



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

LABORATORIO DE ACUICULTURA TROPICAL

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES DIETAS EN LA ECONOMÍA DE LA ENGORDA Y EL CANIBALISMO DURANTE LA LARVICULTURA DEL PEJELAGARTO (*Atractosteus tropicus*)

TESIS

Para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo
de Sistemas Tropicales

Presenta:

M. en C. David Julián Palma Cancino

Director de Tesis:

Dr. Rafael Martínez García

Co-director Externo:

Dr. Eucario Gasca Leyva

Villahermosa, Tabasco

2019



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCION**



ENERO 30 DE 2018

**C. DAVID JULIÁN PALMA CANCINO
PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y
MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES DIETAS EN LA ECONOMÍA DE LA ENGORDA Y EL CANIBALISMO DURANTE LA LARVICULTURA DEL PEJELAGARTO (*Atractosteus tropicus*)"**, asesorado por el Dr. Rafael Martínez García y Dr. Eucario Gasca Leyva sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por Dr. Carlos Alfonso Álvarez González, Dra. Susana Camarillo Coop, Dr. Rafael Martínez García, Dr. Emyr Saúl Peña Marín, Dra. Carina Shianya Álvarez Villagómez, Dr. Nicolás Álvarez Pliego y Dra. Susana del Carmen de la Rosa García.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA**

**UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

CARTA AUTORIZACIÓN

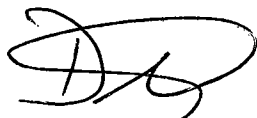
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES DIETAS EN LA ECONOMÍA DE LA ENGORDA Y EL CANIBALISMO DURANTE LA LARVICULTURA DEL PEJELAGARTO (*Atractosteus tropicus*)”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 30 Días del mes de Enero de 2019

AUTORIZO



DAVID JULIÁN PALMA CANCINO

DEDICATORIA

A la memoria de mis abuelos quienes en vida sentaron las bases para hacerme mejor persona; y mi abuela Yolanda quien dio las puntadas finales para terminar de transformarme en un joven adulto soñador y con deseos de superación.

A mis padres, quienes nunca han dejado de ser mi más grandes soporte y apoyo. Sin ustedes, su sabiduría, consejos, enseñanzas, pero sobre todo amor incondicional; el estar en esta etapa nunca hubiera sido posible.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Agradecimientos

Primero que nada, a mis padres por aportar los recursos biológicos, genéticos y embriológicos para que la “chispa de la vida” diera origen a mis primeras células, ¡Gracias por aleatoriamente haberme otorgado el privilegio de poder respirar en esta atmósfera! Además, gracias por todo el apoyo en mis aventuras a lo largo de mi vida.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y la División Académica de Ciencias Biológicas de la misma, por la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado y facilitarme las herramientas para la tesis y artículos científicos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca de posgrado que me permitió la realización de mis estudios.

A mis asesores (directores): Dr. Rafael Martínez García, por tenerme paciencia, guía, apoyo, por su profesionalidad, confianza y su amistad, por nunca rendirse conmigo. Dr. Eucario Gasca-Leyva, por haberme enseñado la belleza de la bioeconomía y la importancia de estudiarla.

A mis sinodales: Dr. Emyr Saúl Peña Marín, Dra. Susana Camarillo Coop, Dra. Carina Shianya Álvarez, Dr. Nicolás Álvarez Pliego y Dra. Susana Del Carmen De La Rosa García; por sus atenciones, recomendaciones y sugerencias para mejorar esta tesis y prepararme para la defensa de la misma.

A la Jefatura de Posgrado: por la labor continua en el seguimiento del proceso de mi formación en este doctorado, así como el apoyo y las facilidades en los trámites.

A todos los profesores de las asignaturas cursadas, por el conocimiento aportado.

A mis compañeros del DEST, por echarnos porras constantemente y apoyarnos cuando fue necesario.

Un especial agradecimiento al Dr. Carlos Alfonso Álvarez González, por guiarme, motivarme, retarme y siempre tener una sonrisa amable al momento de platicar. Su actitud es una muestra que ser un destacado investigador no disminuye la calidad de persona y la calidez humana.

Finalmente, a mi Edith, gracias infinitas por mejorar mi vida con tu presencia, por ser mi inspiración para superarme y por tu amor. ¡Juntos por siempre!

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1. Antecedentes más recientes de la biología y genética de <i>Atractosteus tropicus</i>	4
2.2. Antecedentes de estudios sobre nutrición durante la larvicultura de <i>A. tropicus</i>	6
2.3. Antecedentes sobre el cultivo de juveniles para engorda de <i>A. tropicus</i>	8
2.4. Antecedentes de estudios económicos sobre <i>A. tropicus</i>	10
3. OBJETIVO GENERAL	12
3.1. Objetivo General	12
3.2. Objetivos específicos	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. LITERATURA CITADA	14
6. PUBLICACIONES	19
6.1. <i>Artículo en extenso</i> : Bioeconomic profitability analysis of tropical gar (<i>Atractosteus tropicus</i>) grow-out using two comercial feeds	19
6.2. <i>Artículo en extenso</i> : Evaluación de diferentes esquemas de alimentación para larvicultura de pejelagarto (<i>Atractosteus tropicus</i> , Gill): Efectos en crecimiento, supervivencia y canibalismo	41

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la acuicultura es una de las actividades productivas más importantes para la producción de alimentos y fuentes de proteínas en la alta demanda del consumo humano (FAO, 2016). Esta producción se puede llevar a cabo en diferentes sistemas, tales como: intensivo, semiintensivo y extensivo. El pescado es una de las fuentes más importante de proteínas de origen animal disponible para el consumo humano. Es por ello que la acuicultura está llamada a jugar un rol importante para bajar la presión de pesca (Delgado et al., 2003); por otra parte, significa una oportunidad de generar empleos, así como de crear un ambiente para la recreación y para la pesca comercial (FAO, 2016).

Un área que se encuentra en desarrollo en las investigaciones en sistemas acuícolas en la actualidad es la economía acuícola. La importancia de analizar aspectos económicos en sistemas de producción es tal, que ya se permite la modelación matemática y simulación de la producción en estos sistemas, obteniéndose estimaciones muy cercanas a la realidad (Pérez et al., 2012; Araneda et al., 2013). El análisis bioeconómico permite a los investigadores proporcionar herramientas y alternativas para los productores acuícolas de optimizar la productividad de sus sistemas acuícolas, ya que se evalúan las condiciones técnico-biológicas y económicas que permiten alcanzar mayores rendimientos en los procesos productivos y maximizar los beneficios que se puedan obtener de una granja comercial (Gardner et al., 2013).

El desarrollo y crecimiento de la piscicultura en México se ha basado en la introducción de especies exóticas, las cuales se han domesticado para fines comerciales, como son principalmente tilapias, bagres, carpas y truchas, entre otras; Importando las técnicas de cultivo y adecuándolas a las condiciones de nuestro país (Baltazar, 2007). Los estudios sobre la biología básica de peces nativos con potencial para ser incorporados a la acuicultura local han sido escasos (Toledo,

2013). El desarrollo de las técnicas de cultivo para especies nativas, se ha incrementado mientras la explotación de las poblaciones naturales de estos recursos viene en crecimiento (Álvarez-González et al., 2011; Márquez-Couturier et al., 2015).

El pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) es una especie que habita en ecosistemas acuáticos tropicales, cuya longevidad y supervivencia se debe a su capacidad de adaptarse a vivir en condiciones donde otras especies no han tenido un éxito similar, como pueden ser, poco oxígeno disuelto, zonas pantanosas, alta turbidez, etc. (Márquez-Couturier et al., 2015). Habita en ríos y lagunas del estado de Tabasco. Principalmente se pesca en los municipios de Centla, Macuspana y Jonuta. Esta especie es utilizada en la cocina tradicional tabasqueña, en artesanías y como pez de ornato (Zacarías, 2003). En la actualidad se poseen los conocimientos para todas las etapas de su producción (Márquez-Couturier et al., 2015; Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete, 2015).

En el pejelagarto, se había notado un decremento en la producción anual por pesquerías, probablemente causado por disminución de poblaciones naturales debido a la sobrepesca, aunque, las condiciones climáticas de los últimos años también pudieron afectar la capacidad de captura de parte de los pescadores (Márquez-Couturier et al., 2015). La acuicultura es la solución adecuada para este problema de baja producción y disponibilidad del organismo en el mercado.

Existen varias problemáticas que han evitado se consolide el sistema de producción de pejelagarto a escala piloto comercial (Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete, 2015). En cuestiones de engorda, destaca una falta de estudios enfocados en la rentabilidad financiera de este producto bajo condiciones tropicales. Uno de los objetivos de esta tesis se centró en resolver esta problemática.

Sin embargo, un importante cuello de botella se encuentra en la larvicultura, destacando las bajas supervivencias como la mayor problemática (Frías-Quintana

et al., 2017). Muchos estudios se han enfocado en describir aspectos genéticos (Arias-Rodríguez et al., 2009), fisiológicos (Márquez-Couturier et al., 2006), y digestivos (Frías-Quintana et al., 2010; Guerrero-Zárte et al., 2013; Frías-Quintana et al., 2015). Todas estas investigaciones han llevado al diseño de mejores formulaciones dietéticas así como su evaluación (Frías-Quintana et al., 2016; 2017; Saenz de Rodríguez et al., 2018), las cuales han reportado mejoras considerables en los parámetros de crecimiento y supervivencia.

A pesar de estas investigaciones recientes, aún es necesario enfocarse en el canibalismo como una problemática primordial que merma la supervivencia durante el larvicultivo de *A. tropicus*. Al igual que en otras especies de peces carnívoros de agua dulce (Naumowicz et al., 2017), la presencia de canibalismo entre larvas provenientes de una misma cohorte podría explicar la baja supervivencia y tener un efecto sobre el crecimiento. El segundo objetivo de este trabajo consistió en medir la correlación entre el canibalismo y la supervivencia durante el desarrollo larvario en cautiverio de *A. tropicus*, con el fin de mejorar este sistema de producción; y a largo plazo, definir un menor precio de mercado de pre-juveniles para incrementar los esfuerzos de engorda de este pez a nivel comercial.

2. ANTECEDENTES

El desarrollo de la acuicultura a nivel mundial se ha sustentado en el cultivo de muy pocas especies, principalmente marinas, debido a esto existe falta de conocimiento sobre el cultivo de especies nativas. En México, la acuicultura se ha basado en la importación de tecnología diseñada para especies como lo son la carpa, la tilapia, el bagre y la trucha (Miller et al., 2005). A finales de la década pasada, y gracias en gran parte a la investigación científica y tecnológica, ya se tenía desarrolladas tecnologías para cultivar especies cuyo potencial se veía muy distante, como son el pulpo rojo (Rojas et al., 2008), pepino de mar (Zacarias-Soto et al., 2013) y pejelagarto (Márquez-Couturier et al., 2006; 2015), entre otras.

2.1. Antecedentes más recientes de la biología y genética de *Atractosteus tropicus*

Los trabajos en pejelagarto *A. tropicus* en cuestiones biológicas, ecológicas y acuícolas, datan de más de veinte años en México (Álvarez-González et al., 2007). Miller et al. (2005), lo catalogaron como una especie de agua dulce de alta importancia regional. Debido a la alta utilidad de la especie en la región costera de Tabasco, muchos de estos estudios provienen de este mismo estado. Como se describen en algunos de estos trabajos, el potencial comercial de esta especie es alto, y debido a que su crecimiento y reproducción se facilita en las condiciones ambientales del estado de Tabasco, se han realizado estudios constantes de diferentes aspectos biológicos, nutricionales y fisiológicos que permitan dominar la biología en cautiverio de esta especie (Márquez-Couturier et al., 2006).

En cuestiones genéticas Arias-Rodríguez et al. (2009), es el antecedente más importante en años recientes. En dicho trabajo, se analizó el cariotipo de larvas y adultos de *A. tropicus*, así como la variación cromosómica en ambas etapas. En estadio larval obtuvieron mayor presencia de larvas con 56 cromosomas (35 %), seguido de 58 cromosomas (11.7 %), en donde el rango de cromosomas fluctuó de 46 a 63 pares. A su vez, el cariotipo promedio estuvo compuesto de ocho pares de cromosomas metacéntricos, cuatro pares de submetacéntricos, ocho pares

telocéntricos y ocho pares de micro-cromosomas telocéntricos. No encontraron diferencias en la estructura de los cromosomas sexuales en adultos.

Guerrero-Zárate et al. (2013), realizaron la caracterización parcial de las proteasas digestivas en juveniles de *A. tropicus*. Evaluaron la actividad general de las proteasas digestivas alcalinas y ácidas, así como la actividad específica de la tripsina, quimotripsina, leucina aminopeptidasa y carboxipeptidasa A. Sus resultados mostraron que *A. tropicus* tiene un estómago funcional, en el cual, la hidrólisis de las proteínas comienza con la pepsina. Contiene además endopeptidasas, exopeptidasas y proteasas resistentes a altos valores de pH y temperatura. Concluyeron que la especie es un organismo carnívoro capaz de adaptarse fácilmente a su medio consumiendo proteínas provenientes de distintas fuentes. Y en cautiverio, es un organismo capaz de adaptarse a dietas con distintas fuentes de proteínas en sus composiciones.

En el dominio de la biología y técnicas de cultivo, Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete (2015), hacen una síntesis de los principales conocimientos reportados y a su vez, ofrecen su perspectiva hacia donde deben dirigirse los esfuerzos de estudios biológicos y productivos de la engorda de pejelagarto en el trópico. Concluyen que para permitir una consolidación de la engorda de *A. tropicus*, es necesario dedicar esfuerzos en desarrollar un *pool* genético de reproductores con ascendencia de varias generaciones en cautiverio, así mismo, recalcan la importancia de evaluar el impacto de la transferencia de conocimientos entre el medio productivo y de investigación de esta especie.

Frías-Quintana et al. (2015), estudiaron el desarrollo del tracto digestivo y la actividad enzimática durante la ontogenia de *A. tropicus*. Sus resultados permiten inferir que la alta actividad enzimática temprana en las larvas de esta especie le permite empezar a digerir diversos alimentos tras la absorción del saco vitelino (3 días tras la eclosión). Finalmente detectaron que la máxima actividad enzimática se

da a partir del día 15 tras la eclosión, siendo el momento en que se comienzan a asimilar los nutrientes proporcionados por las dietas preparadas.

Nieves-Rodríguez et al. (2018), evaluaron la administración de prebióticos β -glucanos a distintas concentraciones en las dietas de juveniles de *A. tropicus*, con la finalidad de medir el efecto en el crecimiento, supervivencia, actividad enzimática digestiva y expresión genética, asociada al sistema inmunológico. No encontraron diferencias significativas en el crecimiento (talla y peso); ni en la actividad enzimática digestiva, a excepción de la quimotripsina. No se observaron diferencias significativas en la expresión genética, sin embargo se observó que a una concentración de 2 % de dichos prebióticos, hubo una reducción en la alimentación. Concluyeron que no existen efectos adversos en incluir concentraciones de β -glucanos de 0.5 y 1.0 %, y a una concentración de 1.5 % se incrementa significativamente la actividad de la quimotripsina.

2.2. Antecedentes de estudios sobre nutrición durante la larvicultura de *A. tropicus*

En el ámbito de la alimentación y nutrición de *A. tropicus*, se han realizado una gran cantidad de estudios sobre la utilización de presas vivas, principalmente nauplios de *Artemia*, así como la adaptación al consumo de alimento artificial para trucha (Silver Cup™), evaluando su crecimiento y supervivencia (Frías-Quintana et al., 2010). En este aspecto, los avances permiten mejorar la supervivencia de las larvas al usar presas vivas para obtener altas supervivencias (50 %); sin embargo, al utilizar el alimento artificial para trucha, solamente una parte de la población de larvas lo consumen, mientras que el resto al rechazarlo pueden morir por inanición o pueden presentar canibalismo. De esta manera, si se busca mejorar el proceso de producción de semilla, es fundamental desarrollar alimentos específicos para las larvas al utilizar la información sobre su capacidad digestiva y determinar el potencial de los diversos ingredientes (Frías-Quintana et al., 2010).

Huerta-Ortiz et al. (2009), evaluaron la sustitución del aceite de pescado por aceites vegetales para la formulación de dietas para *A. tropicus*. Sin embargo, obtuvo mejores supervivencias en tratamientos con sustitución parcial del aceite de sardina que con los tratamientos que contaban solamente con aceite de origen vegetal. Se concluye que es indispensable utilizar aceite de pescado para la formulación de dietas para esta especie, siendo más específicos, el aceite de sardina; sugieren que de usarse aceite vegetal, este debe ser en bajas cantidades.

Los resultados de Frías-Quintana et al. (2016), indican que si se incluye una fuente de carbohidratos digerible (almidón de maíz), se obtiene mejor rendimiento en crecimiento y supervivencia que si la fuente de carbohidratos es indigerible (celulosa). Así mismo, los porcentajes de proteínas y lípidos adecuados serían 45 y 16% respectivamente, con lo cual se puede obtener unas semillas de mejor calidad para la engorda. Frías-Quintana et al. (2016), recomiendan el uso de harina de pescado y harina render (ave y cerdo) como fuentes de proteínas. Los lípidos pueden aportarlos la lecitina de soya y el aceite de pescado. De acuerdo a sus resultados la supervivencia larval durante el cultivo se incrementará a cerca del 100 % si se sustituye la fuente de carbohidratos de la formulación de dietas para *A. tropicus* en su totalidad por almidón de maíz.

Posteriormente Frías-Quintana et al. (2017), evaluó el utilizar almidón de papa como fuente de carbohidratos en la formulación de dietas específicas para los requerimientos de *A. tropicus*. Sin embargo, a diferencia del almidón de maíz (Frías-Quintana et al., 2016), obtuvo un crecimiento inferior y baja supervivencia, así como una mayor incidencia de canibalismo.

Escalera et al. (2018), evaluaron las presas vivas más adecuadas para la alimentación post absorción del saco vitelino. Compararon las especies de zooplancton *Artemia franciscana*, *Daphnia pulex* y *Moina macrocopa* a distintas densidades. Los resultados sugieren que *A. franciscana* y *M. macrocopa* fueron las presas preferidas de las larvas de *A. tropicus*, proponen una concentración similar

a 2 individuos mL⁻¹ de *A. fransiscana* durante las primeras tres semanas y *M. macrocopa* tras este tiempo. Sus resultados aportan fuerza a la creencia de que *A. tropicus* es un depredador activo y tiene la capacidad de alimentarse de un alto rango de presas del zooplancton.

Finalmente, Saenz de Rodrigáñez et al. (2018), evaluó el crecimiento y la supervivencia de larvas de *A. tropicus* tras la administración de cuatro dietas microencapsuladas basadas en diversos ingredientes, utilizando *Artemia nauplii* como control. La evaluación arrojó que los mejores parámetros se obtuvieron con el tratamiento control, justificando que el uso de alimento vivo es imperativo en las técnicas adecuadas para la larvicultura de esta especie. La mejor dieta microencapsulada fue la dieta de *Nannochloropsis gaditana* con preparación enzimática. Se concluye que es viable la utilización de dietas microencapsuladas para la larvicultura de este pez; sin embargo, se sugieren mayores estudios para optimizar el diseño y manufactura de estas dietas con miras a mejorar la supervivencia y el crecimiento de las larvas.

2.3. Antecedentes sobre el cultivo de juveniles para engorda de *A. tropicus*

De acuerdo a Márquez-Couturier et al. (2006), tras más de veinte años de estar estudiando la posibilidad de cultivar el pejelagarto *A. tropicus* en el trópico, se habían logrado hasta esa fecha avances importantes. La biología, la alimentación y la nutrición, son hacia donde se habían centrado la mayoría de los estudios en aquellas fechas. En este trabajo se destacan que los estudios más importantes que son el parteaguas a los estudios actuales son: la descripción histológica del tracto digestivo de larvas y juveniles, determinación de enzimas digestivas en éste mismo tracto, la frecuencia y horario de alimentación para un máximo aprovechamiento, y los requerimientos nutritivos de los pre-juveniles y juveniles. Se ha llegado a la conclusión de que los avances en estos rubros, han permitido y seguirán permitiendo avanzar en el mejoramiento de las dietas balanceadas.

En Campeche, se evaluaron dos dietas alternativas a la dieta común a base de trucha, que usualmente se ofrece en producción en cautiverio. Los parámetros

evaluados fueron el peso (g), talla (cm) y la supervivencia (individuos). Utilizando densidades de siembra de 25 individuos de *A. tropicus* en acuarios con capacidad de 20 L, se midieron un total de 300 organismos. Se obtuvo como resultado que la dieta alternativa a base de res, presentó un crecimiento mayor en cuestiones de talla y peso que la otra dieta evaluada (a base de cerdo) y la dieta control. La dieta de cerdo a su vez, presentó en los organismos estudiados un crecimiento menos eficaz, e incluso, deformó a los pre-juveniles de la forma característica alargada. La supervivencia fue igual en la dieta a base de harina de res y la dieta control. Se concluyó que la harina de res puede ser utilizada como un insumo en la elaboración de dietas balanceadas para producción de pejelagarto (Castro-Mejía et al., 2009).

Márquez-Couturier et al. (2015), publicaron el primer manual para la cría en cautiverio de *A. tropicus*. Recomendaron sobre los procesos de inducción al desove en cautiverio, así como la larvicultura y temprana y el pre-engorde. Finalmente se recomiendan los sistemas para una engorda, así como el tiempo y talla recomendable para llevar los organismos al mercado. Sugieren que el cultivo de esta especie es una alternativa viable para disminuir los problemas surgidos de la pesca de este organismo.

En cuestiones sanitarias durante el cultivo, el uso de Baytril y 3-sulfas para combatir posibles infecciones de bacterias Gram positivas, negativas y de hongos, es actualmente muy aceptado dentro de la acuicultura de esta especie (Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete, 2015). El suministro y calidad de agua son muy importantes en la reproducción y la engorda del *A. tropicus*. La selección de la fuente de abastecimiento (río, pozo, laguna) es de vital importancia para garantizar un suministro seguro y una calidad adecuada (Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete, 2015). Sin embargo, se siguen realizando estudios en diferentes vertientes relacionadas con el agua: densidad de peces por litro de agua, recambios de agua por día, uso de sistemas de filtrado de agua, entre otros. Este conocimiento ha ayudado a incrementar la eficiencia de todo el sistema, disminuyendo el volumen de agua que debe ser suministrado a una granja (Márquez-Couturier et al., 2015).

Jesús-Contreras (2016), comparó el crecimiento y diversos valores de calidad del músculo abductor de la engorda de *A. tropicus* con dos dietas diferentes, Silver Cup™ para trucha y Súper®, siendo la segunda diseñada más acuerdo a los requerimientos energéticos de *A. tropicus*. Se obtuvo un mejor crecimiento con Silver Cup™, sin embargo menor grasa mesentérica, mayor contenido de proteínas y mejor rendimiento de canal sugiere una mejor absorción de la dieta Súper®. A su vez, se comparó la calidad sensorial entre la carne de organismos engordados bajo los tratamientos antes mencionados y pejelagartos silvestre; encontrándose mejores valores organolépticos en los peces engordados con Súper®.

Martínez-Cárdenas et al. (2018), evaluaron el efecto de la frecuencia diaria de alimentación en juveniles de *A. tropicus*, sobre el crecimiento y la supervivencia. Utilizando dieta comercial Nutripec™ (PURINA), el diseño experimental incluyó proporcionarles la misma cantidad de alimento (= 2 % de peso corporal) por día, pero distribuidas en 2, 4 y 6 tiempos de alimentación, distribuidas en 10 horas. Después de ocho semanas se midieron y pesaron individualmente, calculándose los índices de crecimiento (tasa específica de crecimiento, K de Fulton, coeficiente de variación, heterogeneidad de talla); así como la supervivencia por conteo. No se encontraron diferencias significativas en los indicadores de crecimiento y la supervivencia, lo cual puede sugerir que puede engordarse con mínimos requerimientos alimenticios, pudiendo significar una optimización de los costos de producción en la cadena de valores.

2.4. Antecedentes de estudios económicos sobre *A. tropicus*

En especies más comerciales y de mayor impacto a nivel mundial encontramos mucha bibliografía regional en cuanto a la economía y cadenas productivas como en tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Gasca-Leyva et al., 2008; Poot.López et al., 2010; 2014) o camarón blanco *Pennaus vannamei* (Araneda et al., 2013). Sin embargo, para *A. tropicus* estos aspectos aún no se ha estudiado con detenimiento.

El único estudio publicado sobre la viabilidad económica de la engorda de *A. tropicus* es de González-Elías et al. (2011), quienes evaluaron la rentabilidad de la producción de esta especie a escala comercial. Utilizaron los registros de la producción de 10 años de la cooperativa donde se realizó la evaluación, para obtener el valor presente neto (VPN), la relación costo/beneficio (B/C) y la tasa interna de retorno (TIR). Obtuvieron un $VPN = 119,825.00$ (MXN\$), $B/C = 1.08$ y $TIR = 25.6\%$, sin embargo, obtuvieron mejores resultados en todos los indicadores financieros al evaluar un policultivo con especies de tilapias, obteniéndose resultados más de cuatro veces superiores.

En cuanto a su comercialización, el pejelagarto es un recurso acuícola y pesquero aprovechado en el sureste de México y parte de Centroamérica. Los usos más comunes son como alimento, ornato y artesanías. Su pesca se concentra en Tabasco y el norte de Chiapas (Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete, 2015). En 2013, un 60% de los ejemplares comercializados en los mercados públicos y pescaderías fueron de 550 g en promedio, 25% pesaron entre 2 y 3 kg y 15% entre 4 y 6 kg (Márquez-Couturier et al., 2015). En este sentido, la acuicultura del pejelagarto representa una importante herramienta para aligerar la carga sobre la pesca, ya que resulta más rápido y barato engordar los organismos a cerca de un kilogramo en un periodo de seis a ocho meses, y se abarcaría la principal demanda del mercado de pejelagarto en la región (organismos de 500-1000 g).

En el caso particular del estado de Tabasco, la sociedad ha desarrollado un gusto particular por el pejelagarto y su consumo incluye una gran variedad de guisos como el pejelagarto asado, tamalito, empanadas, ensalada, al chirmol, entre otros platillos (Márquez-Couturier et al., 2015). Otros usos son la elaboración de artesanías, disecando el cuerpo y aprovechando la rigidez y durabilidad de las escamas en forma de coraza. La comercialización como peces de ornato para la acuariofilia también es otro nicho de comercialización. Un potencial no desarrollado es la pesca deportiva, tal y como sucede en Estados Unidos con algunas especies del género *Lepisosteus spp.* (Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete, 2015).

3. OBJETIVO GENERAL

3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de dietas alternativas sobre la economía de la producción en engorda y el canibalismo durante el larvicultivo de *Atractosteus tropicus*.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de cuatro esquemas de alimentación para larvicultura de *A. tropicus* y su impacto en el crecimiento, supervivencia y canibalismo.
- Analizar la correlación entre el canibalismo y la supervivencia durante el larvicultivo de *A. tropicus*, bajo diferentes esquemas de alimentación.
- Comparar el efecto en el crecimiento de la engorda de pejelagarto *A. tropicus*, bajo dos dietas distintas.
- Evaluar la rentabilidad bioeconómica generada por cada dieta durante la engorda de *A. tropicus* a escala piloto comercial.

4. JUSTIFICACIÓN

Existe un importante acervo de conocimientos sobre la biología, genética y reproducción de *Atractosteus tropicus*. A su vez, las técnicas de cría en cautiverio, larvicultivo y engorde, han mejorado con el paso de los años, llegando incluso a diseñarse dietas específicas para los requerimientos nutricionales demandados por esta especie, basándose en estudios científicos de importante trascendencia.

Sin embargo, aún existen cuellos de botellas dentro de las dos fases de cultivo de este pez tropical. En la larvicultura, aún se presentan altas mortalidades durante el desarrollo, debido a la dificultad de las larvas post-desove de adaptarse al alimento inerte, así como a la tendencia de canibalismo intra-cohortes. Es necesario entender el impacto real del canibalismo en la supervivencia, la correlación de los mismos, y analizar el efecto de distintas dietas sobre la presencia de este comportamiento. Este trabajo pretende resolver estas interrogantes, así como arrojar nuevos conocimientos sobre el impacto de dietas más específicas para el crecimiento de las larvas y mejorar la supervivencia en los sistemas de producción para incrementar la disponibilidad de pre-juveniles para engorda.

La engorda de esta especie no se ha logrado consolidar a escala piloto comercial, a pesar de existir bastante conocimiento publicado al respecto. Entre las problemáticas que han impedido la consolidación, se encuentra la baja disponibilidad de crías, el alto costo de mantenimiento de los reproductores, precios de mercado muy fluctuantes, falta de oferta generada por el desconocimiento de las técnicas de producción, y la falta de análisis de rentabilidad. Los aportes de este trabajo permitirán facilitar el análisis de inversionistas que pretendan llevar a cabo el cultivo de este animal, presentando datos reales de costos de inversión y producción, así como de generación de mercado. A su vez, se evalúa una dieta diferente a las utilizadas por lo general para la engorda de este pez, con la finalidad de mejorar la calidad de la carne de este producto para poder incrementar el potencial comercial acuícola de la especie.

5. LITERATURA CITADA

- Álvarez-González C.A., G. Márquez-Couturier, C. Ramírez-Martínez y F. Jesús-Ramírez, (2011). Manual para el cultivo de mojarra nativa: tenguyaca (*Petenia splendida*) y castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*). UJAT – FOMIX CONACYT, Gobierno del Estado de Tabasco. Natura y Ecosistemas Mexicanos, AC y Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 66p.
- Araneda M., J.M. Hernández, E. Gasca-Leyva y M.A. Vela. (2013). Growth modelling including size heterogeneity: Application to the intensive culture of white shrimp (*P. vannamei*) in freshwater. *Aquaculture Engineering* 56: 1-12.
- Arias-Rodríguez L., S. Parame-Delgadillo, W.M. Contreras-Sánchez, C.A. Álvarez-González. (2009). Karyotype of the tropical gar *Atractosteus tropicus* (Lepisosteiformes: Lepisosteidae) and chromosomal variation in their larval and adults. *Revista de Biología Tropical* 57: 529-539.
- Baltazar P. M. (2007). La tilapia en el Perú: Acuicultura, Mercado y perspectivas. *Revista Peruana de Biología* 13: 267-273.
- Castro-Mejía J., R.Y. Espíndola, M.G. Castro, & G.J.C. Cremiux. (2009). Efecto de dos dietas proteicas en el crecimiento y sobrevivencia de prejuveniles de *Atractosteus tropicus* Gill. 1863 (Pejelagarto). *BIOCYT*, 2(8): 77-88.
- Delgado C.L., N. Wada, M.W. Rosegrant, S. Meijer, & M. Ahmed. (2003). Fish to 2020: supply and demand in changing global markets. WorldFish Center Technical Report 62, UK. 232 p.
- Escalera-Vázquez L.H., O. Domínguez-Domínguez, E. Molina-Domínguez, S.S. Sarma, & S. Nandini. (2018). Determination of optimal prey for rearing the tropical gar *Atractosteus tropicus* (Lepisosteiformes: Lepisosteidae). *Revista de Biología Tropical* 66: 1018-1033.
- FAO. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 224 pp.
- Frías-Quintana C.A., C.A. Álvarez-González, & G. Márquez-Couturier. (2010). Design the microdiets for larviculture alligator gar *Atractosteus tropicus*. *Universidad y Ciencia*. 26(2): 265–282.

- Frías-Quintana C.A., G. Márquez-Couturier, C.A. Álvarez-González, D. Tovar-Ramírez, H. Nolasco-Soria, M.A. Galaviz-Espinosa, & E. Gisbert. (2015). Development of digestive tract and enzyme activities during the early ontogeny of the tropical gar *Atractosteus tropicus*. *Fish Physiology and Biochemistry* 41(5): 1075-1091.
- Frías-Quintana C.A., J. Domínguez-Lorenzo, C.A. Álvarez-González, D. Tovar-Ramírez, & R. Martínez-García. (2016). Using cornstarch in microparticulate diets for larvicultured tropical gar (*Atractosteus tropicus*). *Fish Physiology and Biochemistry* 42(2): 517-528.
- Frías-Quintana C.A., C.A. Álvarez-González, D. Tovar-Ramírez, R. Martínez-García, S. Camarillo-Coop, E. Peña, & M.A. Galaviz. (2017). Use of potato starch in diets of tropical gar (*Atractosteus tropicus*, Gill 1863) larvae. *Fishes*, 2(1): 3.
- Gardner C., S. Larkin, & J.C. Seijo. (2013). Systems to maximize economic benefits in lobster fisheries. In: B.F. Phillips (ed.), *Lobsters: Biology, Management, aquaculture and Fisheries*. John Wiley & Sons, Ltd. pp: 113-138.
- Gasca-Leyva E., J.M. Hernández, & V.M. Veliov. (2008). Optimal harvesting time in a size-heterogeneous population. *Ecological Modelling* 210: 161-168.
- González-Elías J.M., O.A. Ramírez, E.H. Figueroa, & J.M. Loera. (2011). Evaluación financiera de producción de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*): caso cooperativa de producción pesquera acuícola "El Pejelagarto" S.C. de R.L. *Quinta Época* 15(29): 704-718.
- Guerrero-Zarate R., C.A. Álvarez-González, M.A. Olvera-Novoa, N. Perales-García, C.A. Frías-Quintana, R. Martínez-García, & W.J. Contreras-Sánchez. (2013). Partial characterization of digestive proteases in tropical gar *Atractosteus tropicus* juveniles. *Fish Physiology and Biochemistry* 40: 1021-1029.
- Huerta-Ortiz M., C.A. Álvarez-González, G. Márquez-Couturier, W.M. Contreras-Sánchez, R. Civera-Cerecedo, & E. Goytortúa-Bores. (2009). Sustitución total de aceite de pescado con aceite vegetal en larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus*. *Kuxulkab* 15(28): 51-58.

- Jesús-Contreras R. (2016). Evaluación de alimentos balanceados para el cultivo intensivo de juveniles de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). Tesis de Maestría, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México. 112 pp.
- Márquez-Couturier G., C.A. Álvarez-González, W.M. Contreras-Sánchez, U. Hernández-Vidal, A. Hernández-Franyutti, R.E. Mendoza-Alfaro, C. Aguilera-González, T. García-Galano, R. Civera-Cerecedo, & E. Goytortua-Bores. (2006). Avances en la alimentación y nutrición del pejelagarto *Atractosteus tropicus*. En: VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México: 446–553.
- Márquez-Couturier G., C.J. Vázquez-Navarrete, W.M. Contreras-Sánchez, C.A. Álvarez-González. (2015). Acuicultura tropical sustentable: estrategias de conservación y producción de pejelagarto en Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Segunda Edición. Villahermosa, Tabasco; México. 80 pp.
- Márquez-Couturier G., & C.J. Vázquez-Navarrete. (2015). Estado del arte de la biología y cultivo de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). Agroproductividad 8(3): 44–51.
- Martínez-Cárdenas L., Parra-Parra V.G., Ramos-Resendiz S., Hernández G.C., Espinosa-Chaurand D., Soria-Barreto M., Álvarez-González C.A., & Martínez-García R. (2018). Effect of feeding frequency on growth and survival in juvenile gar *Atractosteus tropicus* Gill, 1863, in culture conditions. Latin American Journal of Aquatic Research 46(5): 1034-1040.
- Naumowicz K., J. Pajdak, E. Terech-Majewska, J. Szarek. (2017). Intracohort cannibalism and methods for its mitigation in cultured freshwater fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries 27: 193-208.
- Nieves-Rodríguez K.N., C.A. Álvarez-González, E.S. Peña-Marín, F. Vega-Villasante, R. Martínez-García, S. Camarillo-Coop, D. Tovar-Ramírez, L.T. Guzmán-Villanueva, K.B. Andree, & E. Gisbert. (2018). Effect of β -Glucans in diets on growth, survival, digestive enzyme activity, and immune system

- and intestinal barrier gene expression for tropical gar (*Atractosteus tropicus*) juveniles. *Fishes* 3: 27.
- Pérez E.P., A. Araya, M. Araneda, & C. Zúñiga. (2012). Bioeconomic effect from the size selection in red abalone intensive culture *Haliotis rufescens* as a production strategy. *Aquaculture International* 20(2): 333-345.
- Poot-López G.R., E. Gasca-Leyva, & M.A. Olvera-Novoa. (2010). Input management in integrated agricultura-aquaculture systems in Yucatan: Tree spinach leaves as a dietary supplement in tilapia culture. *Agricultural Systems* 103(2): 98-104.
- Poot-López G.R., J.M. Hernández, & E. Gasca-Leyva. (2014). Analysis of ration size in Nile tilapia production: Economics and environmental implications. *Aquaculture Economics & Management* 15(4): 278-301.
- Rosas C., C. Caamal, R. Cázares, D. Rodríguez, M. Romero, & D. Chay. (2008). Manual Preliminar para el cultivo del pulpo *Octopus maya*. Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM. Secretaría de Desarrollo Rural y Pesca de Yucatán. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Yucatán, México. 36 pp.
- Saenz de Rodrigáñez M., F.V. Aguilar-Tellez, F.J. Alarcón-López, R. Pedrosa-Islas, E.S. Peña-Marín, R. Martínez-García, R. Guerrero-Zárate, W.A. Matamoros, & C.A. Álvarez-González. (2018). Alimentos microencapsulados para el cultivo de larvas de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). *Revista de Biología Tropical* 66: 1298-1313.
- Toledo F.J.S. (2013). Ontogenia y caracterización de las enzimas digestivas de *Cichlasoma trimaculatum* (mojarra tahuina). Tesis de Maestría, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México. 105 pp.
- Zacarías, S. A. (2003). Efecto del horario de alimentación en el crecimiento y supervivencia de larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus*, en condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.

Zacarias-Soto M., M.A. Olvera-Novoa, S. Pensamiento-Villarauz, & I. Sánchez-Tapia. (2013). Spawning and larval development of the four-sided sea cucumber *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867), under controlled conditions. *Journal of the World Aquaculture Society* 44(5): 694-705.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

6. PUBLICACIONES

6.1. *Artículo en extenso*: Bioeconomic profitability analysis of tropical gar (*Atractosteus tropicus*) grow-out using two commercial feeds

Bioeconomic profitability analysis of tropical gar (*Atractosteus tropicus*) grow-out using two commercial feeds

David J. Palma-Cancino¹, Rafael Martínez-García^{1*}, Carlos A. Álvarez-González¹, Ronald Jesús Contreras¹, Eucario Gasca-Leyva², Emyr Peña^{1,3} & Susana Camarillo-Coop¹

¹Laboratorio de Acuicultura Tropical DACBIOL-UJAT, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, C.P. 86039, Villahermosa, Tabasco, Mexico. +52 1(993)3581500 ext 6427.

²CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Km 6 antigua, Carr. Mérida - Progreso, Loma Bonita, 97310 Mérida, Yucatán, México.

³Cátedra CONACyT.

*Corresponding author: biologomartinez@hotmail.com

ABSTRACT. Tropical gar (*Atractosteus tropicus*) aquaculture is a potential economic activity in Southeast Mexico. This study analyzed the economic profitability of tropical gar grow-out using two commercial feeds (Silver Cup® and Super®). The last one was designed based on the digestive physiology of the specie. The experiment was conducted in six concrete ponds of 4 m³ (two treatments with three replicates) for 210 days, in each experimental unit 40 juveniles were stocked with an initial average weight and total length of 104±10 g and 27.7±0.88 cm respectively. At the end of the grow-out, there were statistics differences ($P<0.05$) among treatments where fish fed with Silver Cup® obtained the highest final average weight and total length (450.29±5.36 g and 41.7±1.81 cm respectively), compared with fish fed Super®, which obtained a final average weight and total length of 415.05±5.38 g and 41.4±1.57 cm. Proximal analysis indicated a better protein content and less lipids in fish fed with Super®. The profitability analysis showed that fish fed with Silver

Cup® diet had the highest values with a Net Present Value (NPV) = 55 332.63 USD, Cost/Benefit (C/B) = 1.5 USD and Internal Return Rate (IRR) = 48.38%, while for fish fed with Super® diet was NPV = 50 852.28 USD, C/B = 1.49 USD and IRR = 47.03%. In conclusion is considered that both grow-out foods are profitable, although there is a better nutritional value and less production cost using Super® diet.

Keywords: tropical gar, grow-out, Net Present Value, Internal Return Rate, bioeconomic profitability analysis.

Análisis de rentabilidad bioeconómica en la engorda de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) utilizando dos alimentos comerciales.

RESUMEN. La acuicultura de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) es una actividad económica con alto potencial en el Sureste de México. En estudio analiza la rentabilidad económica en la engorda comercial del pejelagarto utilizando dos alimentos comerciales (Silver Cup® y Súper®). Este último diseñado en base a la fisiología digestiva de la especie. El estudio fue realizado en seis estanques de concreto de 4 m³ (dos tratamientos con tres repeticiones) por 210 días, en cada unidad experimental se colocaron 40 juveniles con un peso promedio de 104±10 g y una longitud total promedio de 27.7±0.88 cm respectivamente. Al final del experimento se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre los tratamientos donde los peces alimentados con la dieta Silver Cup® obtuvieron los mayores pesos y longitudes totales promedio (450.29±5.36 g y 41.7±1.81 cm respectivamente), comparados con los peces alimentados con la dieta Súper®, los cuales alcanzaron un peso y longitud total promedio de 415.05±5.38 g y 41.4±1.57 cm respectivamente. Los análisis químicos proximales indicaron un mayor contenido de proteínas y menor de lípidos en los peces alimentados con la dieta Súper®. El análisis de rentabilidad mostro los valores más altos para los peces alimentados con la dieta Silver Cup® con un Valor Presente Neto (VPN) = 55 332.63 USD, Costo/Beneficio (C/B) = 1.5 USD y una Tasa Interna de Retorno (TIR) = 48.38%, mientras que para los peces alimentados con la dieta Súper® se obtuvo un VPN = 50 852.28 USD, C/B = 1.49 USD y TIR = 47.03%. Se concluye que ambos alimentos de engorda son económicamente rentables, aunque se observaron mejores valores nutricionales y menores costos de producción utilizando la dieta Súper®.

Palabras clave: pejelagarto, engorda, Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno, análisis de rentabilidad bioeconómica.

INTRODUCTION

Tropical gar (*Atractosteus tropicus*) is distributed from southeast Mexico to Central America, including countries such as Costa Rica, Guatemala, Nicaragua, Honduras and El Salvador, it represents a high consumption fishery resource in southeast Mexico (Miller *et al.*, 2009). *Atractosteus tropicus* fishery represents an important income in rural areas as a food resource, handcraft and aquarium product (Márquez-Couturier & Vázquez-Navarrete, 2015).

Its high adaptability gives it a great potential for captivity production (Márquez-Couturier *et al.*, 2013). Studies about its biology and development have been important for understanding its reproduction and captivity growth (Márquez-Couturier *et al.*, 2006), nutritional requirements of larvae and juveniles (Frías-Quintana *et al.*, 2010, 2016, 2017), digestive system development and enzymatic activity (Guerrero-Zarate *et al.*, 2013; Frías-Quintana *et al.*, 2015), as well as grow-out (Vázquez-Navarrete & Márquez-Couturier, 2010; Márquez-Couturier *et al.*, 2013). Also its have been developed specific diets in order to satisfy its nutritional requirements in early stages of larvae (Frías-Quintana *et al.*, 2016), experimental grow-out of juveniles in concrete ponds and the flesh organoleptic evaluation (Jesús-Contreras, 2016) and finally a financial analysis in polyculture (González *et al.*, 2011).

Considering the above-mentioned, the absence of bioeconomic analysis in pilot production systems is one of the reasons why tropical gar aquaculture is not yet at a high commercial level (Márquez-Couturier & Vázquez-Navarrete, 2015). For this reason, the objective of the study was to analyze the profitability on the tropical gar grow-out at a commercial level, based on biological information obtained from the culture development reaching a commercial size, flesh proximal analysis, as well as the costs generated from the production cycle. During the culture, we compared fish growth under conventional diet with a trout commercial feed (Silver Cup®) (Márquez *et al.*, 2013) and a commercial diet designed specifically for tropical gar (Súper®) (Jesús-Contreras, 2016). Also it was evaluated the investment return and the benefits/cost relationship from the tropical gar grow-out and finally several economic indicators that allowed the financial profitability analysis on this monoculture activity.

MATERIALS AND METHODS

Tropical gar juveniles

Fish were obtained from the tropical gar hatchery (Otot ibam), located at the 7.5 Km Comalcalco-Potreriito Zapotal second section in Comalcalco, Tabasco, Mexico. Produced from captivity spawnings and results from the feeding and growth system mentioned by Márquez-Couturier *et al.* (2013).

Experimental design

The growth-out of *A. tropicus* juveniles was evaluated using two commercial foods during 210 days. Feeds used were the Super® diet (specific formulated diet for tropical gar) 4.5 mm particle size, with 38% protein and 7% lipids (Jesús-Contreras, 2016) and trout commercial feed, Silver Cup® 5.5 mm particle size, 42% protein and 15% lipids, conventional feed for culture (Márquez-Couturier *et al.*, 2013). Feed Super® was formulated at the Biochemistry Laboratory UJAT-DACBIOL and manufactured by Consorcio Super S.A. de C.V. in Guadalajara, Jalisco, Mexico by a double extrusion process (Jesús-Contreras, 2016).

For the commercial evaluation, was designed a complete random experiment with three replicates by treatment. We used six concrete ponds (5 x 1 x 1 m), 240 fish were used with an average weight of 104 ± 10 g and a length of 27.7 ± 0.88 cm. The first grow-out phase used 20 fish/m³ with a water volume of 2 m³, at the final phase the density was corrected for 10 fish/ m³ and a water volume of 4 m³.

In both phases fish were fed three times per day (9:00, 13:00 and 17:00 hours). In the first phase fish were fed with the 5% of body mass and at the second phase with 3%. Left over feed was weighted in order to develop the daily consumption analysis.

Growth evaluation

For growth evaluation in weight (g \pm standard deviation) and total length (cm \pm standard deviation), an initial and monthly sampling with a digital scale (TORREY) and length with

a conventional ichthyometer was performed. Feeding was corrected monthly. Survival rate was calculated with direct count of death fish.

Ponds management

Water quality was evaluated weekly with a total water exchange and cleaning of each pond. Dissolve oxygen (7.8 ± 3.7 mg/L) and temperature ($28.2 \pm 5.9^\circ\text{C}$) was recorded with an oxygen meter (YSI^{MR} model 55), pH (7.8 ± 0.6) was recorded with a ph meter (DENVER INSTRUMENT® ultraBASIC).

Proximate composition analysis

The proximate composition analysis was performed using muscle tissue of twelve fish at the beginning of the experiment with an average weight of 90 ± 6 g and a total length of 26.6 ± 0.5 cm, muscle was obtained from dorsal area and then lyophilized. At the end of the experiment 15 fish (five per replicate) were sampled from Super® feed (421 ± 40 g and 41.3 ± 1.24 cm) and Silver Cup® feed (454 ± 58 g and 42.3 ± 1.72 cm). The lyophilized samples were analyzed at CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste) in Baja California Sur, Mexico, for protein content (Microkjeldahl % N x 6.25), lipids (Soxtec-Avanti TECATOR), humidity (weight difference at $70^\circ\text{C}/24$ hours), ash (weight difference calcination at $500^\circ\text{C}/24$ hours), fiber (hydrolysis acid/base method) and energy (calorimeter determination) following method described by AOAC (1995)

Investment

The necessary investment to implement an economically sustainable culture was estimated for a minimum of six tanks of 6 m diameter (35 m^3), with a capacity of 3 600 fish (600 per tank) and one-production cycle per year (Table 2). The cost of two water pumps was estimated, a water well, a concrete pond for water storage, hydraulic material, land preparation, electric plant and set up. Finally, the land cost was estimated according to agriculture land cost ($12.68 \text{ USD}/\text{m}^2$) for 500 m^2 .

Profit and Costs

The only fixed cost (F_C) was the depreciation of the investment (calculated on 5% of the annual amortization), the fixed cost where equal for both feeds. Variable costs were calculated depending on the culture time or the biomass. Costs depending on culture time were: labor (L_C), calculated using the daily minimum wage in Mexico, published in the Diario Oficial de la Federación (DOF, 2017) (4.23 USD) multiplied for worked days and number of workers (1 worker per 6 tanks is enough), energy costs (E_C), calculated estimating the use in Kwh from the pump and illumination, veterinary costs (V_C) material for preventing biological risks during culture. Feeding cost (f_C) not only depends on time but also on biomass, since the daily feeding amount depends on growth (ω), therefore, the use of a function was necessary (Poot-López *et al.*, 2014).

Total costs were estimated following:

$$Tc = F_C + L_C + E_C + V_C + \int_0^{\omega} (f_C(\omega)) d\omega$$

Income was calculated according to the total biomass produced (W) multiplied by the annual average cost per kilogram of *A. tropicus* (p) in Tabasco. The value of the produced biomass (income) was calculated with the following equation (Poot-López *et al.*, 2014):

$$Tv = p(W_T)$$

With the individual cost per fish, a unitary production cost was projected over a 3 600 fish production. Further analysis was performed for the investment cost for this production.

Net present value and internal rate of return

The net present value (NPV) was calculated with the annual net cash flow (NCF) considered for ten years (investment depreciation time), using a discount rate (i) of 10%. The following formula was used for the NPV calculation (Barry & Ellinger, 2010; Kay *et al.*, 2012):

$$NPV = -INV + \sum_{t=1}^T \frac{NCF_t}{(1+i)^t}$$

Where INV are the total costs of the initial investment and T is total time of the project. The cost-benefit relation (C/B) was estimated with the following equation (Kay *et al.*, 2012):

$$\frac{C}{B} = \sum_{t=1}^T Vt(1-r)^{-t} / \sum_{t=1}^T Ct(1-r)^{-t}$$

The internal rate of return (IRR) was calculated when NPV = 0. Finally, NPV, C/B and IRR were compared for each treatment.

Statistical analysis

Individual weight, total length, proximate composition, NPV, IRR and C/B data were analyzed in order to fulfill normality (Kolmogorov-Smirnov) and variance homoscedasticity (Levene) using a t student analysis, survival was analyzed with square chi. All statistics was performed using STATISTICA v10, $\alpha = 0.05$.

RESULTS

Growth and survival

Growth results showed a significant difference among treatments ($P<0.05$). The final average weight was 450.29 ± 5.36 g for Silver Cup® and 415.05 ± 5.38 g for Super® (Fig. 1). Length also showed significance differences ($P<0.05$) from the first to the fifth month. Although the two final months were not statistically different. The final average length was 41.7 ± 1.81 cm for Silver Cup® and 41.4 ± 1.57 cm for Super® (Fig. 2). Survival was 98.7% for both with no statistical differences.

Proximal composition analysis

Proximal analysis of tropical gar flesh tissue at the end of the experiment showed significant differences among treatments ($P<0.05$), except for ash and fiber content (Table 1). The greatest protein content was found in fish fed with Super® (75.5%), compared with those with Silver Cup® (65.8%). Lipids content was statistically different, Silver Cup® (24.7%), followed by Super® (16.6%). The highest significant humidity was for Super® (9.4%) compared to Silver Cup® (1.2%). Highest caloric content was found in Super® (5.95 ± 0.041 Kcal/g).

Investment costs

In order to produce 3600 fish, an investment of 13 526.73 USD was estimated for both cases. This investment includes the purchase of land 500 m², equipment and material, land preparation and electricity installation among others (Table 2).

Production cost

Fish fed with Super® ate daily in average (163.02 g/day), more than those fed with Silver Cup® (138.93 g/day). The total feed used was 260.69 kg for Super® and 232.995 kg for Silver Cup® during all experiment. The cost of Silver Cup® was 1.26 USD/kg, compared

with the Price of Super® 0.92 USD/kg. Each fry had a cost of 0.66 USD, thus, total cost of fry was 158.56 USD. The total cost of electricity was 184.50 USD, labor was 888.39 USD and the expenses for veterinary materials was 47.57 USD (Table 3).

Benefits and income

The total biomass produced with Super® was 48.98 kg, compared with the biomass produced with Silver Cup® 53.13 kg. The commercial value of the farmed tropical gar between 400 and 500 g is 4.23 USD for each organism.

The estimated biomass produced in six concrete ponds of 35 m³ with 600 fish for Super® diet was 1479.24 kg with a value of 414.17 USD. For Silver Cup® diet, the biomass produced was 1 604.83 kg with a value of 449.34 USD (Table 4). The produced cost per fish decreased with the increment of organisms from 120 to 3600 fish, thus, production cost for Super® decreased to 1.74 USD. The production cost of 3 600 fish fed with Silver Cup® will cost 1.90 USD per fish. Therefore, the total production cost for Super® would be 6 253.76 USD, while for Silver Cup® 6 852.97 USD (Table 4). The estimated income for production with Super® would be 12,509.41 USD, with a profit of 6 255.65 USD. For Silver Cup® the income would be 13 571.53 USD, with a profit of 6 718.56 USD.

Net present value and internal rate of return

The NPV at a minimum acceptable rate of return (MARR) of 10% during a ten years from cash flow produced from the tropical gar grow-out with Silver Cup® was 55 332.63 USD. The cost benefit relation (C/B) was 1.50 USD and IRR was 48.38%. For Super® NPV was 50 842.28 USD, (C/B) of 1.49 USD and IRR of 47.03% (Table 5). NPV was estimated for one production cycle per year with a duration from 210 – 240 days. In tropical weather conditions, environmental temperature does not affect growth; however, it is advisable to harvest before the end of December.

DISCUSSION

Results indicated that fish fed with Super® diet obtained a less than average growth than those fed with Silver Cup®. Super® diet contained less protein (4% less). In this sense, Carrillo (2011) did not find differences among weight and size in tropical gar fed with three commercial feeds (Tilapia 38% CP; Tilapia 38%+oil and trout feed), although was observed a high weight and length dispersion between diets.

Water quality parameters did not exceed the allowable limits (Márquez-Couturier *et al.*, 2013), thus, did not have an impact on growth. The experiment showed a survival of 98.87%, which agrees with other carnivorous and omnivorous fish in growth experiments; rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* 96.3% (García-Macías *et al.*, 2004) and channel catfish *Ictalurus punctatus* 97% (Yildirim *et al.*, 2007).

Average weight and size for each fish were suitable in relation to market price (Márquez-Couturier *et al.*, 2013) of 4.23 USD year average (with fluctuations to 5.29 USD in seasons of supply shortages), for fish between 400 to 550 g and 40 to 50 cm in size.

The chemical proximal analysis suggested that the nutritional quality of tropical gar fed with Super® is better than those fed with Silver Cup®, because fish fed with Super® contained greater amount of protein, hence, could have a less viscerosomatic index and greater carcass meat yield, as happen in *Oncorhynchus mykiss* (Francesco *et al.*, 2004; García-Macías *et al.*, 2004). In the near future a better meat quality could result in an advantage for market, as this could allow a greater diversity in products, such as; filets, meat medallions, increasing the income potential. This agrees with results of Jesús-Contreras (2016) found that *A. tropicus* fed with Super® had better sensory quality (taste, texture, color, etc.) than those fed with Silver Cup®, and wild fish.

The production cost per fish was 1.90 USD for Silver Cup® and 1.74 USD for Super®, not taking in consideration the initial investment. These costs allow to obtain almost double profits having a market value of 4.23 USD, which may indicate that producing 3 600 fish is superior to the break-even point. This suggests that both methods are better than the one used by González *et al.* (2011), where they found that in order to reach the balance point it is needed to produce 7 875 organisms of 500 g in average.

Profitability indicators of this study (Table 5), indicated that both treatments have an economic viability, because NPV in both cases was positive, C/B was greater than 1, indicating that with each dollar invest the profit will be 0.49 USD for both cases. Both IRR are acceptable, which are greater than the MARR set in 10% yield, according to proposed by Barry & Ellinger (2010), that the grow-out of tropical gar with both diets is a profitable business.

As the profitability is greater with Silver Cup®, added to the differences found in individual growth during grow-out with Super® could suggest that an increment in protein availability in the diet might result in better growth as proved in de *Oncorhynchus mykiss* (García-Macías *et al.*, 2004), which also improve the profitability indicators with diet Super®.

The NPV and C/B obtained in this study for both cases (Table 5) was superior to those reported by González *et al.* (2011) with Silver Cup®, obtaining a NPV of 6 333.25 USD and a C/B of 1.08 USD.

Our IRR for both diets is greater than those obtained by González *et al.* (2011) (25.6%), which suggest that a monoculture with both diets, could be an activity with high potential for investment return. This same author suggests that a polyculture with species such as; mayan cichlid (*Cichlasoma urophthalmus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*), could considerably increment the profitability indicators having a IRR of 145%. Even if polyculture could amortize the investment in tropical gar production, this will increment considerably the grow-out time by decreasing the feed conversion ratio from 1.9 in monoculture to 0.9 in polyculture (Márquez-Couturier *et al.*, 2013), suggesting a considerable increment in energetics and labor costs.

Despite lower growth using Super® diet, the proximal analysis showed that the nutritional value based on greater protein and less lipids content was greater than using Silver Cup®, thus, this suggest a better product with higher carcass meat yield. More protein in muscle and less mesenteric fat suggest better market opportunities for *A. tropicus*, like fillets commercialization and gourmet dishes, thus giving support to the conclusion that Super® represents a better way to grow out this species in the long term.

Additionally, IRR, C/B and NPV of tropical gar production indicated profitability using both diets. A better nutritional quality was observed using Super® diet, less feeding

cost, as well as better market adaptability, so it is concluded that using Super® feed for grow-out tropical gar is a better alternative in a pilot commercial scale.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the student fellowship and to Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE), SEP, for publishing funds.

REFERENCES

- Barry, P.J. & P.N. Ellinger. 2010. Financial Management in Agriculture. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 416 pp.
- Carrillo, O.H.L. 2011. Evaluación del potencial acuícola de *Atractosteus tropicus* (Pejelagarto) para la diversificación de la piscicultura nacional. FODECYT, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Guatemala, Guatemala.
- Castro, M.J., R.Y. Espindola, M.G. Castro & G.J.C. Cremiux. 2009. Efecto de dos dietas proteicas en el crecimiento y sobrevivencia de prejuveniles de *Atractosteus tropicus* Gill. 1863 (Pejelagarto). BIOCYT, 2(8): 77-88.
- DOF. 2017. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5508586&fecha=21/12/2017.
- Francesco, M., G. Parisi, F. Médale, P. Lupi, S.J. Kaushik & B.M. Poli. 2004. Effect of long-term feeding with a plant protein mixture based diet on growth and body/filler quality traits of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 236: 413-429.
- Frías-Quintana, C.A., Álvarez-González, C.A. & Márquez-Couturier, G. 2010. Design the microdiets for larviculture alligator gar *Atractosteus tropicus*. *Universidad y Ciencia*. 26(2): 265–282.
- Frías-Quintana, C.A., G. Márquez-Couturier, C.A. Álvarez-González, D. Tovar-Ramírez, H. Nolasco-Soria, M.A. Galaviz-Espinosa & E. Gisbert. 2015. Development of digestive tract and enzyme activities during the early ontogeny of the tropical gar *Atractosteus tropicus*. *Fish Physiol. Biochem.* 41(5): 1075-1091.

- Frías-Quintana, C.A., J. Domínguez-Lorenzo, C.A. Álvarez-González, D. Tovar-Ramírez & R. Martínez-García. 2016. Using cornstarch in microparticulate diets for larvicultured tropical gar (*Atractosteus tropicus*). *Fish Physiol. Biochem.* 42(2): 517-528.
- Frías-Quintana, C.A., C.A. Álvarez-González, D. Tovar-Ramírez, R. Martínez-García, S. Camarillo-Coop, E. Peña & M.A. Galaviz. 2017. Use of potato starch in diets of tropical gar (*Atractosteus tropicus*, Gill 1863) larvae. *Fishes*, 2(1): 3.
- García-Macías, J.A., F.A. Núñez-González, O. Chacón-Pineda, R.H. Alaro-Rodríguez, & M.R. Espinosa-Hernández. 2004. Calidad en canal y carne de trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* Richardson, producida en el noroeste del estado de Chihuahua. *Hidrobiológica*, 14(1): 19-26.
- González, E.J.M., O.A. Ramírez, E.H. Figueroa & J.M. Loera. 2011. Evaluación financiera de producción de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*): caso cooperativa de producción pesquera acuícola “El Pejelagarto” S.C. de R.L. *Quinta Época*, 15(29): 704-718.
- Guerrero-Zarate, R., C.A. Álvarez-González, M.A. Olvera-Novoa, N. Perales-García, C.A. Frías-Quintana, R. Martínez-García & W.J. Contreras-Sánchez. 2013. Partial characterization of digestive proteases in tropical gar *Atractosteus tropicus* juveniles. *Fish Physiol. Biochem.*, 40: 1021-1029.
- Huerta, O.M., C.A. Álvarez-González, G. Márquez-Couturier, W.M. Contreras-Sánchez, R. Civera-Cerecedo & E. Goytortúa-Bores. 2009. Sustitución total de aceite de pescado con aceite vegetal en larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus*. *Kuxulkab*, 15(28): 51-58.
- Jesús-Contreras, R. 2016. Evaluación de alimentos balanceados para el cultivo intensivo de juveniles de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). Tesis de Maestría, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma Tabasco, Villahermosa, Tabasco, 112 pp.
- Kay, R.D., W.M. Edwards & P.A. Duffy. 2012. *Farm Management*. McGraw-Hill, New York, New York, 466 pp.
- Márquez-Couturier G., C.J. Vázquez-Navarrete, W. Contreras-Sánchez & C.A. Álvarez-González. 2013. *Acuicultura Tropical Sustentable: Una estrategia para la producción y conservación del pejelagarto (Atractosteus tropicus) en Tabasco, México*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, 87 pp.

- Márquez-Couturier, G., C.A. Álvarez-González, W. Contreras-Sánchez, U. Hernández-Vidal, A.A. Hernández-Franyutti, R. Mendoza-Alfaro, C. Aguilera-González, T. García-Galano, R. Civera-Cerecedo & E. Goytortua-Bores. 2006. Avances en la alimentación y nutrición del pejelagarto *Atractosteus tropicus*. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León: 446-523.
- Márquez-Couturier, G. & C.J. Vázquez-Navarrete. 2015. Estado del arte de la biología y cultivo de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). *Agroproductividad*, 8(3): 44-51.
- Miller, R.R., W.L. Minckley, S.M. Norris, & M.H. Gach, 2009. Peces dulceacuícolas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana, A.C., El Colegio de la Frontera Sur, y Consejo de los Peces del Desierto, Ciudad de México, México. 245 pp.
- Moreira, I.S., H. Peres, A. Couto, P. Enes & A. Olivia-Teles. 2008. Temperature and dietary carbohydrate level effects on performance and metabolic utilisation of diets in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 274: 153-160.
- Poot-López, G., J.M. Hernández, E. Gasca-Leyva. 2014. Analysis of ration size in Nile tilapia production: economics and environmental implications. *Aquaculture* 420-421: 198-205.
- Vázquez-Navarrete, C.J. & G. Márquez-Couturier. 2010. Characterization of the supply network of the tropical gar (*Atractosteus tropicus*) in Tabasco, Mexico. International Network for Lepisosteid Research, Nicholls State University, Thibodaux, Louisiana, USA.
- Yildirim, A.M., S. Richard, C. Lim & H.K. Phillip. 2007. Growth performance and proximate and fatty acid compositions of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed for different duration with a commercial diet supplemented with various levels of menhaden fish oil. *J. World. Aquacult. Soc.*, 38(4): 461-474.

Table 1. Muscle proximal composition of tropical gar fed with two commercial diets

Nutrients	Initial	Silver Cup®	Super®
Proteins (%)	85.62±0.28 ^a	65.8±2.26 ^c	75.5±0.20 ^b
Lipids (%)	5.49±0.04 ^c	24.7±1.76 ^a	16.6±0.48 ^b
Humidity (%)	8.55±0.03 ^a	1.2±0.54 ^b	9.4±1.41 ^a
Ashes (%)	4.65±0.07 ^a	3.4±0.12 ^c	4.0±0.07 ^b
Fibers (%)	0.04±0.02 ^b	0.11±0.04 ^a	0.11±0.03 ^a
Energy (Kcal/g)	5.03±0.007 ^c	5.54±0.048 ^b	5.95±0.041 ^a

Unequal letters indicate significant differences ($P<0.05$)

Table 2. Initial investment required to produce 3,600 tropical gars

Input	Unitary cost (USD)	Quantity (units)	Total cost (USD)
Water pump^a	121.51	2	243.02
Ground preparation^b	369.98	1	369.98
Power plant^c	1,003.17	1	1,003.17
Well construction^b	475.69	1	475.69
Geomembrane pond^d	528.54	6	3,171.24
Pond materials^d	281.43	6	1,688.57
Electrical installation^c	179.70	1	179.70
Water reservoir filters^e	52.85	1	52.85
Land/m²	12.68	500	6,342.49
Total			13,526.73

^a Hidromecánica y Sistemas de Bombeo S. de R. L. de C.V., Villahermosa, Tabasco, México

^b Estimated budget made by a local construction company, Villahermosa, Tabasco, México

^c Comisión Federal de Electricidad (CFE), México

^d ARIGEM, Centro, Tabasco, México

^e The Home Depot, Local Store in Villahermosa, Tabasco, México

Table 3. Production cost calculated for producing 120 fish with two different commercial feed

Input	Cost (USD)	
	Silver Cup®	Super®
Fry	158.56	158.56
Feeding (f_c)	111.80	91.83
Energy (E_c)	184.49	184.49
Labor (L_c)	888.39	888.39
Veterinarians (V_c)	47.57	47.57
Total (T_c)	1 390.81	1 370.84

Table 4. Costs and revenues estimated for producing 3,600 tropical gars/diet

Description	Value (USD)	
	Silver Cup®	Super®
Total cost (Tc)	6,852.97	6,253.76
Sales income (Tv)	13,571.53	12,509.41
Profit (U)	6,718.56	6,255.65

Table 5. Economic profitability for producing 3,600 tropical gars per diet

Description	Silver Cup®	Super®
<i>NPV</i>	55,332.63 USD ^a	50,842.28 USD ^a
<i>B/C</i>	1.50 USD ^a	1.49 USD ^a
<i>IRR</i>	48.38%	47.03%

^a Calculated on a 10% annual minimum acceptable rate of return (MARR)

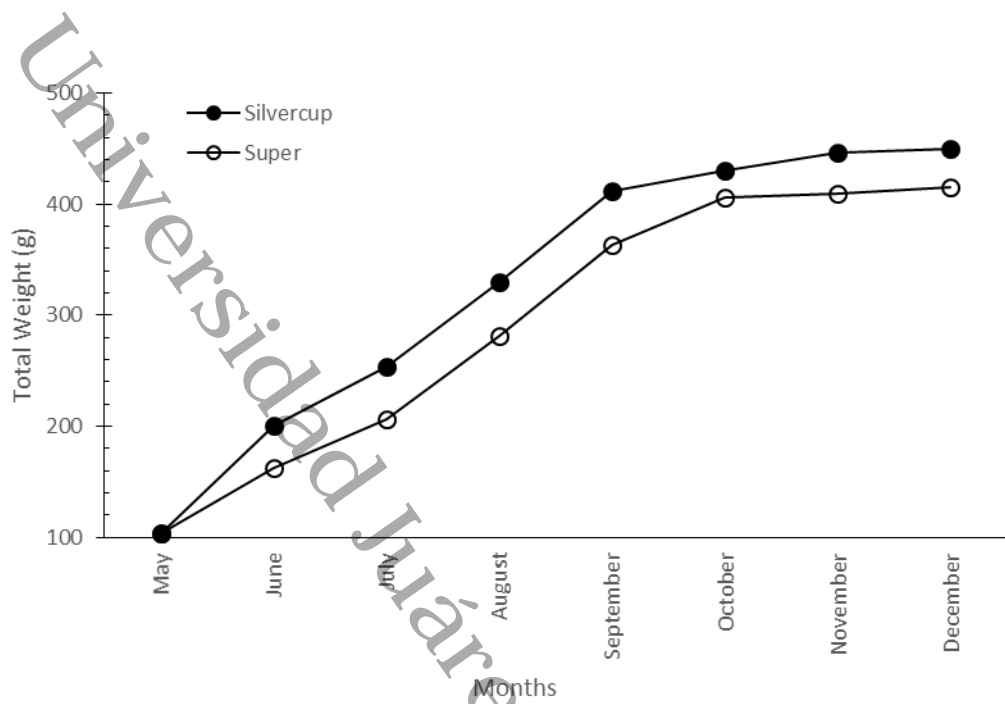


Figure 1. Mean growth weight (g \pm SD) of tropical gar juveniles cultivated with commercial diets.

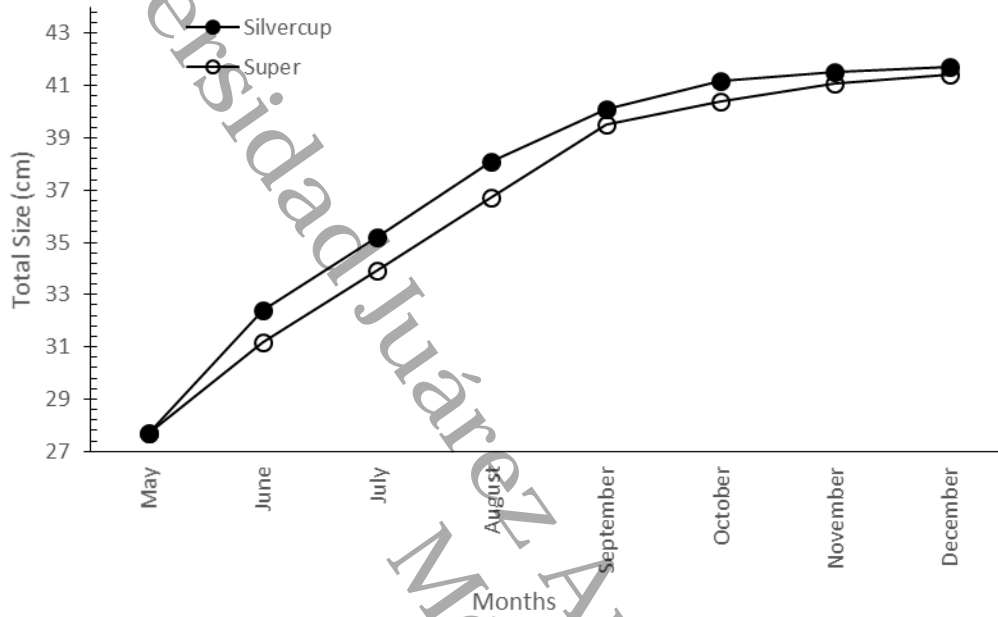


Figure 2. Mean growth size (cm \pm SD) of tropical gar juveniles cultivated with commercial diets

6.2. *Artículo en extenso:* Evaluación de diferentes esquemas de alimentación para larvicultura de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*, Gill): Efectos en crecimiento, supervivencia y canibalismo

1 **Crecimiento y canibalismo en larvicultura de pejelagarto**

2
3 **EVALUACIÓN DE DIFERENTES ESQUEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA LARVICULTURA DE**
4 **PEJELAGARTO (*ATRACTOSTEUS TROPICUS*, GILL): EFECTOS EN CRECIMIENTO,**
5 **SUPERVIVENCIA Y CANIBALISMO**

6
7 **EVALUATION OF DIFFERENT FEEDING SCHEDULE IN TROPICAL GAR (*ATRACTOSTEUS***
8 ***TROPICUS*, GILL) LARVAE: EFFECT ON GROWTH, SURVIVAL AND CANNIBALISM**

9
10 David Julián Palma-Cancino¹, Rafael Martínez-García¹, Carlos Alfonso Álvarez-González¹, Susana
11 Camarillo-Coop¹, Emyr Saul Peña-Marín^{1,2}

12
13 ¹División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,
14 Villahermosa, Tabasco, México.

15 ²Cátedra, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,
16 Ciudad de México, México.

17
18 **RESUMEN**

19 El diseño de dietas específicas con base en la fisiología digestiva, así como un adecuado esquema
20 de alimentación, permiten la disminución del canibalismo y el incremento de la supervivencia en la
21 etapa larvaria de peces. Es así que el objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento, supervivencia

22 y canibalismo en la larvicultura del pejelagarto (*Atractosteus tropicus*, Gill) bajo cuatro esquemas de
23 alimentación: CT (co-alimentación con nauplio de *Artemia* por 12 días y dieta comercial de trucha), T1
24 (alimentación con la dieta comercial de trucha desde la apertura de la boca), T2 (co-alimentación con
25 nauplio de *Artemia* y dieta diseñada para larvas de *A. tropicus* por 12 días) y T3 (alimentación con la
26 dieta diseñada para *A. tropicus* desde la apertura de la boca), así como determinar la correlación entre
27 el canibalismo y la supervivencia mediante un modelo de regresión lineal. Los mejores crecimientos y
28 supervivencias se obtuvieron en los tratamientos con co-alimentación (T2 y CT). En todos los
29 tratamientos se presentó canibalismo, siendo más alto cuando no se co-alimentó con nauplio de
30 *Artemia* (T1 y T3). Se encontró una fuerte correlación ($r = -0.88$, $P < 0.05$) entre la
31 supervivencia y el canibalismo, lo que demuestra que el canibalismo tiene un efecto considerable
32 sobre la supervivencia. Se concluye que el T2 representa la mejor alternativa para la larvicultura de *A.*
33 *tropicus*, ya que presentó mayor crecimiento y menor canibalismo.

34 **Palabras claves.** Canibalismo, larvicultura, modelo de regresión lineal, co-alimentación, pejelagarto

36 **ABSTRACT**

37 The design of specific feed based on digestive physiology, and an adequate feeding schedule, are
38 important to reduce cannibalism and increase survival rate in larvae fish. The first objective of this study
39 was evaluating growth, survival and cannibalism during tropical gar (*Atractosteus tropicus*, Gill)
40 larviculture, using four feeding schedules: CT (12 day co-feeding of *Artemia* nauplii and commercial
41 trout feed), T1 (commercial trout feed), T2 (12 day co-feeding of *Artemia* nauplii and *A. tropicus* larvae
42 designed feed) and T3 (*A. tropicus* larvae designed feed). The second objective was to determinate
43 correlation between survival and cannibalism, using a linear regression model. We observed better
44 growth and survival in the co-feeding treatments (CT and T2). Cannibalism was observed in all
45 treatments, with higher presence in T1 and T3 (treatments without *Artemia* nauplii co-feeding). It was

46 observed a strong correlation between survival and cannibalism ($r = -0.88$, $P < 0.05$),
47 demonstrating that cannibalism has a considerable effect on survival rate. We concluded that T2
48 represent the best alternative for *A. tropicus* feeding during larviculture, since they present better
49 growth and less cannibalism.

50 **Keywords.** Cannibalism, larviculture, linear regression model, co-feeding, tropical gar

51

52 INTRODUCCIÓN

53 La acuicultura en el sureste de México ha tenido un crecimiento constante en los últimos años, debido
54 a la alta presencia de recursos hídricos en la región. El aprovechamiento de especies nativas
55 dulceacuícolas para diversificación del mercado regional ha generado la necesidad de estudiar el
56 potencial acuícola de muchas especies endémicas (Saenz de Rodrigáñez *et al.* 2018). Una de las
57 especies más estudiadas para su producción en cautiverio es el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*,
58 Gill), que en estados como Tabasco y Chiapas es muy consumida, teniendo incluso valor cultural
59 regional (Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete 2015).

60 Los estudios sobre la biología, reproducción y genética de *A. tropicus* en los últimos treinta años han
61 permitido conocer muchos aspectos de su cultivo (Márquez-Couturier *et al.* 2006, Arias-Rodríguez *et al.*
62 2009, Márquez-Couturier y Vázquez-Navarrete 2015). Sin embargo, aún existen problemáticas que
63 evitan exista un dominio total de las técnicas para su producción. Dentro de la larvicultura de la
64 especie, dos problemáticas importantes son el canibalismo y la falta de dietas comerciales diseñadas
65 específicamente para cubrir adecuadamente los requerimientos nutricionales de la especie, aunque
66 existen estudios que han permitido caracterizar las proteasas digestivas, además de diseñar alimentos
67 experimentales para las etapas tempranas de desarrollo (Guerrero-Zárate *et al.* 2013 Frías-Quintana
68 *et al.* 2015).

69 El canibalismo es un problema significativo sobre todo en especies comerciales carnívoras
70 (Naumowicz *et al.* 2017), lo que ha causado pérdidas considerables durante su producción. En este
71 aspecto, el canibalismo entre organismos provenientes de una misma cohorte se presenta
72 principalmente en etapas tempranas del desarrollo y afecta la larvicultura (Król *et al.* 2014), por lo que
73 una mala densidad de siembra inicial (alta o muy baja), falta de experiencia del personal, incorrecta
74 alimentación o el desconocimiento del manejo de la especie, son algunas de las principales causas
75 de canibalismo en etapas tempranas del desarrollo (Baras *et al.* 2003).

76 En *A. tropicus* el canibalismo completo (ingesta total de otro individuo) e incompleto (ingesta parcial o
77 ataque) durante la larvicultura afecta considerablemente la supervivencia. A pesar de que existen
78 estrategias para tratar de controlar este comportamiento como la separación por tallas (Márquez-
79 Couturier *et al.* 2015), o el aislamiento (Frías-Quintana *et al.* 2016), aún no existe una técnica
80 comprobada para mitigar este comportamiento en esta especie.

81 En este contexto, el diseño de dietas específicas con base en la fisiología digestiva de las diferentes
82 especies, particularmente en el periodo larval, puede ayudar a disminuir el canibalismo durante la
83 larvicultura (Frías-Quintana *et al.* 2010), aunque se requiere la utilización de un periodo de co-
84 alimentación con presas vivas como rotíferos, *Artemia*, entre otras (Escalera-Vázquez *et al.* 2018), lo
85 que mejora así la supervivencia y tiene un efecto positivo en la producción. Por lo cual, recientemente
86 se ha incrementado el esfuerzo en la investigación de mejores dietas para larvas de *A. tropicus* (Frías-
87 Quintana *et al.* 2016, Frías-Quintana *et al.* 2017, Saenz de Rodríguez *et al.* 2018).

88 Este trabajo está enfocado en evaluar distintas estrategias de alimentación durante la larvicultura de
89 *A. tropicus*, presentando los efectos no sólo sobre el crecimiento y la supervivencia, sino sobre el
90 canibalismo; asimismo, se determinó la relación del canibalismo con la supervivencia con la finalidad
91 de mejor la estrategia de alimentación que permita disminuir el canibalismo durante la larvicultura de
92 la especie.

93 **MATERIALES Y METODOS**

94 **Obtención de las larvas.** La obtención de las larvas de *A. tropicus*, así como el diseño experimental
95 se realizaron dentro de las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura Tropical de la División
96 Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACBiol-UJAT).
97 Las 3 600 larvas de *A. tropicus* empleadas para la realización de este trabajo se obtuvieron de
98 embriones a partir de un desove inducido de reproductores (1 hembra 3.5 kg de peso promedio y 4
99 machos 1.5 kg de peso promedio) mediante la utilización de 35 mg kg⁻¹ de hormona LHRH-a (Márquez-
100 Couturier *et al.* 2015). Los reproductores fueron colocados en un tanque circular de 2 000 L, tras el
101 desove y su fecundación (16 horas post-inducción) fueron retirados, manteniéndose los huevos hasta
102 la eclosión (3 días tras el desove). Después de la absorción del saco vitelino (5 días tras la eclosión),
103 se colocaron las larvas en tanques circulares de plástico con 70 L de agua, conectados a un sistema
104 de recirculación con un reservorio de 1 500 L con función de filtro biológico y sedimentador de sólidos,
105 además de una bomba de 1 HP (Jacuzzi, JWPA5D-230A, Delavan WI, USA), y un termostato de titanio
106 (PSA^{MR} R9ce371).

107 **Diseño Experimental.** El tratamiento control (CT) se realizó por medio de una co-alimentación con
108 nauplio de *Artemia* (Biogrow, PROAQUA®) y alimento comercial para trucha Silver Cup™ (45 % de
109 proteína y 16 % lípidos) durante los primeros 12 días del cultivo, para posteriormente utilizar solo la
110 dieta comercial. El tratamiento experimental (T1) consistió solamente en alimentación con dieta Silver
111 Cup™ para trucha desde el momento de la apertura de la boca (primera alimentación). El tratamiento
112 2 (T2) consistió en la misma co-alimentación utilizando una dieta experimental microparticulada
113 diseñada con base en la fisiología digestiva de la especie (Frias-Quintana *et al.* 2016). El tratamiento
114 3 (T3), consistió en solo dieta experimental diseñada con base en la fisiología de *A. tropicus* desde la
115 apertura de la boca de las larvas. La dieta diseñada fue elaborada en el Laboratorio de Acuicultura

116 Tropical de la DACBioI-UJAT, su composición se encuentra en la Tabla 1. El esquema de alimentación
117 utilizado para las larvas en cada tratamiento se ejemplifica en la Figura 1.

118 La distribución de las larvas y los cuatro tratamientos fue completamente aleatoria y se replicaron tres
119 veces cada uno, para lo cual se sembraron 300 organismos en cada unidad experimental (tinas
120 ovaladas de plástico con 70 L de agua conectadas al sistema de recirculación). El experimento duró
121 45 días y en cada tratamiento se alimentaron a saciedad cinco veces al día durante los primeros 20
122 días (08:00, 10:15, 12:30, 14:45 y 17:00); del día 21 al 45, las larvas se alimentaron cuatro veces al
123 día a saciedad (08:00, 11:00, 14:00 y 17:00). Las heces y alimento no consumido fueron sifoneados
124 dos veces al día y se hicieron recambios totales de agua cada siete días.

125 La calidad del agua fue monitoreada de forma diaria, registrándose datos de temperatura (26.6 ± 3.7
126 °C) y oxígeno disuelto ($4.9 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$) con un oxímetro marca YSI™ modelo 55 DO (OH, USA), así
127 como pH (7.27 ± 0.23) con un potenciómetro marca ADWA modelo AD11 (Szeged, Hungría).

128 **Crecimiento y supervivencia.** Se realizó una biometría inicial a 30 organismos aleatorios para
129 obtener el promedio de talla ($17.4 \pm 0.6 \text{ mm}$) con un vernier, y el peso ($0.029 \pm 0.002 \text{ g}$) con una
130 balanza analítica OHAUS Explorer 224 (New Jersey, USA). Cada 15 días se tomaron aleatoriamente
131 30 organismos en cada réplica de cada tratamiento y se registró la longitud total y el peso húmedo. Al
132 final del experimento se censó el total de organismos vivos en cada réplica de cada tratamiento, ese
133 censo se utilizó para calcular la supervivencia (S) utilizando la siguiente fórmula: Supervivencia (S) =

134 $\left(\frac{N_f}{N_i}\right) * 100$, donde N_i es el número inicial de organismos y N_f el número final de organismos.

135 **Manejo del canibalismo.** Para evaluar el canibalismo durante el experimento las larvas que
136 presentaron este comportamiento en cada tratamiento fueron cuantificados en el momento que se
137 observó, ya sea el canibalismo completo (deglución total de otro individuo), para lo cual se aislaron en
138 pequeñas jaulas flotantes de plástico dentro de los tanques en que se encontraban y

139 proporcionándoles el mismo tratamiento de alimentación, buscando se readaptaran al alimento para
140 ser liberados en su respectiva unidad experimental (Frías-Quintana *et al.* 2016). Por su parte, el
141 canibalismo incompleto (agresividad hacia otro individuo mediante mordedura), fue parcialmente
142 controlado y cuantificado cuando los individuos fueron detectados a lo largo del experimento.

143 **Análisis estadístico.** Para evaluar el crecimiento en talla y peso, los datos obtenidos durante el
144 experimento fueron evaluados para homocedasticidad (Levene). Se aplicó un análisis de la varianza
145 de un factor (One-Way ANOVA), con un análisis a posteriori de Bonferroni para encontrar las
146 diferencias entre los tratamientos. Para medir la correlación entre el canibalismo y la supervivencia,
147 se realizó una prueba de regresión lineal simple (R^2 Pearson). Todos los análisis fueron realizados
148 con un nivel de significancia de 0.05, utilizando el software STATGRAPHICS Centurion XVIII
149 (Statgraphics Corporation, USA).

150 RESULTADOS

151 **Crecimiento, supervivencia y canibalismo.** Los resultados obtenidos en crecimiento mostraron
152 valores más altos en el T2, con un peso promedio de 3.37 ± 1.46 g y una talla de 97.74 ± 13.07 mm;
153 los organismos del T3 fueron los siguientes en peso con 2.18 ± 0.83 g, con una talla de 84.51 ± 12.82
154 mm; en el CT se obtuvo un peso promedio de 2.16 ± 0.73 g y una talla de 87.5 ± 9.35 mm;
155 finalmente, el T1 presentó el menor crecimiento con 1.78 ± 0.45 g de peso promedio y 80.44 ± 7.86
156 mm de talla promedio. Los análisis estadísticos determinaron que los tratamientos presentaron
157 diferencias significativas ($P < 0.05$) para ambos valores de crecimiento (Fig. 2a, b). El test de
158 Bonferroni determinó que el T2 es estadísticamente diferente ($P < 0.05$) a CT, T1 y T3 para peso y
159 longitud total. El mejor porcentaje de supervivencia se observó en los organismos del T2 con un 32.33
160 %, seguido por CT con 15.56 %, T3 con 5.56 %, finalmente la más baja fue T1 con 1 % de
161 supervivencia (Fig. 3).

162 En todos los tratamientos se observó canibalismo entre los organismos (Fig. 3). El total de organismos
163 separados tras observarse comportamiento caníbal fue de 89 (9.9 %) en el CT, 204 en el T1 (22.67
164 %), 49 en el T2 (5.44 %), y 40 en el T3 (13.55 %); este comportamiento caníbal se observó
165 principalmente entre los 5 y 20 días de iniciado el experimento. El porcentaje de canibalismo por
166 tratamiento fue significativamente menor ($P < 0.05$) en T2 al compararlo con los demás tratamientos.
167 Cabe mencionar que en T1, se observó una mortalidad de los organismos caníbales, ya que algunos
168 fueron encontrados con otro organismo a medio devorar o al separarlos, murieron un o dos días
169 después; esto también se observó en los demás tratamientos, pero no más de dos casos.

170 El análisis de regresión lineal simple arrojó que existe una relación estadísticamente significativa entre
171 la supervivencia y el canibalismo ($P < 0.05$); el estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica
172 en un 77.38 % la variabilidad en la supervivencia. El coeficiente de correlación ($r = -0.88, P <$
173 0.05), indica una moderadamente fuerte relación entre las variables (Fig. 4).

174 **DISCUSION**

175 Se obtuvieron buenos resultados en crecimiento en este experimento en los dos tratamientos en que
176 hubo una co-alimentación (CT y T2) y en el uso exclusivo de dieta diseñada con base en la fisiología
177 digestiva de *A. tropicus* (T3). Sin embargo, el análisis estadístico de los promedios finales en longitud
178 total y peso húmedo, así como en supervivencia arrojó que existe una diferencia significativa utilizando
179 el T2 (co-alimentación con nauplio y dieta diseñada) como estrategia de alimentación. Los resultados
180 del análisis estadístico sugieren que el T2 es la mejor alternativa de las evaluadas para larvicultura de
181 *A. tropicus*.

182 La longitud total promedio tras 45 días de cultivo, mostró que las larvas de los tratamientos CT, T2 y
183 T3 alcanzaron el tamaño de comercialización para venta de alevines o pre-juveniles dentro de los
184 tiempos previamente reportados por otros autores (Márquez-Couturier *et al.* 2015). En este sentido,

185 se lograron crecimientos recomendados de 80 – 120 mm para pasar a la etapa de alevinaje de la
186 especie.

187 El crecimiento observado en los tratamientos CT, T2 y T3, fueron muy similares a las obtenidas
188 previamente por Frías-Quintana *et al.* (2016), pero en relación a la longitud total se obtuvieron mejores
189 promedios (10 – 40 mm superiores) durante este estudio, aunque esto puede ser debido a que en este
190 diseño experimental se planteó alimentar por 15 días más. Este menor crecimiento en peso húmedo
191 puede deberse a la mayor densidad de cultivo utilizada en nuestro experimento (300 organismos por
192 unidad experimental), lo que pudo incrementar la competencia por el alimento sobre todo en los
193 primeros días del cultivo, y pudiendo ocasionar un rezago y una mayor depensación inicial; este
194 fenómeno ha sido reportado en otras especies de peces carnívoros (Walters y Kitchell 2001), así como
195 en otras especies de peces omnívoros como la tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus* (Gasca-Leyva *et*
196 *al.* 2008).

197 El crecimiento en este experimento fue muy superior a los obtenidos en otro experimento usando
198 dietas experimentales a base de almidón de papa (Frías-Quintana *et al.* 2017), donde los organismos
199 no lograron pesar más de 1 g, además de tallas bajas entre 40 – 50 mm, lo cual refuerza el hecho de
200 que la dieta experimental utilizada en nuestro trabajo se adapta bien a los requerimientos nutricionales
201 de *A. tropicus*.

202 Los resultados de este trabajo además sugieren que la formulación propuesta de Frías-Quintana *et al.*
203 (2016), donde se utiliza el almidón de maíz como fuente de energía, así como las fuentes de proteína
204 por medio de la inclusión de harina de pescado y harina subproductos de ave en la dieta utilizada en
205 este estudio; ofrece mejor crecimiento. Particularmente en los peces alimentados con co-alimentación
206 (*Artemia*-Dieta diseñada), el crecimiento en talla y peso fue superior ($P < 0.05$). Asimismo, se
207 incluyó el aceite de pescado como la principal fuente de lípidos, lo cual fue realizado en un estudio

208 previo por Huerta-Ortiz *et al.* (2009); cabe resaltar que los resultados en crecimiento obtenidos en este
209 estudio fueron mejores a los previamente obtenidos para el cultivo de larvas *A. tropicus*.

210 La supervivencia en este experimento para todos los tratamientos fue menor al 50 %, esto coincide
211 parcialmente con otros trabajos previos como el de Frías-Quintana *et al.* (2016), quienes evaluaron
212 dietas diseñadas en función de la fisiología digestiva, y donde adicionaron el almidón de maíz como
213 fuente energética por lo que obtuvieron valores entre 58 y 97 % de supervivencia, mientras que para
214 las larvas alimentadas con la dieta de trucha se observó una mortalidad casi total. Si bien, en este
215 experimento se utilizó la misma composición en la dieta experimental evaluada que Frías *et al.* (2016),
216 el hecho de prolongar 15 días más el cultivo para este experimento puede ser una causa parcial de
217 las diferencias entre las supervivencias de los tratamientos de almidón de maíz, ya que se observó
218 una mortalidad constante de organismos en los días finales del cultivo, así como un incremento de la
219 agresividad entre los organismos, además del incremento en la densidad utilizada en comparación
220 con otros estudios.

221 Los valores de supervivencia obtenidos en nuestro estudio, concuerdan más con los valores de Frías-
222 Quintana *et al.* (2017), quien evaluó la efectividad de utilizar diferentes cantidades de almidón de papa
223 como fuente de energía. En dicho experimento se obtuvieron supervivencias entre 16 - 28 % y se
224 observó un alto porcentaje de canibalismo en todos los tratamientos, superior al 30 %. El canibalismo
225 reportado por Frías-Quintana *et al.* (2017) fue muy alto comparándolo con nuestro experimento,
226 excepto en el T1 (Silver Cup™ sin co-alimentación de nauplios). La alta mortalidad y canibalismo en
227 dietas a base de almidón de papa, al compararlas con dietas a base de almidón de maíz, puede sugerir
228 que incluir el almidón de maíz a la composición de la dieta inerte para *A. tropicus* reduciría la incidencia
229 de canibalismo, incrementando la supervivencia larvaria.

230 Incluir una co-alimentación con nauplio de *Artemia sp* es determinante para mejorar la supervivencia
231 del larvicultivo, ya que se obtuvieron mejores porcentajes en los tratamientos de co-alimentación

232 (CT=15.56 %; T2=32.33 %). La importancia de la utilización de nauplio de *Artemia* coincide con el
233 trabajo de Saenz de Rodrigáñez *et al.* (2018), quienes en su evaluación de dietas microencapsuladas
234 para larvas de *A. tropicus* las cuales fueron elaboradas con cubierta de alginatos, encontraron una
235 supervivencia mayor al 80 % en los organismos alimentados con nauplio de *Artemia* en comparación
236 con las microcápsulas donde se obtuvieron supervivencias sumamente bajas.

237 En este sentido, las mejores supervivencias se lograron en los tratamientos con co-alimentación, lo
238 que coincide con los resultados de Escalera-Vázquez *et al.* (2018), donde reportan que la utilización
239 de *Artemia fransiscana* como presa viva para las primeras semanas de alimentación incrementa la
240 supervivencia y ayuda a adaptar a las larvas de *A. tropicus* a la vida en cautiverio; estos autores,
241 obtuvieron mejores los resultados utilizando una densidad baja de 2 individuos mL⁻¹ de *A. fransiscana*
242 durante el destete, lo que pudo ser considerado para mejorar la adaptación de los organismos a un
243 dieta inerte ya que para este experimento la mayor densidad de *Artemia sp* utilizada fue de 0.68
244 individuos mL⁻¹.

245 Durante nuestro experimento el canibalismo completo se observó principalmente durante los primeros
246 días del cultivo, cuando se considera la adaptación al alimento inerte (Márquez-Couturier *et al.* 2015).
247 Sin embargo, al igual que en la perca *Perca fluviatilis* (Baras *et al.* 2003) la agresividad (canibalismo
248 incompleto) se observó aun después de la adaptación a la dieta comercial. En este aspecto, la alta
249 correlación encontrada entre el canibalismo y la supervivencia ($r = -0.88, P < 0.05$), sugieren que
250 utilizando una co-alimentación inicial de nauplio de *Artemia sp* en conjunto con la dieta diseñada en
251 función de la fisiología digestiva de la especie, reduce el canibalismo durante el larvicultivo. Si bien,
252 esto coincide con el resultado de Frías-Quintana *et al.* (2016) en relación a los valores de supervivencia
253 y canibalismo obtenidos en ambos estudios, se debe descartar la importancia de una adecuada
254 densidad de siembra inicial de las larvas como un efecto mitigador del canibalismo tal y como sucede
255 con la *P. fluviatilis* (Baras *et al.* 2003); asimismo, una larvicultura exitosa depende del origen y calidad

256 de los reproductores y las condiciones controladas de las zonas de desove en laboratorio como en
257 *Siluris glanis* (Król *et al.* 2014).

258 Nuestros resultados muestran alta correlación entre el canibalismo con la supervivencia, por lo que se
259 requiere buscar soluciones para mitigar este comportamiento en la acuicultura de peces carnívoros,
260 particularmente durante el periodo larval. Es así que controlar el canibalismo por medio de la
261 domesticación de las especies, permitirá disminuir el canibalismo (Naumowicz *et al.* 2017), o por
262 ejemplo, mejorar el pool genético en varias generaciones de reproductores de tal manera que se
263 elimine ese carácter relacionado con la agresividad de la especie (Márquez-Couturier y Vázquez-
264 Navarrete 2015).

265 **CONCLUSIONES**

266 Se observó mayor crecimiento, mejor supervivencia y menor canibalismo en las larvas alimentadas
267 con una co-alimentación inicial con nauplio de *Artemia sp* y la dieta diseñada en función de la fisiología
268 digestiva de *A. tropicus* (Frias-Quintana *et al.* 2010, 2016), lo cual sugiere que es una mejor alternativa
269 al uso de dieta para trucha durante la larvicultura; sin embargo, es fundamental evaluar los aspectos
270 de densidades de siembra inicial de larvas y presas a fin de disminuir el canibalismo de la especie.

271 **LITERATURA CITADA**

- 272 Arias-Rodríguez L, Paramo-Delgadillo S, Contreras-Sánchez WM, Álvarez-González CA (2009)
273 Karyotype of the tropical gar *Atractosteus tropicus* (Lepisosteiformes: Lepisosteidae) and
274 chromosomal variation in their larval and adults. *Revista de Biología Tropical* 57: 529-539.
- 275 Baras E, Kestemont P, Mélard C (2003) Effect of stocking density on the dynamics of cannibalism in
276 sibling larvae of *Perca fluviatilis* under controlled conditions. *Aquaculture* 219: 241-255.
- 277 Escalera-Vázquez LH, Domínguez-Domínguez O, Molina-Domínguez E, Sarma SS, Nandini S (2018)
278 Determination of optimal prey for rearing the tropical gar *Atractosteus tropicus*
279 (Lepisosteiformes: Lepisosteidae). *Revista de Biología Tropical* 66: 1018-1033.

280 Frías-Quintana CA, Álvarez-González CA, Márquez-Couturier G (2010) Design of microdiets for the
281 larviculture of tropical gar *Atractosteus tropicus*, Gill 1863. *Universidad y Ciencia* 26(3): 265-
282 282.

283 Frías-Quintana CA, Márquez-Couturier G, Álvarez-González CA, Tovar-Ramírez D, Nolasco-Soria H,
284 Galaviz-Espinosa MA, *et al.* (2015) Development of digestive tract and enzyme activities during
285 the early ontogeny of the tropical gar *Atractosteus tropicus*. *Fish Physiology and Biochemistry*
286 41: 1075-1091.

287 Frías-Quintana CA, Domínguez-Lorenzo J, Álvarez-González CA, Tovar-Ramírez D, Martínez-García
288 R (2016) Using cornstarch in microparticulate diets for larvicultured tropical gar (*Atractosteus*
289 *tropicus*). *Fish Physiology and Biochemistry* 42: 517–528.

290 Frías-Quintana CA, Álvarez-González CA, Tovar-Ramírez D, Martínez-García R, Camarillo-Coop S,
291 Peña-Marín ES, *et al.* (2017) Use of potato starch in diets of tropical gar (*Atractosteus tropicus*,
292 Gill 1863) larvae. *Fishes* 2(1): 3.

293 Gasca-Leyva E, Hernández JM, Veliov VM (2008) Optimal harvesting time in a size-heterogeneous
294 population. *Ecological Modelling* 210: 161-168.

295 Guerrero-Zarate R, Álvarez-González CA, Olvera-Novoa MA, Perales-García N, Frías-Quintana CA,
296 Martínez-García R, *et al.* (2013) Partial characterization of digestive proteases in tropical gar
297 *Atractosteus tropicus* juveniles. *Fish Physiology and Biochemistry* 40: 1021-1029.

298 Huerta-Ortiz M, Álvarez-González CA, Márquez-Couturier G, Contreras-Sánchez WM, Civera-
299 Cerecedo R, Goytortua-Bores E (2009) Sustitución total de aceite de pescado con aceite
300 vegetal en larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus*. *Kuxulkab* 15(28): 51-58.

301 Król J, Flisiak W, Urbanowicz P, Ulikowski D (2014) Growth, cannibalism, and survival relations in
302 larvae of european catfish, *Siluris glanis* (Actinopterygii: Siluriformes: Siluridae) – attempts to
303 mitigate sibling cannibalism. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 44: 191-199.

- 304 Márquez-Couturier G, Álvarez-González CA, Contreras-Sánchez WM, Hernández-Vidal U,
305 Hernández-Franyutti A, Mendoza-Alfaro RE, *et al.* (2006) Avances en la alimentación y
306 nutrición del pejelagarto *Atractosteus tropicus*. En: VIII Simposium Internacional de Nutrición
307 Acuícola, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México: 446–553.
- 308 Márquez-Couturier G; Vázquez-Navarrete CJ (2015) Estado del arte de la biología y cultivo de
309 pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). *Agroproductividad* 8(3): 44–51.
- 310 Márquez-Couturier G, Vázquez-Navarrete CJ, Contreras-Sánchez WM, Álvarez-González CA (2015)
311 Acuicultura Tropical Sustentable: Una estrategia para la producción y conservación del
312 pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) en Tabasco, México (2nd ed.), Villahermosa, Tabasco:
313 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 87 p.
- 314 Naumowicz K, Pajdak J, Terech-Majewska E, Szarek J (2017) Intracohort cannibalism and methods
315 for its mitigation in cultured freshwater fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 27: 193-
316 208.
- 317 Saenz de Rodrigáñez M, Aguilar-Tellez FV, Alarcón-López FJ, Pedrosa-Islas R, Peña-Marín ES,
318 Martínez-García R, *et al.* (2018) Alimentos microencapsulados para el cultivo de larvas de
319 pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). *Revista de Biología Tropical* 66: 1298-1313.
- 320 Walter C, Kitchell JF (2001) Cultivation/densation effects on juvenile survival and recruitment:
321 implications for the theory of fishing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58:
322 39-50.
- 323

324 Tabla 1. Preparación de la dieta microparticulada utilizada en T2 y T3 (Frias-Quintana et al., 2016).

Ingredientes	g/100 g de dieta
Harina de pescado ^a	40.63
Harina renders (cerdo y pollo) ^a	30.07
Almidón de maíz ^b	15.4
Aceite de pescado ^c	6.9
Lecitina de soya ^d	4
Grenetina ^e	2
Vitamina C ^f	0.5
Pre-mezcla de vitamina y minerales ^f	0.5

325 ^a Proteínas marinas y agropecuarias, Guadalajara, Jalisco, México

326 ^b MSA Industrializadora de maíz, Guadalajara, Jalisco, México

327 ^c GALMEX Comercializadora de Insumos Agrícolas, Villahermosa, Tabasco, México

328 ^d Pronat Ultra, Mérida, Yucatán, México

329 ^e D'Gari Productos alimenticios y dietéticos relámpago, Tlalpan, Cd. de México, México

330 ^f ROVIMIX® C-EC (Roche) agente de activo de 35 %, Cd de México, México

331

332

333

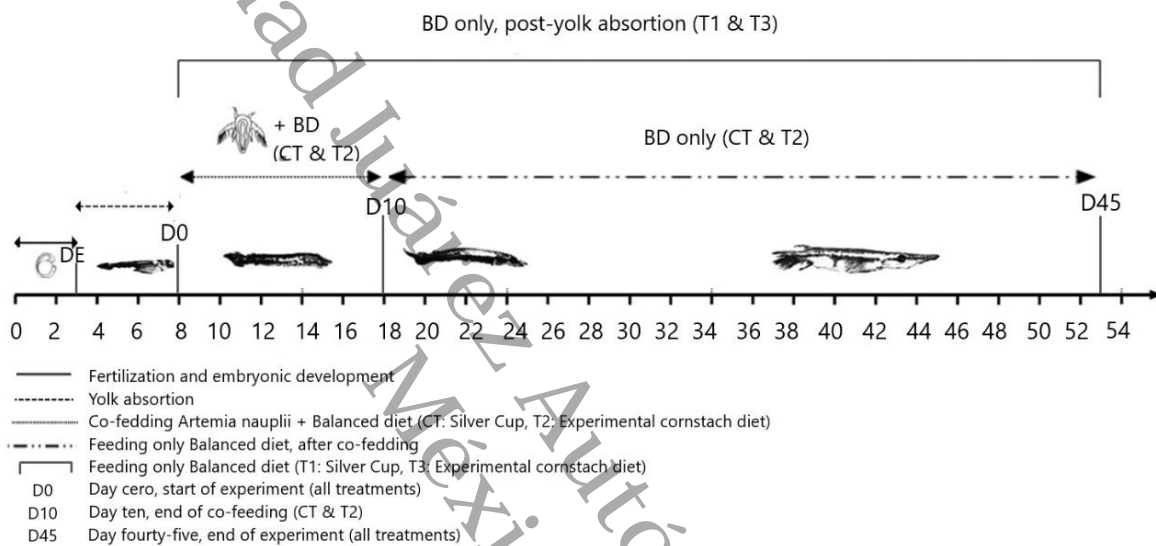
334

335

336

337

338 Figura 1. Esquemas de alimentación usados durante el experimento.

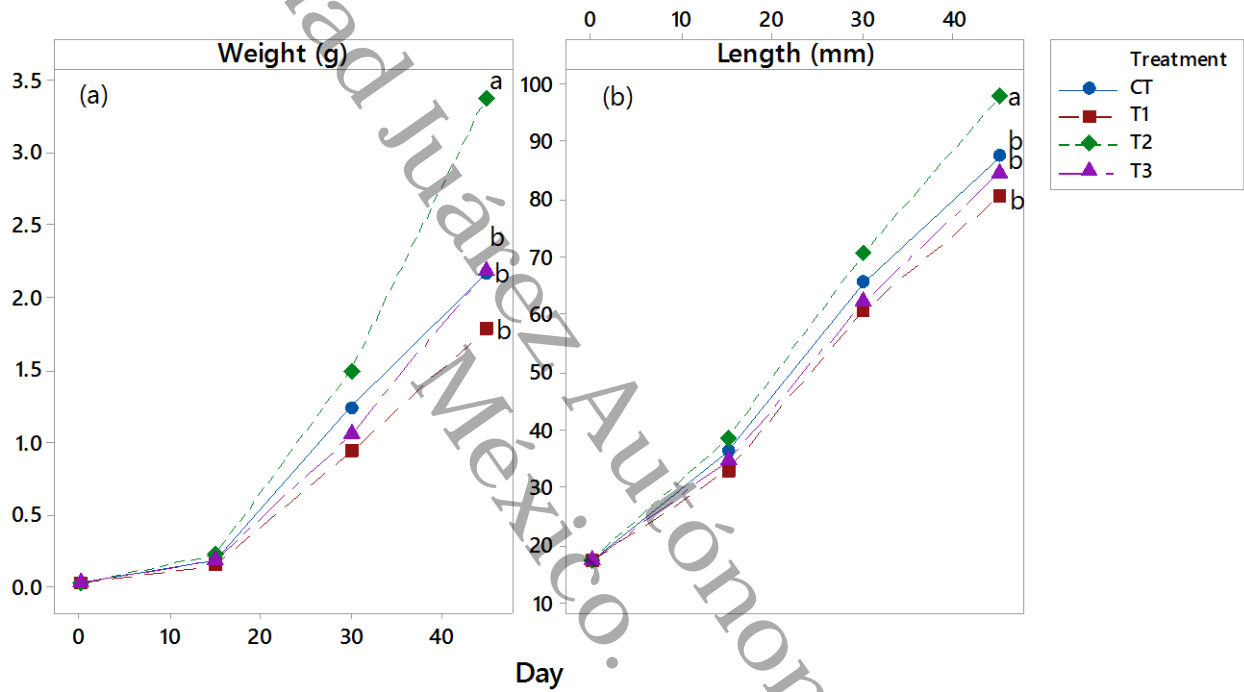


339

340

341

342 Figura 2. Peso húmedo promedio (g larva⁻¹ ± SD, n = 300) (a) longitud promedio total (mm larva⁻¹
343 ± SD, n = 300) (b) en larvas de *Atractosteus tropicus*, observadas durante el experimento.

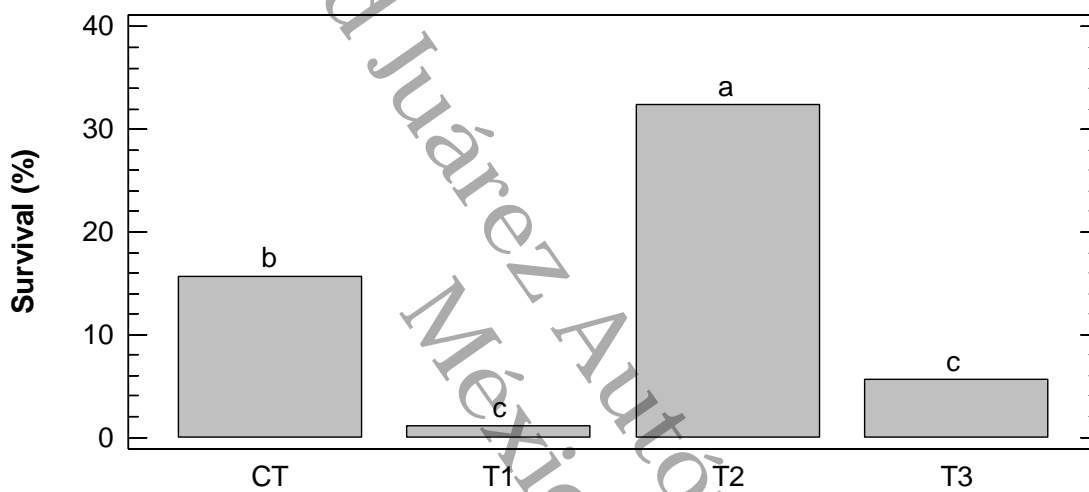


344

345

346

347 Figura 3. Porcentaje de supervivencia observado en larvas de *Atractosteus tropicus* alimentados con
348 cuatro tratamientos diferentes. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

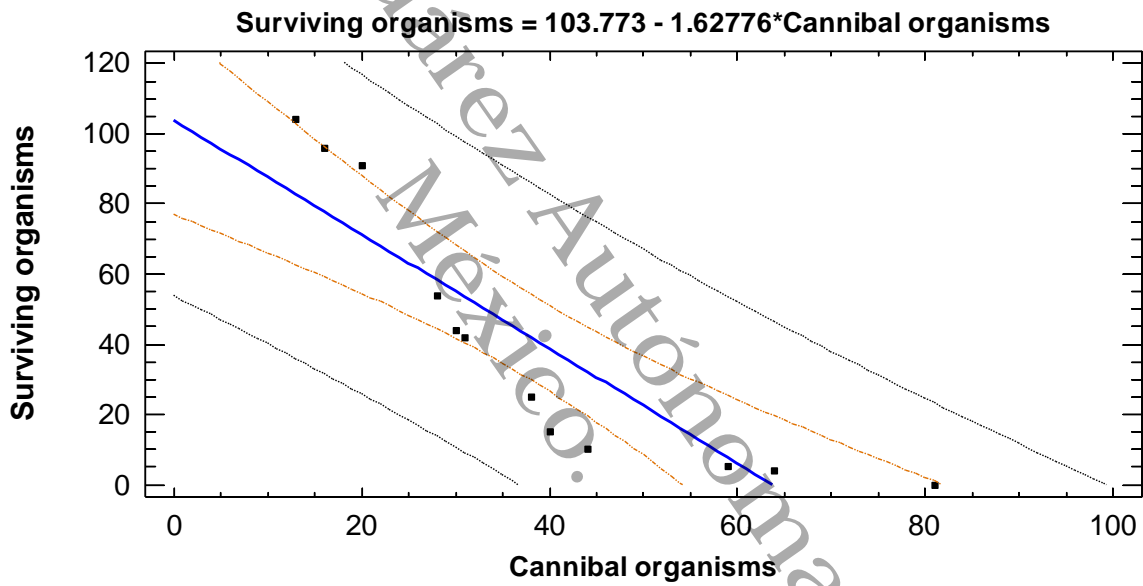


349

350

351

352 **Figura 4.** Modelo ajustado de regresión lineal simple entre supervivencia vs canibalismo. Ecuación del
353 modelo: $Survivencia = 103.78 - 1.63 * Canibalismo$ ($P < 0.05$).



354

355