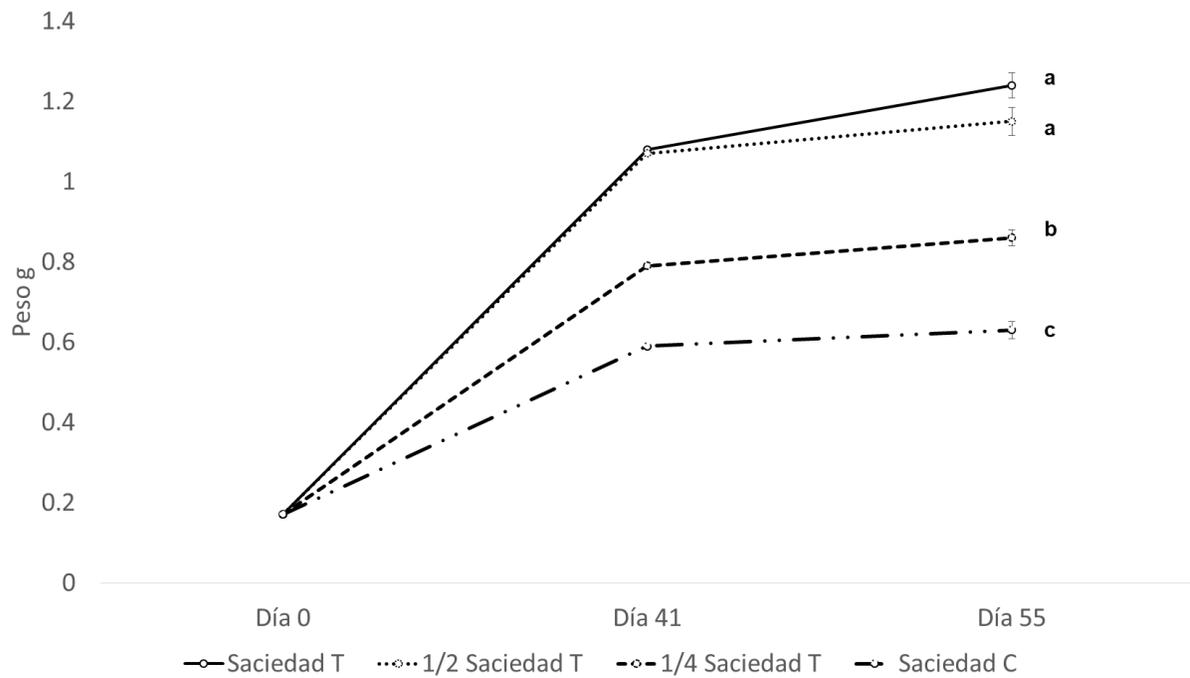


Figura 5. Crecimiento en peso húmedo (g) en juveniles de *Chirostoma estor* sometidos a tres tratamientos de tasa de alimentación (Sacidad T, ½ Sacidad T, ¼ Sacidad T y Sacidad C). Nominales representan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

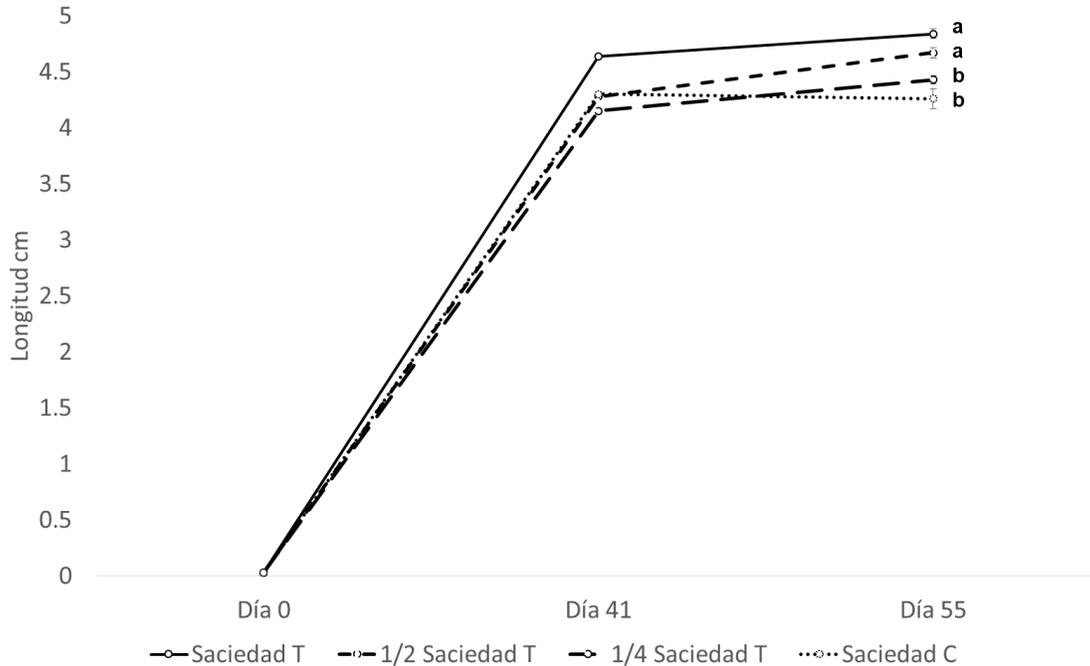


Figura 6. Crecimiento en longitud estándar (cm) en juveniles de *Chirostoma estor* sometidos a tres tratamientos de tasa de alimentación (Saciadad T, 1/2 Saciadad T, 1/4 Saciadad T y Saciadad C). Nominales representan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos

El factor de condición (FC) promedio, fue calculado para cada tratamiento y se puede observar que los tratamientos de Saciadad T y 1/2 Saciadad T no presentan diferencias estadísticas significativas. Sin embargo son diferentes significativamente ($p < 0.05$) de los tratamientos de 1/4 Saciadad T y Saciadad C. Es importante mencionar que el tratamiento que mostró el FC más bajo en el experimento fue el grupo de Saciadad C, siendo diferente ($p < 0.05$) a todos los demás (**Figura 7**).

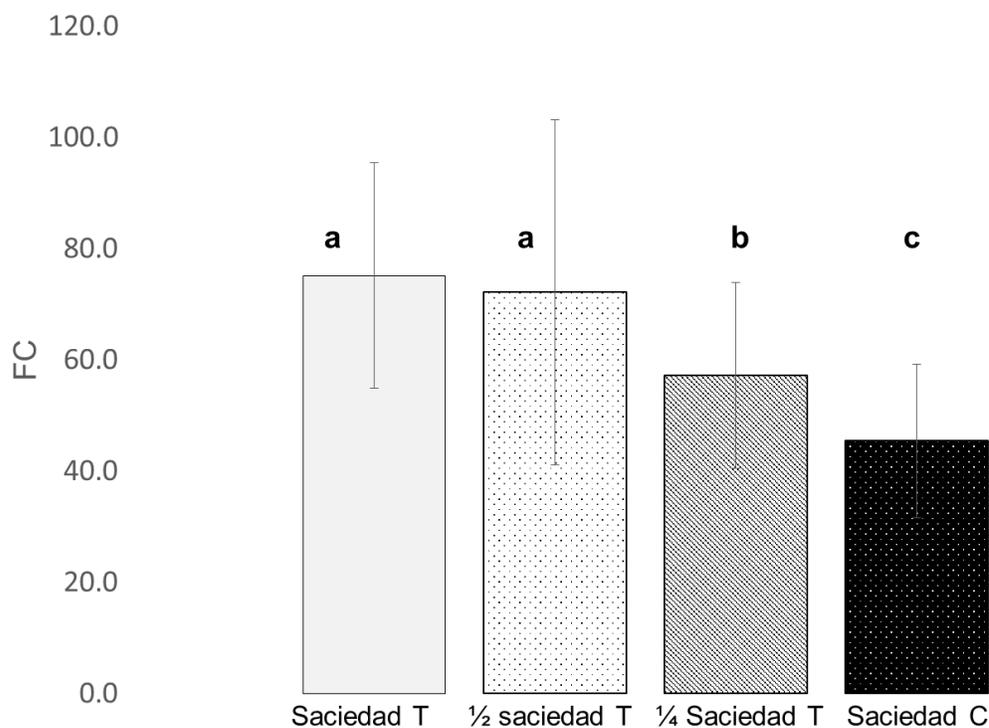


Figura 7. Factor de condición en los juveniles de *Chirostoma estor* sometidos a tres tratamientos de tasa de alimentación (Sacidad T, 1/2 Sacidad T, 1/4 Sacidad T y Sacidad C) durante el experimento. Nominales representan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

Se registraron los valores productivos, resultados de las distintas tasas de alimentación y el tipo de tanque en los tratamientos analizados; los cuales se muestran en la (**Tabla 3**). Se puede observar que la cantidad de alimento consumido por los organismos fue disminuyendo del tratamiento de Sacidad T a 1/2 Sacidad T y de este último a 1/4 Sacidad T, ya que 1/2 Sacidad T y 1/4 Sacidad T son fracciones del tratamiento Sacidad T; mientras que los tratamiento de 1/2 Sacidad T y Sacidad C fueron estadísticamente iguales ($p < 0.05$).

No se encontraron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre el tratamiento Sacidad T y 1/2 Sacidad T en el peso final al día 55; del mismo modo, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tratamientos de 1/4 Sacidad T y Sacidad C en este parámetro. Es importante resaltar que el peso final del tratamiento de 1/2 Sacidad T fue el doble del mostrado por Sacidad C, aunque estos últimos consumiesen la misma cantidad de alimento. Finalmente las tasas de conversión alimenticia (TCA) mostradas en el experimento, reflejan que conforme la restricción

de alimento aumentaba en los tratamientos, los organismos se volvían más eficientes para aprovecharlo, aunque esto no se viese reflejado en el peso final. En el tratamiento de Sacidad C, la TCA alta es un reflejo del tipo de tanque, ya que la energía que debería destinarse a crecimiento se ocupa en otras funciones relacionadas con estrés y homeostasis.

Tabla 3. Parámetros productivos de los diferentes tratamientos Sacidad T, ½ Sacidad T, ¼ Sacidad T y Sacidad C, pertenecientes al experimento. * La tasa de conversión alimenticia fue corregida tomando en cuenta el alimento no consumido por los peces muertos, obteniendo el promedio de alimento consumido por los peces al final de cada evaluación, por tratamiento y restándolo del consumo total; en el caso del tratamiento de Sacidad C se calculó de la misma manera del día 1 al 41 y del día 41 al 55, esto debido a la alta mortalidad ocurrida en este tratamiento en particular y finalmente se promediaron los valores anteriores para establecer la TCA. Nominales diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.001$).

Tratamiento	Total de alimento consumido individual (mg/día)	TCA	Promedio peso individual día 0 (mg)	Promedio peso Individual día 55 (mg)	Peso ganado individual (mg)	Peso ganado individual al día (mg)	Peso ganado en %	TEC %
Sacidad T	42.12 ± 4.71 ^a	3.2 ± .094 ^{a*}	170	1290 ± 174.0 ^a	1120 ± 174.0 ^a	21 ± 3.0 ^a	658.82	3.82 ± 0.25 ^a
½ Sacidad T	18.09 ± 7.64 ^b	1.2 ± 0.63 ^{a*}	170	1150 ± 46.0 ^a	980 ± 46.0 ^a	18 ± 1.0 ^a	576.47	3.61 ± 0.07 ^a
¼ Sacidad T	8.81 ± 2.42 ^c	1.00 ± 0.53 ^{a*}	170	860 ± 6.60 ^b	690 ± 6.0 ^b	13 ± 0.0 ^b	405.88	3.06 ± 0.01 ^b
Sacidad C	17.73 ± 17.73 ^b	15.28 ± 2.85 ^{b*}	170	630 ± 93.7 ^b	460 ± 93.0 ^b	9 ± 1.0 ^b	270.59	2.47 ± 0.29 ^c

Las Figuras 8, 9, 10 y 11 muestran cómo se distribuyeron los pesos de la población en cada tratamiento al final del experimento. Se fijaron ocho intervalos de pesos, (iniciando con el organismo más pequeño y terminando con el más grande del presente experimento). Se puede observar que los tratamientos de Sacidad T y ½ Sacidad T se comportaron de manera muy similar, mostrando una dispersión típica de una población normal; concentrando la mayoría de su población en los intervalos de pesos intermedios (1-1.3 g) (Figuras 8 y 9). Por su parte los tratamientos de ¼ Sacidad T y Sacidad C mostraron una distribución asimétrica sesgada hacia los pesos menores (izquierda de la gráfica), mostrando, en su mayoría pesos menores a 1 g (Figuras 10 y 11).

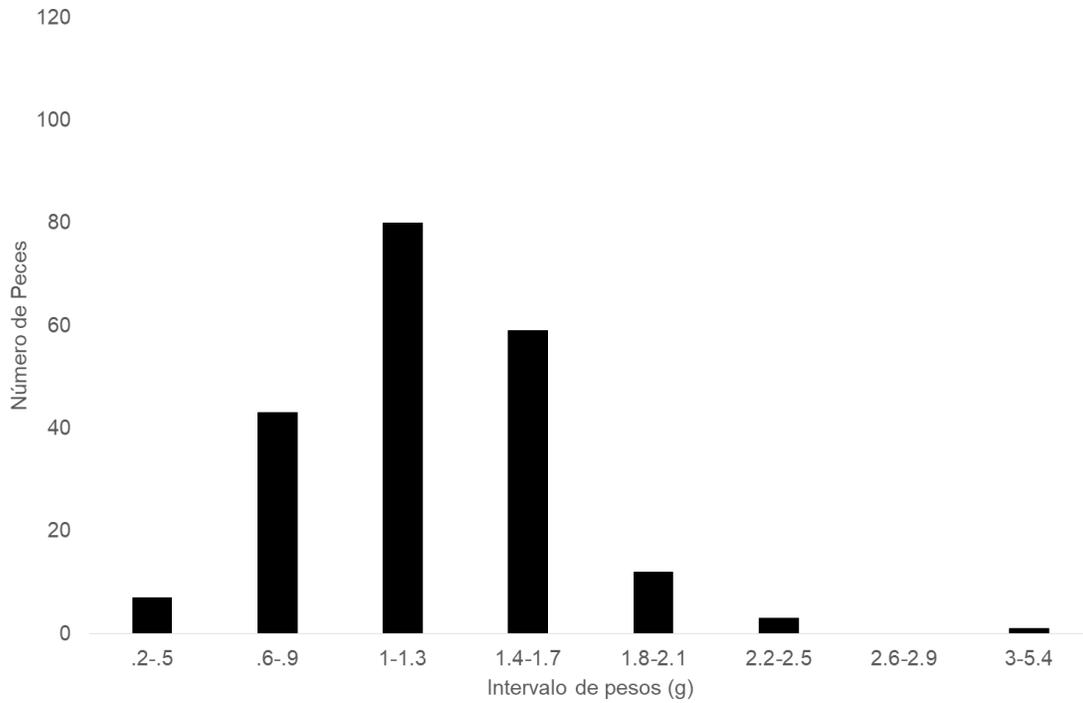


Figura 8. Dispersión de pesos (g) en juveniles de *Chirostoma estor* pertenecientes al grupo de Sociedad T.

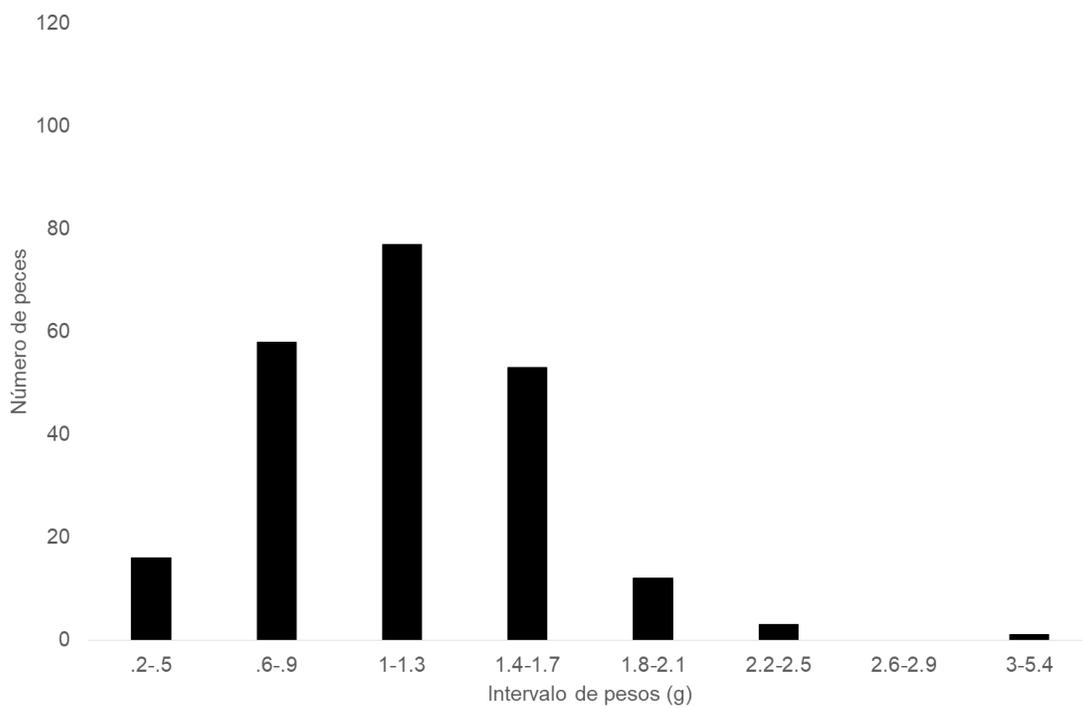


Figura 9. Dispersión de pesos (g) en juveniles de *Chirostoma estor* pertenecientes al grupo de 1/2 Sociedad T.

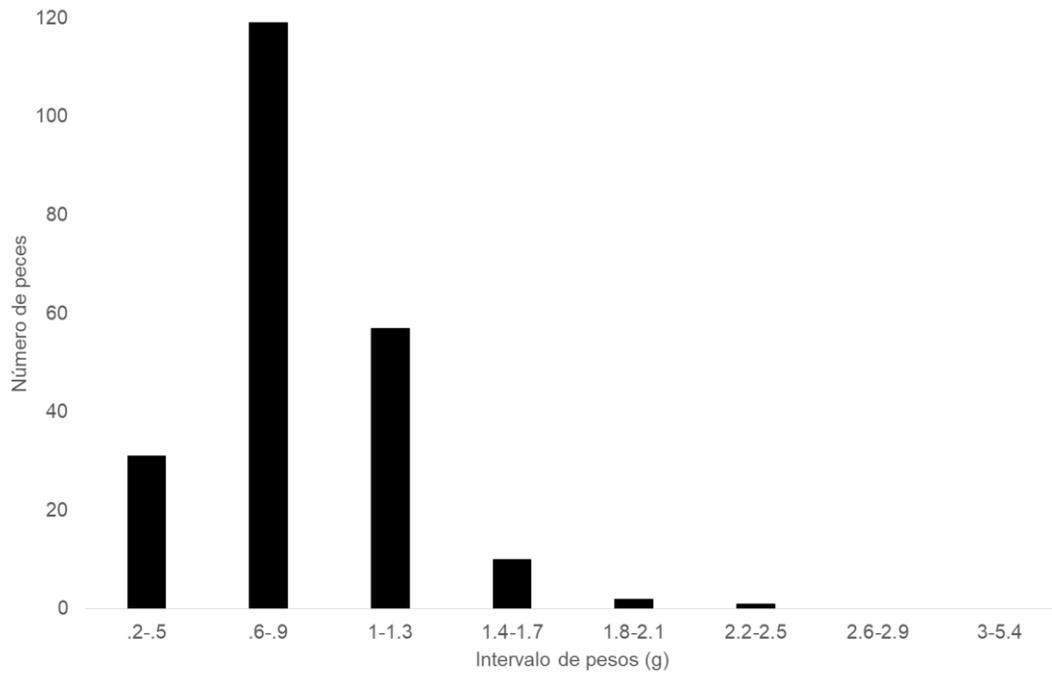


Figura 10. Dispersión de pesos (g) en juveniles de *Chirostoma estor* pertenecientes al grupo de ¼ Sociedad T.

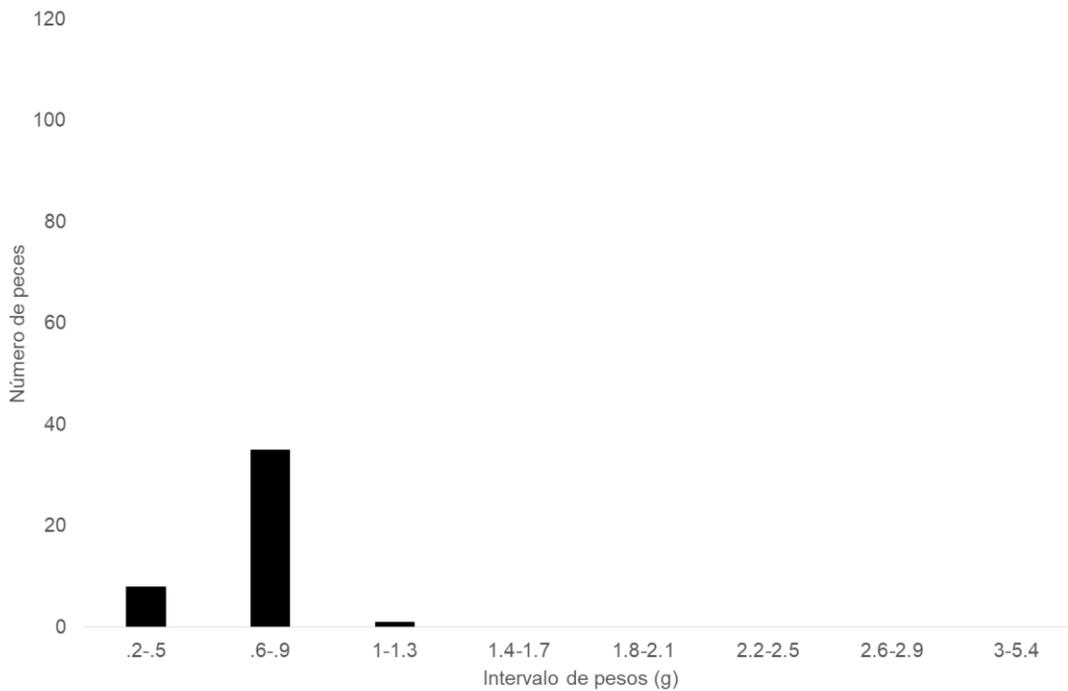


Figura 11. Dispersión de pesos (g) en juveniles de *Chirostoma estor* pertenecientes al grupo de Sociedad C.

En cuanto a la supervivencia los tratamientos de Sacidad T, $\frac{1}{2}$ Sacidad T y $\frac{1}{4}$ Sacidad T se comportaron de manera muy similar teniendo valores entre 68-73% de supervivencia (**Figura 12**). El tratamiento de Sacidad C mostró un descenso de supervivencia abrupto entre los días 30 y 40 a causa de la aparición de un agente patógeno de aparente etiología fúngica (*Saprolegnia spp.*).

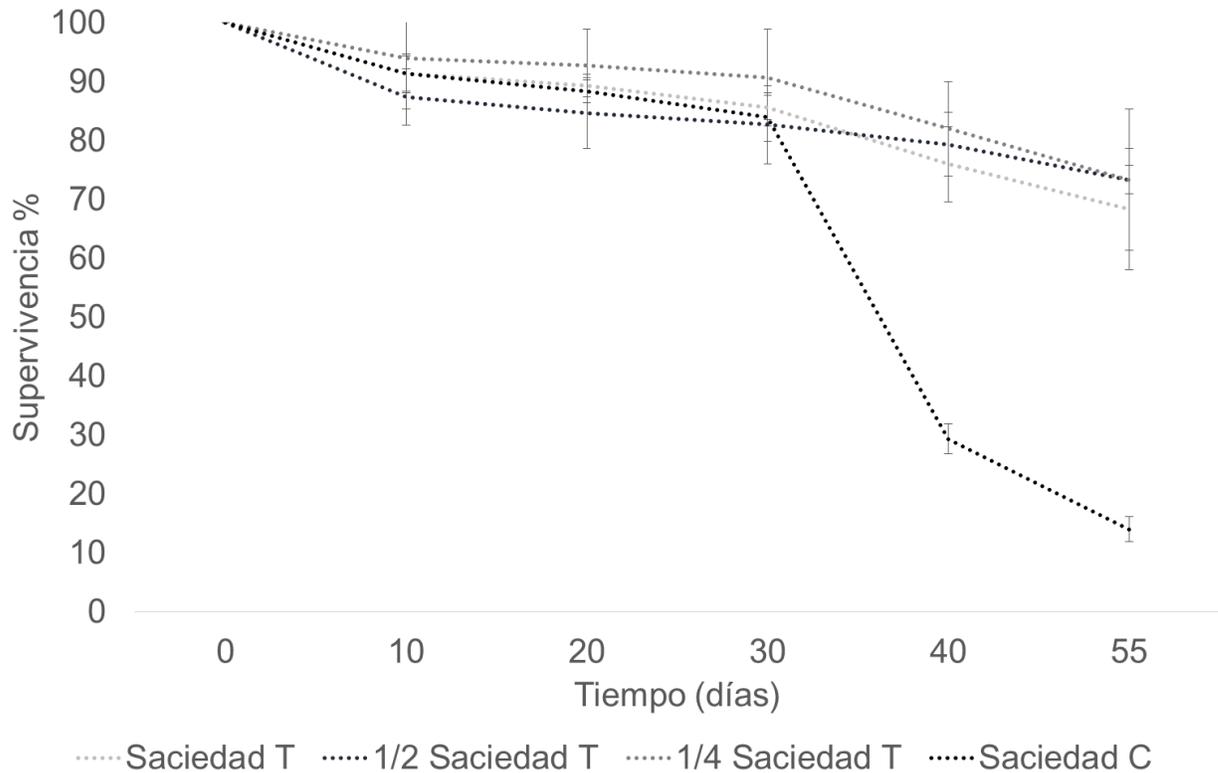


Figura 12. Supervivencia de los organismos en los distintos tratamientos pertenecientes al presente experimento.

7.1 Deformidades

Al final del experimento se midió y se pesó cada uno de los organismos de los distintos tratamientos. En ese punto se evaluaron las deformidades de la columna vertebral que se podían apreciar sin la necesidad de algún estudio especializado y se nombraron como deformidades aparentes. El porcentaje de deformidades aparentes, comparándolas con el porcentaje de deformidades diagnosticadas

mediante imagenología de rayos x (rx) se representan en la **Tabla 3**. Como era de esperarse los porcentajes aparentes fueron menores a los diagnosticados por estudios radiográficos. A causa de la baja supervivencia final en el tratamiento Sacidad C, no fue posible su evaluación radiográfica.

Tabla 4. Porcentaje de malformaciones aparentes y diagnosticadas mediante estudios radiográficos por tratamiento.

Tratamiento	Porcentaje aparente (%)	Porcentaje rx (%)
Sacidad T (n=3)	8.5	46.6
½ Sacidad T (n=3)	14.9	46.6
¼ Sacidad T (n=3)	3.5	43.3
Sacidad C (n=3)	24.1	-

7.2 Evaluación radiográfica

La **Figura 13** muestra ocho imágenes radiográficas de los organismos estudiados, con los dos métodos utilizados. El método de radiografías con la máquina para perros y gatos (DRGEM, VXR-32), mostró baja calidad de imagen, la cual no dio posibilidad para su interpretación. El segundo método, donde se utilizó el mastógrafo (Siemens mammomat 3000), dio como resultado imágenes suficientemente claras para su interpretación, mostrando gran sensibilidad en los detalles. Por lo que se optó por utilizar este método para los siguientes análisis.

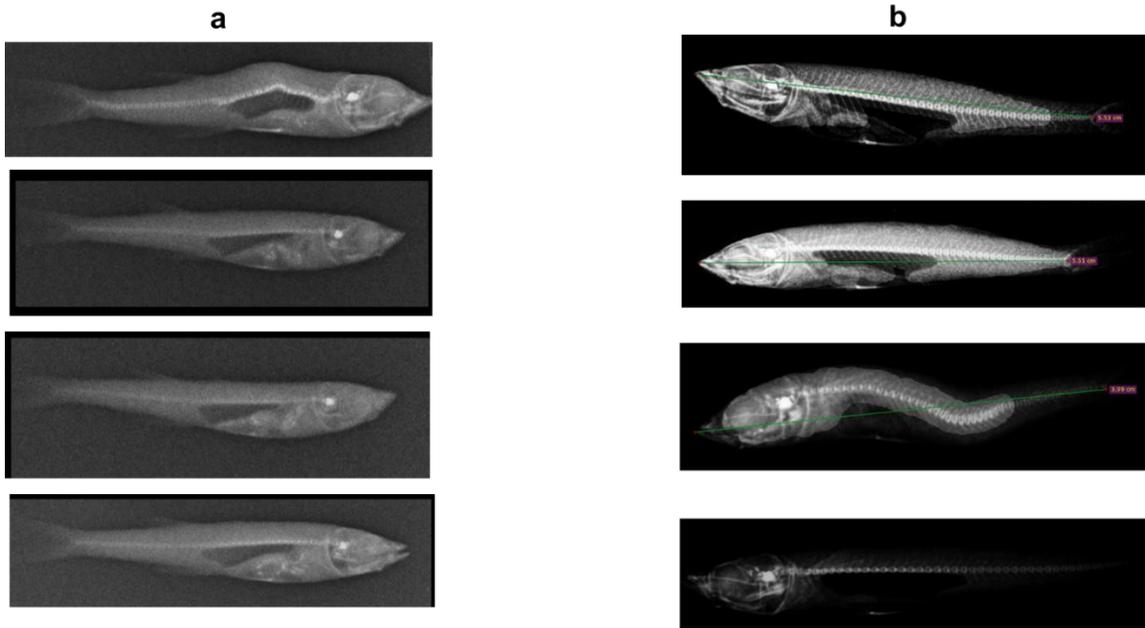


Figura 13. Imágenes radiográficas de juveniles de *Chirostoma estor* sometidos a los distintos tratamientos de tasa de alimentación. Columna **a** organismos sometidos a estudios radiográficos con máquina de rayos x (DRGEM, VXR-32) utilizada para pequeñas especies. Columna **b** organismos sometidos a estudios radiográficos con un mastógrafo (Siemens mammomat 3000).

En el estudio se catalogaron seis diferentes signos radiográficos encontrados en los organismos sometidos a los tres tratamientos de tasas de alimentación (Saciedad T, $\frac{1}{2}$ Saciedad T, $\frac{1}{4}$ Saciedad T) en el muestreo final del experimento (día 55). Estos signos se muestran continuación en la **figura 14**.

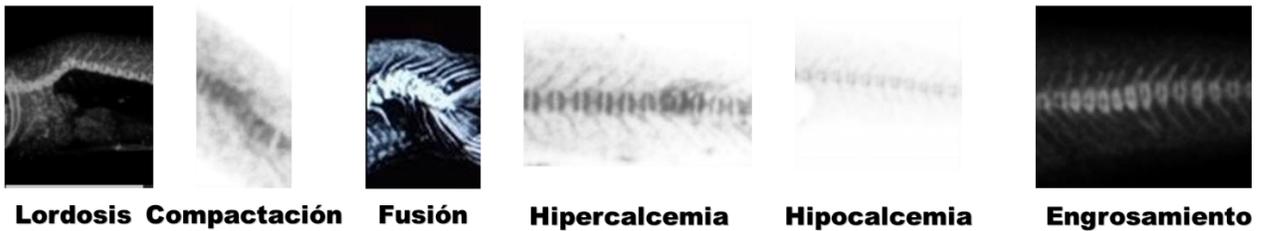


Figura 14. Categorización de los distintos signos radiográficos encontrados en el estudio al día 55.

Al evaluar las radiografías de los peces al día 55, se identificó y registró el tipo de anomalía que estos presentaron. Es importante mencionar que en algunos casos los organismos presentaron más de un signo de anomalía. La **Figura 15**

representa la prevalencia de los signos en cada tratamiento en el muestro final (día 55). No se encontró ningún aumento de incidencia de algún signo de radiográfico en los distintos tratamientos de tasa de alimentación; sin embargo en el tratamiento de $\frac{1}{4}$ Sacidad T mostró aumento exponencial en la prevalencia de hipocalcificación. No fue posible analizar al grupo de peces en las canaletas en esta prueba ya que no se contaba con el número suficiente de animales debido a su acelerada mortalidad en el día 55.

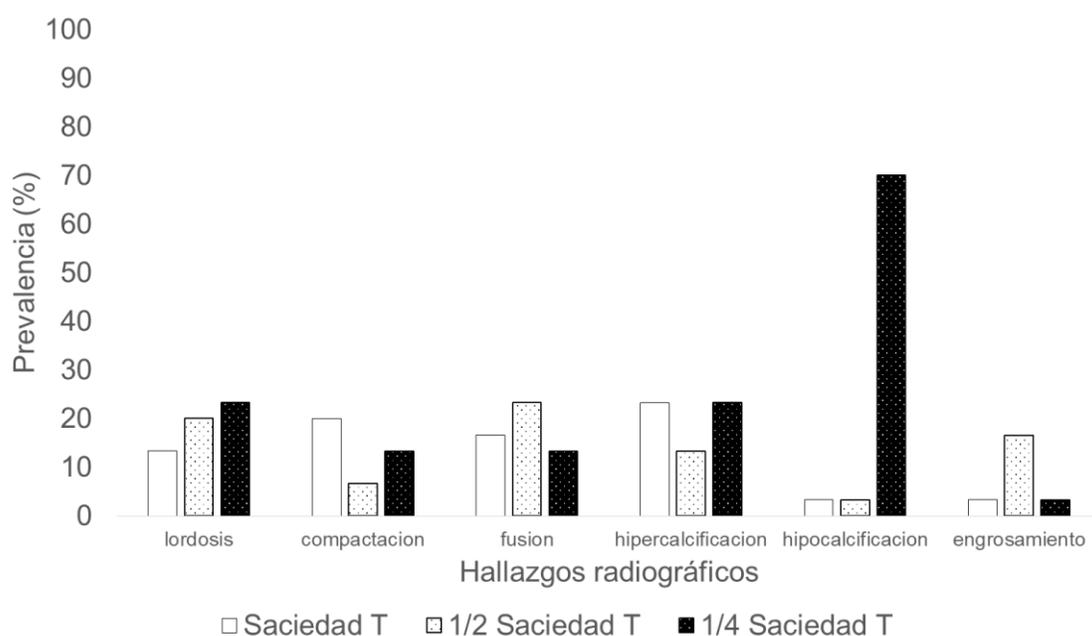


Figura 15. Prevalencia de signos de anomalías óseas en los juveniles de pez blanco sometidos a tres distintas tasa de alimentación.

El aspecto más sobresaliente encontrado al evaluar las imágenes radiográficas de los organismos estudiados; fue un patrón repetitivo de los sitios en la columna vertebral en donde aparecían signos previamente mencionados, a lo que se le denomino puntos de incidencia. La **Figura 16** muestra estos puntos de incidencia de la columna vertebral de los juveniles analizados.

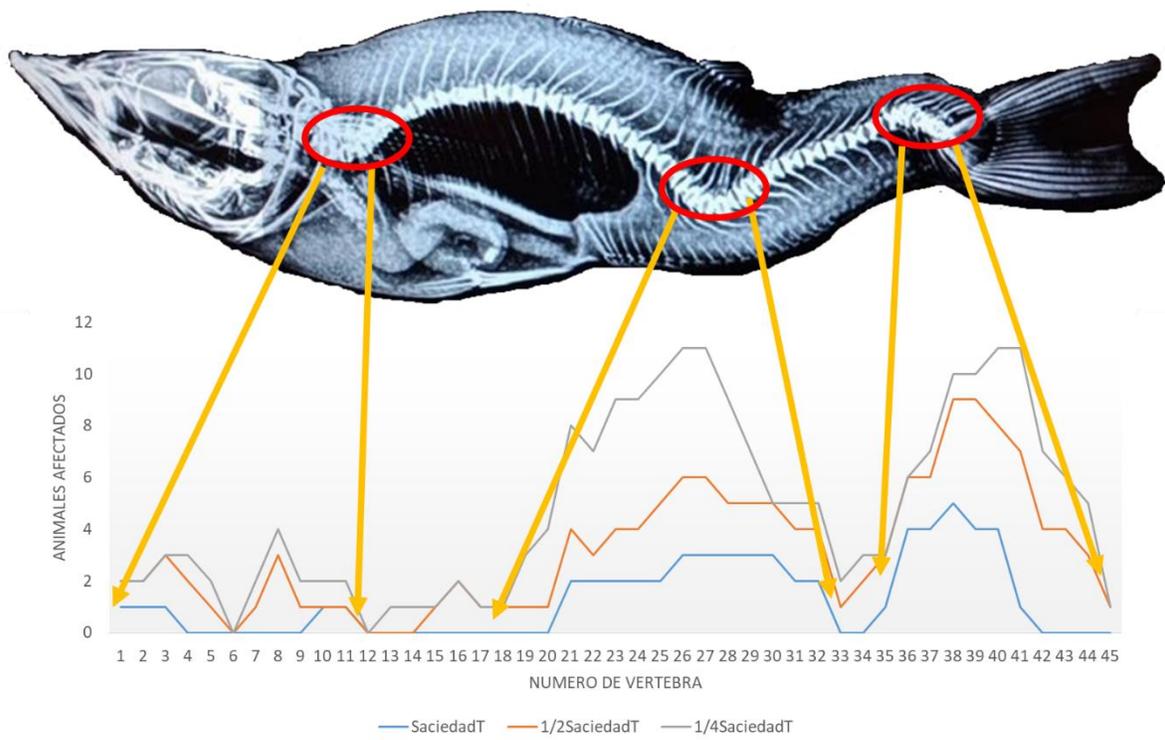


Figura 16. Representación de los puntos de incidencia encontrados en juveniles de *C. estor*.

Finalmente se presenta los puntos de incidencia encontrados en el presente trabajo, comprándolos con los reportados en otras especies de importancia para la acuicultura en la **tabla 5**. Es importante mencionar que se definió por primera vez en la especie el número total de vertebras que conforman la columna del pez blanco de Pátzcuaro "*Chirostoma estor*"; teniendo un número entre 43 a 45 vertebras.

Tabla 5. Comparación de los puntos de incidencia (regiones vertebrales) y numero de vertebras reportados en distintas especies y el presente estudio en *C. estor*

Especie	Primera región (vertebras)	Segunda región (vertebras)	Tercera región (vertebras)	No. Total de vertebras	Cita
Bacalao del Atlántico	1-5	19-39	49-51	51	Opstad et al., 2013
Salmón del Atlántico	1-10	19-37	46-55	58-60	Fraser et al., 2013
Salmón del Atlántico	1-9	16-34	49-58	58-60	Fjelldal y Hasen, 2010
Salmón del Atlántico	2-12	24-44	50-55	58-60	Smedley et al., 2016
Pez blanco de Pátzcuaro	1-9	19-31	36-43	43-45	Presente estudio.

8. DISCUSIÓN

El objetivo principal del presente estudio fue definir el efecto que ejercía la tasa de alimentación sobre los juveniles de *C. estor* durante su etapa de crecimiento exponencial. Es importante mencionar que la tasa de alimentación varía entre especies y etapas de vida (Zhang y Lin, 1998). Teniendo en cuenta lo anterior se pueden mencionar algunos trabajos en otras especies donde el objetivo era establecer la tasa de alimentación óptima en etapas juveniles de otras especies; por ejemplo: al tratar de encontrar la tasa de alimentación para juveniles híbridos de esturión (Luo, 2015) establecieron que 3.7% del peso corporal en organismos de 7.8 g. fue la mejor tasa, en cuanto a crecimiento y rentabilidad. Eroldogan *et al.*, 2004 establecieron que la tasa de alimentación para juveniles de lubina europea de 3 g. se encontraba entre 3.5% y 4% del peso corporal por día dependiendo de si estos se cultivan en agua dulce o salada. En otro experimento realizado en juveniles de pacú "*Piaractus mesopotamicus*" se encontró que la tasa de alimentación que mostró mejores rendimientos fue una equivalente al 10% del peso corporal de los organismos estudiados (Rodrigues *et al.*, 2007). Desde este punto de vista se puede denotar la variabilidad de las tasas de alimentación óptimas según la especie, su anatomía y sus hábitos de alimentación.

Más aún, las diferencias también pueden deberse a la anatomía del sistema digestivo. En este sentido los Atherinópsidos como *C. estor*, son modelos acuícolas nuevos al no poseer estómago y tener un intestino de menor longitud que la longitud total del pez (Ross *et al.*, 2006). Lo anterior implica que los alimentos ofrecidos tengan que ser altamente digeribles y que puedan alimentarse con mayor frecuencia que peces con estómago y/o con intestinos largos haciendo que las comparaciones con otras especies tengan poca validez. Sin embargo, en un estudio de crecimiento en sistemas semi-intensivos, en juveniles de entre 3 y 4 meses de "pejerrey", *Odontesthes bonariensis*, otro Atherinopsido, similar a *C. estor*, se comenzó ofreciendo 10% de peso corporal de los organismos, ya que así estos lo demandaban; debido al tipo de sistema y al descenso de la temperatura, se redujo el consumo de alimento hasta llegar al 2.5% del peso corporal y estabilizarse

(Velasco *et al.*, 2008). Al comparar esas tasas con las obtenidas en la presente investigación, podemos observar que al final de dicho experimento la tasa de alimentación para los juveniles de pejerrey se encontraba entre las establecidas para juveniles de *C. estor* en los tratamientos de **Saciedad T** y $\frac{1}{2}$ **Saciedad T** del presente estudio. Esto claramente sugiere que, tanto el pejerrey como el pez blanco de Pátzcuaro, requieren porciones bajas de alimento, pero de manera frecuente durante gran parte del día; lo que proporciona información valiosa, para mejorar las prácticas de alimentación de este tipo de especies zooplanctófagas con frecuente consumo de alimento.

Las **Figuras 5 y 6**, representan el crecimiento en peso y longitud respectivamente, en promedio por tratamiento. En ellas se puede observar que conforme más alta fue la tasa de alimentación, los organismos presentaron pesos y longitudes mayores, lo cual difiere de los resultados reportados por Mohseni *et al.*, (2006) quien encontró en juveniles de gran esturión (*Huso huso*), que la tasa de alimentación más baja en su experimento (2%) fue la que obtuvo los pesos más grandes. El patrón anteriormente mostrado por estas dos distintas especies es diferente, y seguramente es debido a las grandes diferencias en su anatomía, teniendo en cuenta que el pez blanco no tiene estómago y tiene un intestino muy corto y el esturión cuenta con un estómago verdadero e intestino en forma de válvula espiral, lo que lo ayuda a ser más eficiente para digerir.

En *C. estor* se ha determinado la tasa de alimentación en diversos estudios, sin embargo la frecuencia de alimentación parece ser un factor determinante para el correcto desarrollo de la especie. Al utilizar una frecuencia de alimentación de dos raciones por día en juveniles de pez blanco de seis meses cultivados en jaulas en el lago de Pátzcuaro; Vega *et al.* 2004 reportan que la tasa de alimentación encontrada en ese estudio fue de 3.8 %, obteniendo pesos finales de entre 1.5 y 3.3 g en el experimento. Al ser sistemas de cultivo distintos y edades diferentes, no se puede hacer una comparación estricta; sin embargo se puede mencionar que a pesar de ser tres meses más jóvenes los organismos del presente experimento, los pesos finales se acercaron a los establecidos por el autor antes mencionado lo que

nos permite inferir que la tasa y la frecuencia de alimentación son crucialmente importantes en el crecimiento de estas especies.

En otra investigación en juveniles de tres meses de edad de *C. estor*, donde se quería evaluar distintos porcentajes de inclusión de ensilado de bagre armado (*Pterygoplichthys disjunctivus*); se reportaron pesos de 0.06 gramos al día 55 del experimento, en el mejor tratamiento; utilizando una frecuencia de alimentación de 4 veces al día, en intervalos de 1.5 horas (Pimentel, 2009). En el presente estudio, los tratamientos de **Saciedad T** y $\frac{1}{2}$ **Saciedad T**, obtuvieron promedios de pesos finales al día 55 de 1.290 y 1.150 g. respectivamente. La primera diferencia importante que seguramente mejoró el crecimiento de los organismos de la presente investigación; fue la frecuencia de alimentación base de 8 veces al día con intervalos de 1 hora con 40 minutos, la cual lógicamente es mejor para la especie, reduciendo los intervalos de ayuno en este consumidor frecuente. El otro punto importante fue la tasa de alimentación ofrecida en dicho experimento, la cual fue 1.3 % del peso corporal, la cual fue sumamente parecida a la utilizada por el tratamiento de $\frac{1}{4}$ **Saciedad T** siendo este el tratamiento en tanque circular con el menor crecimiento. Es también posible que el tamaño de tanque (circular de 90 L. con 40 peces c/u) utilizado en el experimento anteriormente mencionado ofreciera un efecto restrictivo en el crecimiento de los peces.

Otro aspecto importante observado en estas dos figuras (5 y 6) fue que el tratamiento de **Saciedad C**, presentó un crecimiento de tipo alométrico; ya que su crecimiento en peso no fue simétrico a su crecimiento en longitud (Rodríguez et al., 2012), mostrando longitudes iguales estadísticamente al tratamiento de $\frac{1}{4}$ **Saciedad T** y pesos estadísticamente más bajos durante el experimento. Lo anterior sugiere que el uso de las canaletas de crecimiento por periodos extendidos de tiempo, limitan el desarrollo de los juveniles de esta especie, lo que coincide por lo observado por Rivera 2016, quien encontró que a partir del día 30 de vida los juveniles de pez blanco presentan un crecimiento exponencial, momento en el cual se debe de evitar cualquier tipo de restricción con la finalidad de promover su correcto desarrollo.

Este tipo de restricciones son equivalentes a las encontradas en densidades altas; en juveniles de tilapia del Nilo de 30 g. encontraron que las altas densidades tienen un efecto negativo directo sobre los pesos finales, ganancia de peso diario, longitud estándar y supervivencia; del mismo modo en este estudio, los organismos del grupo **Saciedad C** mostraron el menor rendimiento en el experimento, esto puede deberse directamente con el tipo y tamaño de tanque, que en los organismos se transforma en estrés, anorexia y finalmente pesos bajos y altas mortalidades (Da Costa *et al.*, 2017).

La **Tabla 3** muestra los parámetros productivos obtenidos en el experimento, resaltando los valores de la tasa de conversión alimenticia (TCA). Se puede observar que la TCA fue mejor conforme la tasa de alimentación disminuía, lo que concuerda con encontrado por (Xu *et al.*, 2017) en el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*). Por otro lado, tasas de alimentación similares a las utilizadas en este estudio (100% saciedad aparente, 90%, 80% y 70%) han sido probadas en juveniles de carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*) mostrando que conforme se disminuía la cantidad de alimento, (del tratamiento de 100% hasta el de 80%) la TCA mejoraba, hasta llegar al tratamiento de 70% donde volvía a subir (Xiao-Qin *et al.*, 2018). Este fenómeno evidencia dos aspectos importantes; el primero es que conforme se aumenta el grado de restricción de alimento, los organismos son más eficientes y el segundo punto es que al parecer lo descrito anteriormente tiene un punto límite, donde es tan grande la restricción que el organismo entra en estrés, volviéndose ineficiente para utilizar el alimento consumido (Bernier *et al.*, 2004, Fries, 1986). En el experimento se observó algo similar, la TCA descendía en los tratamientos de ración más baja, pero aumenta exponencialmente en el tratamiento de **Saciedad C**. En ambos casos el aumento de la TCA se puede deber a un efecto restrictivo, en el caso de las carpas debido a una restricción de alimento y en *C. estor* debido a una restricción de espacio en las canaletas, ya que este tratamiento recibió una cantidad similar de alimento que el tratamiento ½ **Saciedad T**, creciendo la mitad del promedio de este.

Basándonos en lo comentado anteriormente por Pimentel (2009), quien reporta una TCA de 2.03, 2.17, 2.31, 2.79 y 4.12, en sus tratamientos de 0, 10, 20, 40 y 60 % de inclusión de ensilado de pescado, los resultados obtenidos en la presente investigación, la TCA fue mejor que la de los tratamientos de **Saciedad T** y $\frac{1}{2}$ **Saciedad T** del estudio; sin embargo los pesos de sus tratamientos fueron menores a los presentados por **Saciedad T** y $\frac{1}{2}$ **Saciedad T** al día 55 de ambas investigaciones. Al comparar las TCA reportadas con las obtenidas en el tratamiento de $\frac{1}{4}$ **Saciedad T**, se observa que son iguales; esto puede evidenciar que en el experimento citado los organismos sufrían de restricción de alimento, debido a una baja tasa y frecuencia de alimentación utilizadas, del mismo modo que $\frac{1}{4}$ **Saciedad T**, donde aparentemente la restricción fue la cantidad de alimento ofrecido.

Por otra parte se debe de resaltar que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en peso individual final, TCA y tasa específica de crecimiento (TEC) entre los grupos de **Saciedad T** y $\frac{1}{2}$ **Saciedad T**, aun cuando el alimento consumido por $\frac{1}{2}$ **Saciedad T** fue la mitad de lo consumido por **Saciedad T**. Esto sugiere que a esta edad la tasa de alimentación óptima se encuentra entre estos dos tratamientos (3.4 % y 1.6 % del peso corporal) y seguramente más cercana a $\frac{1}{2}$ **Saciedad T**, (Tabla 2).

El criterio para proponer a $\frac{1}{2}$ **Saciedad T** es meramente de optimización y rentabilidad de la explotación tal y como propone Sung *et al.* (2007), quienes indican que la tasa adecuada de alimentación en *Paralichthys olivaceus* es de 90% saciedad, porque con esa tasa de alimentación se obtienen valores de crecimiento estadísticamente iguales al tratamiento de 100%, pero con menores costos.

La supervivencia de los tratamientos **Saciedad T**, $\frac{1}{2}$ **Saciedad T** y $\frac{1}{4}$ **Saciedad T** fueron de 68.3%, 73.3% y 73.3% respectivamente (**Figura 11**); estos resultados son mejores a los presentados por Tello-Ballinas (2010), Rivera (2016), Martínez-Palacios *et al.* (2002) de 51%, 63.2% y 53% respectivamente en juveniles de *Chirostoma estor*. Sin embargo el grupo **Saciedad C** se encuentra muy debajo de estos valores, debido a la aparición de un agente patógeno de etiología fúngica, que probablemente afectó a los peces de este tratamiento por el efecto estresante del

tamaño de tanque. En la gráfica de supervivencia, específicamente en el tratamiento de canaletas se observa un comportamiento normal de la mortalidad hasta el día 30 del experimento, a partir del cual se observó un aumento de mortalidad drástico, que hace sospechar del efecto altamente estresor del tipo de tanque, que pudiera provocar una disminución de la actividad del sistema inmune y a su vez el ataque de patógenos oportunistas como es de conocimiento general (Fries, 1986). Monroy (2018), reporta un caso similar en larvas de *C. estor*, observando un aumento paulatino de la mortalidad a lo largo del tiempo en su experimento, el cual se puede correlacionar con lo ocurrido en el tratamiento **Saciedad C**, puesto que estas larvas se cultivaron en espacios muy pequeños de aproximadamente 10 L; conforme las larvas fueron creciendo, el espacio ejercía un efecto restrictivo que a la vez pudiera estresar a los organismos. Más estudios son requeridos para confirmar los efectos y mecanismos de la restricción de espacio o hacinamiento en esta especie y su relación con estrés y mortalidad.

Debido a la dificultad para alimentar continuamente durante una jornada a esta especie, es posible que para cubrir sus requerimientos nutricionales y obtener mejores resultados en su explotación comercial, se adopten otros métodos de cultivo, como los sistemas semi-intensivos. Por ejemplo en *Odontesthes bonariensis* “pejerrey”, que como ya se mencionó es una especie muy similar, se tienen avances en cuanto a su cultivo semi-intensivo y se han realizado ya algunos estudios que validan este punto. Por ejemplo Colauti *et al.* (2010) utilizaron un sistema de jaulas en un lago patagónico y aplicaron un sistema productivo extensivo; el encontró una baja supervivencia pero una tasa de crecimiento superior a la reportada en otros trabajos con *O. hatcheri*. Solimano *et al.*, (2015) realizaron un estudio en jaulas, formando dos grupos, uno utilizando solo el zooplancton natural del lago (extensivo) y el otro utilizando el zooplancton y complemento con alimento balanceado (semi-intensivo), obteniendo mejores resultados en los peces del grupo semi-intensivo. De la misma manera pero en *Odontesthes hatcheri* “pejerrey patagónico” Hualde *et al.*, (2011) sugieren la utilización de sistemas semi-intensivos para esta especie. También se puede sugerir este tipo de explotaciones para el pez blanco, ya que

este sistema de producción ofrece la posibilidad de alimentación disponible a lo largo del día.

Todos estos aspectos previamente revisados, indican que la tasa de alimentación óptima para juveniles de *C. estor*, se encuentra en el 3.4 y el 1.6 % del peso corporal en juveniles de *C. estor*. Es también un hecho que tanto la restricción de alimento, como restricción de espacio son factores que afectan drásticamente el crecimiento de los organismos en esta etapa de crecimiento acelerado y es importante considerar otros modelos de cultivo o bien, considerar la automatización por medio de alimentadores automáticos *ad hoc* para promover el cultivo de tipo comercial intensivo de esta especie.

Gracias a la falta de técnicas radiográficas para peces y a los inconvenientes mostrados por la especie, “medio acuático, baja densidad, dificultad de posicionamiento, etc.” (Maclean, 2013 y Wildgoose, 2003) se optó en el presente trabajo por probar dos métodos de diagnóstico por radiología, encontrando excelentes resultados al utilizar un mastógrafo “Siemens mammomat 3000”. Los resultados obtenidos a través de las técnicas radiográficas son comparables con los obtenidos por Fisher *et al.* (2003) y Beckmann *et al.* (2015). ambos con peces de talla pequeña. En el primer estudio, para identificar malformaciones esqueléticas en “*Danio rerio*” se utilizó una máquina “MX-20 Cabinet X-ray System” que es utilizada en laboratorios para identificar estructuras en semillas de plantas, con una colimación de “17-20 kV a 3 mAh”; muy similar a la utilizada en el experimento de “23 kV a 3 mAh”. El segundo estudio utilizó una máquina de microenfoque “Hamamatsu L6731-01” con una colimación de 45 kV y 40 mAh, para identificar el contenido intestinal de *Gambusia holbrooki* y *Anablepsoides hartii*. En los dos estudios citados y en el presente experimento los resultados fueron lo suficientemente nítidos para ser interpretados.

La incidencia de deformidades reportada en el experimento se basó en dos enfoques distintos, el primero fue el de deformidades aparentes (**Tabla 4**) que fueron las deformidades evidentes a simple vista y el segundo enfoque fue mediante la utilización de estudios radiográficos, donde se catalogaron los hallazgos y se

obtuvo un valor más real de la prevalencia en el estudio (**Figura 14**). Los intervalos de prevalencia de deformidades vertebrales, varían según la especie y el entorno donde se desarrollen los organismos. Por ejemplo en juveniles del salmón Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) cultivado, los valores de prevalencia varían de un 4% hasta un 70% de prevalencia en juveniles (Davie et al., 2018). Por otro lado, Gill y Fisk, (1966) reportan en tres especies de salmones silvestres (*Oncorhynchus nerka*, *Oncorhynchus gorbushca* y *Oncorhynchus keta*), una prevalencia de 3.3%, 2.9% y 2.8% respectivamente. Por su parte Fjellidal *et al.* (2009) reportan un 70% de deformidades en el salmón del atlántico (*Salmo salar*) en su tamaño de cosecha, identificadas por estudios radiográficos, de los cuales solo el 29% se había identificado por palpación como “deformidades aparentes”.

En el presente trabajo sucedió algo similar, puesto que las deformaciones aparentes fueron un porcentaje más bajo que las encontradas por los estudios radiográficos. Las deformidades que se identificaron a simple vista fueron de un 3.2% en el tratamiento de $\frac{1}{4}$ **Saciedad T**, a un 23.8% en el tratamiento **Saciedad C**; sin embargo al interpretar las imágenes radiográficas se puede apreciar que el porcentaje fue más alto que las aparentes (entre 43 y 46 %) (**Tabla 4**), sin exceder el intervalo mencionado anteriormente en el salmón Chinook. El aumento en la prevalencia de peces hipocalcificados en el tratamiento de $\frac{1}{4}$ **Saciedad T**, en comparación con los otros tratamientos, podría deberse a lo comentado por Fjellidal *et al.*, (2015), quien indica que, deficiencias en micronutrientes específicamente fósforo, provocan baja mineralización ósea y deformidades vertebrales.

Lo anterior se debe a la relación que tiene el Ca y P en los peces; el calcio es un macromineral que los peces absorben directamente de su medio y no tiene problemas en incorporarlo a su organismo, en cambio los requerimientos de P se abastecen directamente de la dieta (Lall y Lewis-McCrea, 2007).

Aunque se conoce que la relación de los requerimientos de Ca y P en la mayoría de los peces es de 1:1 o hasta de 1:2, estos varían según la especie. Se sabe que los requerimientos de P en el bacalao (*Gadus macrocephalus*) y el eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*) están en un 0.96% de la dieta, lo que es

considerablemente más alto que los requeridos por los salmónidos 0.63%. Sin embargo en recientes estudios la suplementación con altos niveles de P 0.93% en smolts de salmón diploide redujo la prevalencia de deformidades y aumentó la densidad ósea. En juveniles de salmón triploide se ha establecido los requerimientos de P en 0.94% de la dieta. (Lall y Lewis-McCrea, 2007, Roy *et al.*, 2002, Smedley *et al.*, 2016, Perrot *et al.*, 2016, Fjelldal *et al.*, 2009 y Fjelldal *et al.*, 2015)

Se observó que la aparición de los signos encontrados en las radiografías, presentaban un patrón repetitivo en todos los peces pertenecientes al estudio. Estos patrones se enfocaban en tres puntos particulares de la columna vertebral (vertebras 1-5, 19-33 y 38-45 de los peces). Fjelldal *et al.*, (2012) encontraron anomalías en la columna principalmente en la región de las vértebras 17 a la 28, siendo la 24 la más afectada, en organismos triploides juveniles de *Salmo salar*. Sin embargo en sus resultados muestran una tendencia por tres puntos en particular, que son las regiones de las vértebras 1-4, después de las 17-28 como se había mencionado y finalmente de la 49-55 en la región caudal. En otro estudio con la misma especie, Fraser *et al.* (2015) reportaron hallazgos similares, con tres puntos de incidencia nuevamente, comenzando con un porcentaje muy marcado en la vértebra 1, después en los segmentos de las vértebras 18-31 y de la 52-56, presentando esas tendencias tanto en los salmones triploides como en los diploides.

En el bacalao del atlántico (*Gadus macrocephalus*) con fines de triploidización, los resultados mostraron también solo dos puntos de incidencia marcados; que fueron en las vértebras 1-4 y 19-26. Estas coincidencias pueden estar ligadas, puesto que en estas zonas específicas de la anatomía de los peces, se aplica el mayor estrés mecánico cuando el organismo se desplaza por su entorno; esto y el efecto inducido por la submineralización (triploides, peces en crecimiento exponencial o por deficiencia de minerales en la dieta) provocan desgaste y remodelación ósea. Se tiene demostrado en algunas especies como la dorada (*Sparus auratus*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*), que las altas actividades de nado están directamente relacionadas con la aparición de deformidades en la columna vertebral

específicamente lordosis. (Smedley *et al.*, 2016, Kihara *et al.*, 2002). Esto último es importante en *C. estor*, ya que se ha observado que tiene un comportamiento de nado continuo en confinamiento, además del tipo de tanque en los que se realizó el experimento (tanques circulares) que favorecen un nado de tipo infinito.

9. CONCLUSIONES

Los tratamientos de Saciedad T y $\frac{1}{2}$ Saciedad T obtuvieron los mejores resultados en cuanto a crecimiento (peso y longitud) y factor de condición, sin diferencias significativas; por lo que se concluye que $\frac{1}{2}$ Saciedad T (1.6 % del peso corporal) es la forma más rentable y eficiente de lograr dichos resultados, bajo las condiciones del experimento.

No se encontró un efecto de la tasa de alimentación sobre la prevalencia de deformidades.

La hipocalcificación encontrada en el tratamiento $\frac{1}{4}$ Saciedad T, puede ser resultado de la deficiencia de nutrientes por lo restrictivo en la cantidad de alimento ofrecida.

Se observó un claro retraso en el crecimiento en peces cultivados en canaletas, lo cual evidencia una restricción de espacio y no de alimento.

La técnica de diagnóstico rx utilizada en el presente estudio es adecuada para diagnosticar malformaciones en peces a edad temprana y puede ser utilizada en otras líneas de investigación donde se requiera un diagnóstico temprano de calidad larvaria-juvenil (estudios de consanguinidad, nutricionales, etc). Debido a la buena calidad de imagen; fue posible la evaluación de la columna vertebral de los juveniles de *C. estor*, identificando principales tres regiones de prevalencia de deformidades óseas en peces blancos.

Se observó un patrón en las regiones vertebrales afectadas en *C. estor*, las cuales se encuentran en los mismos sitios en la columna vertebral, reportados en otras especies.

10. BIBLIOGRAFIA

Alarape A. S., Hussein O. T., Adetunji V. E., Adeyemo K. O., 2015, Skeletal and Other Morphological Abnormalities in Cultured Nigerian African Catfish (*Clarias Gariepinus*, Burchell 1822), *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, vol. 2, no. 5, p. 20-25

Ali M., Nicieza A., Wootton R. D., 2003, Compensatory growth in fishes: a response to growth depression, *Fish and Fisheries*, vol. 4, p. 147-190

Argüello-Guevara W., Bohórquez-Cruz M. y Silva A., 2014, Malformaciones craneales en larvas y juveniles de peces cultivados, *Latin American Journal of Aquatic Research*, vol. 42, no. 5, p. 951

Ashley J. P., 2006, Fish welfare: Current issues in aquaculture, *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 104, p. 199

Barahona-Fernandes M. H., 1982, Body deformation in hatchery reared European sea bass *Dicentrarchus labrax* (L). Types, prevalence and effect on fish survival. *J. Fish Biol.*, vol. 21, p. 239-249

Beckmann C. M., Gilliam F. J., Langerhans R. B., 2015, X-ray imaging as a time-saving, non-invasive technique for diet analysis, *Fisheries Research*, vol. 161, p. 1-6

Béné C., Barange M., Subasinghe R., Pinstrop-Andersen P., Merino G., Gro-Ingunn H., Williams M., 2015, Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu, *Food Sec.*, vol. 7, p. 261-274

Bernier N. J., Bedard N., Richard E., 2004, Peter Effects of cortisol on food intake, growth, and forebrain neuropeptide Y and corticotropin-releasing factor gene expression in goldfish, *General and Comparative Endocrinology*, vol. 135, p. 230–240

Boglione C., Gisbert E., Gavaia P., Witten P. E., Moren M., Fontagn S., Koumoundouros G., 2013, Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 2: main typologies, occurrences and causative factors, *Reviews in Aquaculture*, vol. 5, p. 121-165

Braithwaite V. A., Boulcott P., 2007, Pain perception, aversion and fear in fish, *DISEASES OF AQUATIC ORGANISMS*, vol. 75, p. 131-138

Cho H. S., Lim S. Y., Lee A. J. O., Lee O. W. J. y Park S., 2003, Effects of Feeding Rate and Feeding Frequency on Survival, Growth, and Body Composition of Ayu Post-Larvae *Plecoglossus altivelis*, *World Aquaculture Society*, vol. 34, no. 1, p. 85

Cifuentes R., González J., Montoya G., Jara A., Ortíz N., Piedra P., Habit E., 2012, Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile), vol. 75, no.2, p. 105

Clay J., Folke C., Lubchenco J., Mooney H. y Troell M., 2001, Effects of Aquaculture on World Fish Supplies, *Issues in Ecology*, no. 8-9, p. 2

Colautti D. C., Garcia de Souza J. R., Balboni L., Mariano B. C. R., 2010, Extensive cage culture of pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) in a shallow pampean lake in Argentina, *Aquaculture Research*, vol. 41, p. 377- 380

Costa Â. A. P., Roubach R., Dallago B. S. L., Bueno G. W., McManus C., Bernal F.E.M., 2017, Influence of stocking density on growth performance and welfare of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in cages, *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, vol.69, nom 1, p. 247-249

Da Costa J. I., Sabbag O. J., Marques S. A. L., Espagnoli M. I., Martins G., 2017, Productive performance and economic evaluation of tilapia stocked in different times of the year, *Sociedade Brasileira de Zootecnia*, vol. 46, no. 7, p. 553-559

Davie S. P., Walker P. S., Perrott M. R., Symonds E. J., Preece M., De Clercq A., Munday S. J., 2018, Vertebral abnormalities in free-living Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*, Walbaum) in New Zealand, *Marine and freshwater research*, p. 1-11

Delgadillo-Calvillo A. C., Martínez-Palacios C. A., Berruecos-Villalobos J. M., Ulloa-Arvizu R., López-Ordaz R., Vásquez-Peláez C. G., 2011, Caracterización de la curva de crecimiento en dos especies de pez blanco *Chirostoma estor*, *C. promelas* y sus híbridos, *Vet. Méx.*, vol. 43, no. 2, p. 115-119

Dhert P., Kentouri M. y Sorgeloos P., 1998 Rearing techniques for difficult fish larvae, *World Aquaculture*, p. 50

Duarte M. C., Holmer M., Olsen Y., Soto D., Marbà N., Guiu J., Black K. y Karakassis L., 2009, Will the Oceans Help Feed Humanity?, *BioScience*, vol. 59 no. 11, 967-968

Enberg K., Dunlop E. S., Jørgensen C., 2008, *Fish Growth, Ecological Models*, Elsevier, p. 1565 – 1566

Eroldogan O. T., Kumlua M., Aktas , Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater, *Aquaculture*, vol. 231, 505-510

FAO, 1978, Programa para la Formación de Acuicultores en el Centro Regional Latinoamericano de Acuicultura [online], Available from <http://www.fao.org/docrep/l8156s/l8156s00.htm#Contents> [28 de Febrero del 2018]

FAO, 2012. El estado mundial de la pesca y la acuicultura, p. 3-28

FAO, 2014, El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2014, p. 3-9

FAO, 2014, La pesca y la acuicultura sostenibles para la seguridad alimentaria y la nutrición.

FAO, 2016, Planning for aquaculture diversification: the importance of climate change and other drivers, Technical Workshop, p. 1-8

Figuroa R. y Rodríguez-García R., 2002, Nutrición y Población, En: *Nutrición: La Base para el Desarrollo*, Comité permanente de nutrición del sistema de las Naciones Unidas, p. 1-3

Fisher S., Jagadeeswaran P., Halperna E. M., 2003, Radiographic analysis of zebrafish skeletal defects, *Developmental Biology*, vol. 264, p. 64–76

Fjelldal P. G., Hansen T., Breck O., Ørnsrud R., Lock E. J., Waagbø R., Wargelius A., Witten P. E., 2012, Vertebral deformities in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) – etiology and pathology, *Applied Ichthyology*, vol. 28, p. 433-440

Fjelldal P. G., Hansen T., Breck O., Ørnsrud R., Lock E. J., Waagbø R., Wargelius A., Witten P. E., 2015, Increased dietary phosphorous prevents vertebral deformities in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), *Aquaculture Nutrition*, p. 1-14

Fjelldal P. G., Hansen T., Breck O., Sandvik R., Waagbo R., Berg A., Ornsrud R., 2009, Supplementation of dietary minerals during the early seawater phase increase vertebral strength and reduce the prevalence of vertebral deformities in fast-growing under-yearling Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolt, *Aquaculture Nutrition*, vol. 15, p. 366-378

Fonseca-Madriral J., Pineda-Delgado D., Martínez-Palacios C. A., Rodriguez C., Tocher R. D., 2012, Effect of salinity on the biosynthesis of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in silverside *Chirostoma estor*, *Fish physiology and biochemistry*, vol. 38, no. 4, p. 1047-1049

Fraser M.R. y Nys R., 2005, The morphology and occurrence of jaw and operculum deformities in cultured barramundi (*Lates calcarifer*) larvae, *Aquaculture*, vol. 250, p. 497

Fraser W. K. T., Hansen T., Skjæraasen J. E., Mayer I., Sambaous F., Fjelldal P. G., 2015, The effect of triploidy on the culture performance, deformity prevalence, and heart morphology in Atlantic salmon, *Aquaculture*, vol. 416–417, p. 255–264

Fries C. R., 1986, Effects of Environmental Stressors and Immunosuppressants on Immunity in *Fundulus heteroclitus*, *Amer. Zool.*, no. 26, p. 271-282

Georgakopoulou E., Angelopoulou A., Kaspiris P., Divanach P. y Koumoundouros G., 2007, Temperature effects on cranial deformities in European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.), *Journal compilation*, p. 100

Gill D. C., Fisk M. D., 1996 a Vertebral Abnormalities in Sockeye, Pink, and Chum Salmon, *Fisheries Society*, vol. 95, no. 2, p. 177-182

Grafton Q. R., Daugbjerg M. C., Qureshi E., 2015, Towards food security by 2050, *Food Sec.*, vol. 7, 179–183

Hansen T. J., Fjelldal P. G., Folkedal O., Vågseth T., Oppedal F., 2017, Effects of light source and intensity on sexual maturation, growth and swimming behaviour of Atlantic salmon in sea cages, *Aquacult Environ Interact*, vol. 9, p. 193-204.

HLPE, 2014, La pesca y la acuicultura sostenibles para la seguridad alimentaria y la nutrición. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, p. 13-19

Hualde J. P., Ceferino T W. D., Moreno P., Ferrada M., Demicheli M. A., Molinari L. J., Luquet C. M., 2011, Growth and feeding of Patagonian pejerrey *Odontesthes hatcheri* reared in net cages, *Aquaculture Research*, vol. 42, p. 758-761

Izquierdo M. S., Socorro J., Roo J., 2010, Studies on the appearance of skeletal anomalies in red porgy: effect of culture intensiveness, feeding habits and nutritional quality of live preys, *J. Appl. Ichthyol*, vol. 26, p. 320–326

Kihara, M., Ogata, S., Kawano, N., Kubota, I., Yamaguchi, R., 2002. Lordosis induction in juvenile red sea bream, *Pagrus major*, by high swimming activity. *Aquaculture*, vol. 212, p. 149–158.

Lall P. S., Lewis-McCrea L. M., 2007, Role of nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish — An overview, *Aquaculture*, vol. 267, p. 3-19

Le Boucher R., Quillet E, Vandepute M. Lecalvez J.M, Goardon L, Chatain B, Medale F. Dupont- Nivent M. 2011. Plant- based diet in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum): Are there genotype- diet interactions for main production traits when fish are fed marine vs. Plant-based diets from the first meal?. *Aquacultur*, vol. 321, p. 41-48

Li D., Xu L. y Liu H., 2017, Detection of Uneaten Fish Food Pellets in Underwater Images for Aquaculture, *Aquacultural Engineering*, p. 2

Luo L., Tieliang L., Wei X., Min X., Zhihong M., Na J., Wentong L., 2015, Effects of feeding rates and feeding frequency on the growth performances of juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser schrenckii* Brandt♀ × *A. baeri* Brandt♂, *Aquaculture*, vol. 448. 230-232

Maclean B., 2013, *Peces Ornamentales En: Manual de animales exóticos*. Colección BSAVA, cuarta edición, Ediciones S, España, p. 390

Martínez-Chávez C. C., Alarcon-Silva E. M., Martínez-Palacios C. A., Navarrete-Ramírez P., Raggi L., Corona-Herrera G. A., López G. J., Strüssmann C. A., Ross L. G., 2018, Sexual dimorphism in pelvic fin length of two endangered freshwater atherinopsid species with high aquaculture potential, *North American Journal of Aquaculture*, en prensa

Martínez-Palacios C. A., Barriga T. E., Taylor J.F., Ríos D. M. G., Ross G. L., 2002, Effect of temperature on growth and survival of *Chirostoma estor estor*, *Jordan* 1879, monitored using a simple video technique for remote measurement of length and mass of larval and juvenile fish, *Aquaculture*, vol. 209, num. 1-4, p. 370

Martínez-Palacios C. A., Racotta D. E., Rios D. M. G., Palacios M. E., Toledo C. E. M., Ross L.G., 2006, Advances in applied research for the culture of mexican silversides (*Chirostoma Atherinonsidae*). *BIOCELL*, vol 30, no. 1, p. 137-148

Martínez-Palacios C. A., Rios D. M. G., Campos M. A., Toledo C. E. M., Aguilar V. M. C., Ross L. G., 2003 *Desarrollo tecnológico alcanzado en el cultivo de pez blanco de Pátzcuaro*, Instituto Nacional de Pesca, p. 170

Menoyo D., C. J. López-Bote, A. Obach, and J. M. Bautista. 2011. Effect of dietary fish oil substitution with linseed oil on the performance, tissue fatty acid profile, metabolism,

and oxidative stability of Atlantic salmon. *Journal of Animal Science*, vol. 83, p. 2853-2862.

Mihelakakis A., 2002, Optimization of Feeding Rate for Hatchery-Produced Juvenile Gilthead Sea Bream *Sparus aurata*, *World Aquaculture Society*, vol. 32, no. 2, p. 170-171

Mohseni M., Pourkazemi M., Bahmani M., Falahatkar B., Pourali H. R., Salehpour M., 2006, Effects of feeding rate and frequency on growth performance of yearling great sturgeon, *Huso huso*, *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 22, no. 1, p. 279- 281

Monroy P. F. A., 2018, "Evaluación del efecto del ácido alfa lipoico en el crecimiento y la supervivencia de larvas de pez blanco de pátzcuaro (*chirostoma estor*)", tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, p. 29-30

Morel C., Adriaens D., Boone M., De Wolf T., Hoorebeke V. T. y Sorgeloos P., 2010, Visualizing mineralization in deformed opercular bones of larval gilthead sea bream (*Sparus aurata*), *Applied Ichthyology*, vol. 26, p. 278.

Naylor R. L., Goldberg R. J., Primavera J., Kautsky N., Beveridge M. C. M., Negm K. R., Cobcroft M. J., Brown R. M., Nowak F. B., Battaglene C. S., 2013, The effects of dietary vitamin A in rotifers on the performance and skeletal abnormality of striped trumpeter *Latris lineata* larvae and post larvae, *Aquaculture*, vol. 404–405, p. 105–115

Nowosad J., Kucharczyk D., Targon´ska K., 2017, Enrichment of Zebrafish *Danio rerio* (Hamilton, 1822) Diet with Polyunsaturated Fatty Acids Improves Fecundity and Larvae Quality, *ZEBRAFISH*, vol. 14, no. 4, p. 364-368

Perrott M. R., Symonds J. E., Walker S. P., Hely F. S., Wybourne B., Preece M. A., Davie P. S., 2016, Spinal curvatures and onset of vertebral deformities in farmed Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum, 1792) in New Zealand, *J Appl Ichthyol*, p. 1-11

Pimentel A. C. A., 2009, Uso del Bagre Armado (*Pterygoplichthys disjunctivus*) en ensilado ácido como fuente de proteína alterna en dietas para el cultivo de pez blanco de Pátzcuaro (*Menidia estor*), tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, p. 24-30

Rivera D. N. K., 2016, Expresión génica de las principales enzimas digestivas del pez blanco de Pátzcuaro, *Chirostoma estor*, durante su desarrollo larvario y juvenil. Tesis de maestría, Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo, p. 26-27

Rodrigues S. C., Carvalho G. L., Rodrigues B. F., 2007, Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages, *Aquaculture*, vol. 264, p.135-139

Rodríguez E., Ardila G., Paramo G., 2012, Relaciones morfométricas de crustáceos de profundidad de importancia comercial en el mar caribe colombiano morfometría crustáceos de profundidad, *Bol. cient. mus. hist. nat.*, vol. 16, no. 2, p. 236-238

Ross, G. Lindsay, Martinez Palacios C.A et al 2006. Determination of feeding mode in fish: the importance of using structural and functional feeding studies in conjunction with gut analysis in a selective zooplanktivore *Chirostoma estor estor* Jordan 1880. *Journal of Fish Biology* vol. 68, no.6, p. 1782 - 1794

Roy P. K., Witten P. E., Hall B. K., Lall S.P., 2002, Effects of dietary phosphorus on bone growth and mineralisation of vertebrae in haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.), *Fish Physiology and Biochemistry*, vol. 27, p. 35–48

Smedley M.A., Clokie B.G.J., Migauda H., Campbell P., Walton J., Hunter D., Corrigan D., Taylor J. F., 2016, Dietary phosphorous and protein supplementation enhances seawater growth and reduces severity of vertebral malformation in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), *Aquaculture*, vol. 451, p. 357–368

Solimano P. J., Garcia de Souza J. R., Maiztegui T., Baigún C. R. M., Colautti D. C., 2015, New approaches for growth improvement in pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes, 1835) culture (Atherinomorpha: Atherinopsidae), *Neotropical Ichthyology*, vol. 13, no. 1, p. 215-217

Sprague M., Dick J. R., Tocher D. R., 2016, Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–2015, *Scientific Reports*, p. 1-7

Sung H. C., Sang M. L., Byum H. P., Sung C. J., Cheol Y. C., Jin H. L., 2007, Effect of Daily Feeding Ratio on Growth and Body Composition of Subadult Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, Fed an Extruded Diet during the Summer Season, *The world aquaculture society*, vol. 38, no. 1, p. 68-72

Tacon G. J. A., Metian M., Turchini M. G. y De Silva S. S., 2010, Responsible Aquaculture and Trophic Level Implications to Global Fish Supply, *Reviews in fisheries science*, vol. 18, no. 1, p. 95

Taranger L. G., Carrillo M., Schulz W. R., Fontaine P., Zanuy S., Felip A., Weltzien F. A., Dufour S., Karlsen Ø., Norberg B., Andersson E., Hansen T., 2010, Control of puberty in farmed fish, *General and Comparative Endocrinology*, vol. 165, p. 483-515.

Tello-Ballinas J. A., 2010, “Efecto del fotoperíodo y la temperatura en el crecimiento y determinación sexual del pez blanco de Pátzcuaro (*Menidia estor*).”, tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, p. 28-31

Tran G., Heuzé V., Makkar H.P.S., 2015, Insects in fish diets, *Animal Frontiers*, vol. 5, no. 2, p. 37-42

Trichet V.V., 2010, Nutrition and immunity: an update, *Aquaculture Research*, vol. 41, p. 357

Vega M. E., Díaz F., Espina S., 2004, Balance energético de juveniles de *Chirostoma estor estor* (Jordan, 1879) (Pisces, Atherinopsidae) en relación con el tamaño corporal, *Hidrobiológica*, vol. 14, no. 2, p. 113-120

Velasco C. A., Berasain G. E., Ohashi M., 2008, Producción intensiva de juveniles de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), *Biología Acuática*, no. 24, p. 53-57

Vital-Rodríguez B. E., Ramírez-Herrejón J. P., Moncayo-Estrada R., Caraveo-Patiño J., Domínguez-Domínguez O., 2017, Feeding strategy of silverside species in eutrophic Lake Pátzcuaro, Mexico, *Applied of Ichthyology*, vol. 33, p. 91-101

Wildgoose H. W., 2003, Radiography of Fish, *Fish Veterinary Journal*, vol. 7, p. 30-33

Xiao-Qin L., Huai-Bing X., Wen-Tong S., Xiao-Ying X., Zhen X., Xiang-Jun L., 2018, Grass carp fed a fishmeal-free extruded diet showed higher weight gain and nutrient utilization than those fed a pelleted diet at various feeding rates, *Aquaculture*, p. 8-10

Xu H., Li X., Sun W., Chen J., Gao Q., Shuai K., Leng X., 2017, Effects of different feeding rates of extruded and pelleted feeds on growth and nutrient retention in channel catfish (*Ictalurus punctatus*), *Aquacult Int*, vol. 25, p. 1368-1370

Zhang D., Lin J., 1998, Ingestion Rate and Feeding Behavior of the Peppermint Shrimp *Lysmata wurdemanni* on *Artemia Nauplii*, *Journal of the world aquaculture society*, vol. 29, no. 1, p. 97-102