



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA

LABORATORIO DE BIOLOGÍA ACUÁTICA "J. JAVIER ALVARADO DIAZ"

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

Tesis para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Biológicas

Desempeño en el crecimiento con ácidos orgánicos,
prebióticos y saponinas como aditivos alimenticios en la dieta
de *Ictalurus punctatus* (Rafinesque 1818).

Presenta:

Biol. Andrés Benjamín Torres Ríos

Director de Tesis:

Dr. Antonio Campos Mendoza



Morelia, Michoacán, febrero 2024 **FACULTAD**
DE
BIOLOGÍA

Índice de contenido.

I. Resumen.	3
II. Abstract.	4
III. Introducción.	5
IV. Antecedentes.	8
IV.1. Antibióticos.	9
IV.2. Ácidos orgánicos.	10
IV.3. Prebióticos.	14
IV.4. Saponinas.	16
IV.5. Desempeño en el crecimiento.	18
Morfología intestinal y hepática.	19
IV.6. Calidad del agua.	23
V. Pregunta de investigación.	25
VI. Hipótesis.	25
VII. Objetivos.	26
VII.1. Objetivo general.	26
VII.2. Objetivos específicos.	26
VIII. Materiales y métodos.	27
VIII.1. Sujeto de estudio.	27
VIII.2. Diseño experimental.	27
VIII.3. Preparación de la dieta.	28
VIII.4. Desempeño en el crecimiento.	30
VIII.5. Índices somáticos y disección.	32
VIII.6. Sacrificio y eutanasia.	34
VIII.7. Calidad del agua.	34
VIII.8. Análisis de datos.	34
IX. Resultados.	36
X. Discusión.	49
XI. Conclusiones.	55
XII. Literatura consultada.	56

Índice de tablas.

Tabla 1. Relación de efectos de ácidos orgánicos adicionados en dietas de especies de cultivo.	11
Tabla 2. Relación de efectos de saponinas adicionadas en dietas de especies de cultivo.	16
Tabla 3. Relación de efectos histológicos intestinales en especies de cultivo alimentadas con aditivos alimenticios.	22
Tabla 4. Repeticiones del diseño experimental.	28
Tabla 5. Índices del desempeño en el crecimiento con fórmulas.	31
Tabla 6. Índices somáticos.....	33
Tabla 7. Medias de los indicadores de calidad del agua registrados.	34
Tabla 8. Desviaciones estándar, análisis de normalidad y análisis de homocedasticidad por variable.	36
Tabla 9 Valores medios con error estándar de los indicadores de crecimiento, condición, aprovechamiento alimenticio, bienestar y proporción orgánica.	37
Tabla 10. Valores de b y R ² obtenidos en análisis de correlación por tratamiento.....	40

I. Resumen.

La acuicultura del bagre de canal en México se enfrenta a problemáticas relacionadas con los costos de alimentos, la calidad del agua y las malas prácticas de manejo. Por tal motivo, esta especie con alto potencial productivo y comercial cuenta con escasos registros de producción en el país, a pesar de ser endémica y estar ampliamente distribuida en el territorio nacional. Los aditivos alimenticios tienen el potencial de aumentar la eficiencia productiva y mejorar el bienestar de los peces, al tiempo que sustituyen a los antibióticos utilizados como promotores de crecimiento. Se busca incrementar el desempeño de crecimiento del bagre para potencializar su producción y consumo en el mercado, mediante la inclusión en las dietas de concentraciones efectivas de aditivos ya probados con anterioridad con resultados favorables en especies de interés acuícola. Los resultados evaluados en laboratorio, bajo condiciones controladas en cultivos de tipo intensivo, se obtuvieron midiendo los parámetros de crecimiento tales como la talla, el peso ganado, el factor de condición de Fulton, la tasa de supervivencia, el factor de conversión alimenticia, así como los índices hepáticos e intestinales. La adición de ácidos orgánicos en 1 gr/Kg de la dieta permite elevar el desempeño en el crecimiento y la recuperación tras condiciones de estrés al, igual que lo hace la adición prebióticos en 6 gr/Kg que además incrementa la eficiencia alimenticia mientras que promueve la supervivencia. Por otro lado, las saponinas en 1.5 gr/Kg regulan los compuestos tóxicos amoniacales productos del desecho en los sistemas de cultivo. Con el uso del aditivo con mayor índice de efectividad es posible duplicar las ganancias anuales al obtener las tallas de cosechas en tiempos reducidos y no presentar pérdidas por mortalidad.

Palabras clave: Acuicultura, Bagre, Producción, Dieta, Supervivencia.

II. Abstract.

Channel catfish aquaculture in Mexico faces problems related to feed costs, water quality and poor management practices. For this reason, this species with high productive and commercial potential has few production records in the country, despite being endemic and widely distributed throughout the national territory. Feed additives have the potential to increase production efficiency and improve fish welfare, while replacing antibiotics used as growth promoters. The aim is to increase the growth performance of catfish to enhance its production and consumption in the market, by including in the diets effective concentrations of additives already tested previously with favorable results in species of aquaculture interest. The results evaluated in the laboratory, under controlled conditions in intensive crops, were obtained by measuring growth parameters such as height, weight gained, Fulton condition factor, survival rate, feed conversion factor, as well as such as liver and intestinal indices. The addition of organic acids in 1 gr/Kg of the diet allows to increase performance in growth and recovery after stress conditions, as does the addition of prebiotics in 6 gr/Kg, which also increases nutritional efficiency while promoting survival. On the other hand, saponins at 1.5 gr/Kg regulate toxic ammoniacal compounds that are waste products in cultivation systems. With the use of the additive with the highest effectiveness rate, it is possible to double annual profits by obtaining crop sizes in reduced times and not presenting losses due to mortality.

III. Introducción.

El cultivo de organismos acuáticos conocido como acuicultura es el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento y representa una importante fuente alimenticia nutritiva y sostenible. Para el año de 2020 se estima que la producción a nivel mundial de esta ha alcanzado los 122.6 millones de toneladas proporcionando 49.2 % del pescado para consumo humano (FAO, 2022b). El bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) es una de las especies aprovechadas en el sector acuícola ampliamente distribuida gracias a su potencial productivo comercial (Haubrock *et al.*, 2021) y a su alto valor nutricional como fuente de proteína libre de grasa (Perea *et al.*, 2008). A pesar de ser una especie endémica del norte de México, el bagre de canal supone un reto para el sector productivo debido a problemáticas relacionadas con la calidad del agua, con la alimentación y por consecuencia con la incidencia de enfermedades, lo que dificulta su producción y su valor en el mercado (Lara-Rivera *et al.*, 2015).

Debido a las condiciones de cultivo en la acuicultura, los organismos se encuentran sujetos a estrés constante, lo que se traduce en enfermedades infecciosas oportunistas, tasas de crecimiento reducidas y una baja eficiencia alimentaria (Lara *et al.*, 2002; Southworth *et al.*, 2006). Desafortunadamente, los tratamientos convencionales utilizados para enfrentar estas condiciones son los antibióticos utilizados como promotores del crecimiento y como tratamiento médico, incluso si el agente causal es desconocido. Por lo tanto, uno de los principales retos a enfrentar en la acuicultura es el uso indiscriminado de los antibióticos para combatir las enfermedades infecciosas. Esta práctica genera riesgos de salud tanto en los organismos tratados, así como en los consumidores finales y el ecosistema (Acosta *et al.*, 2018).

Entre los principales riesgos generados por los antibióticos se destaca la toxicidad en el ser humano por la exposición crónica a bajas concentraciones de los productos residuales y la resistencia a estos tratamientos por parte de los agentes infecciosos del cultivo, que pueden transferirse a través de las cadenas alimenticias al consumidor, así como el riesgo de la bioacumulación. A su vez, los productos de residuo y su impacto sobre los ecosistemas acuáticos representan un efecto riesgoso para las condiciones ecológicas del medio acuático por el efecto de contaminación cruzada y la generación de resistencia en los microorganismos del ecosistema (Lujan, 2022).

En la actualidad, para sustituir a los tratamientos convencionales se implementan aditivos alimenticios que no presentan toxicidad (Ahumada *et al.*, 2016), tales como los

ácidos orgánicos (AO), los prebióticos (PB) y extractos vegetales como las saponinas (SN). Estos pueden mitigar el uso de antibióticos contra las enfermedades infecciosas, y favorecer el incremento de la tasa productiva y la supervivencia de los organismos en cultivo (Acosta et al., 2018).

Los AO son compuestos orgánicos con uno o más grupos carboxilo (-COOH) en su estructura, en donde se incluyen ácidos grasos de cadena corta (C1-C7), ácidos grasos volátiles o ácidos carboxílicos débiles como el ácido fórmico, cítrico, benzoico y láctico (Koh *et al.*, 2016), estos poseen una importante actividad antibacteriana, al reducir el pH del citoplasma, y alterar la síntesis de ADN bacteriano; lo que limita la transmisión de enfermedades a través de la materia fecal de los peces infectados. De igual forma, estos cumplen una importante función en la factor de conversión alimenticia (FCA) y la promoción del crecimiento, por el aumento de la digestibilidad de los nutrientes (Shiva, 2007; Wing-Keong *et Chik-Boon*, 2015).

Dentro de la gran variedad de aditamentos en las dietas también se pueden encontrar a los PB, que son carbohidratos no digeribles que cumplen con la función de proporcionar energía al microbiota intestinal de los peces. Estos aditamentos demostraron impactar sobre la composición de dicha comunidad intestinal y con esto generar efectos significativos sobre la salud y la inmunomodulación de los organismos (Khangwal y Shukla, 2019).

Por su parte, las SN son extractos vegetales que han demostrado prevenir patologías infecciosas, además de que pueden promover mayores tasas de supervivencia en los cultivos (Casillas-Hernández *et al.*, 2009). A su vez, estos extractos vegetales adicionados en los alimentos atrapan el nitrógeno amoniacal presente en los cultivos y lo transforman en metabolitos inocuos, lo que resulta en una mejora del metabolismo nitrógeno-proteínas, la reducción de la excreción de amonio y el incremento de la supervivencia (Tidwell *et al.*, 1992; Kelly *et Kohler*, 2003; El-Saidy *et Gaber*, 2004; Martínez *et al.*, 2008; Santacruz-Reyes, 2013).

Se estima que la producción pesquera dulceacuícola total de México en 2020 fue de 88,094 toneladas, de las cuales 2,447 pertenecen al estado de Michoacán (DOF, 2021). Dentro de esta cifra se encuentra el cultivo del bagre de canal (*I. punctatus*) que, a pesar de presentar un alto potencial para la acuicultura, cuenta con problemáticas que dificultan su productividad, lo que ha generado que en la actualidad se cuenten con escasos registros

de producción para esta especie en nuestro país. La calidad del agua y el alimento suponen los mayores retos para los productores del bagre de canal (Lara-Rivera *et al.*, 2015).

Diversos estudios registran efectos positivos sobre la salud de organismos acuáticos al favorecer la acción de la pepsina y la digestión proteica con el uso de AO, debido a un valor bajo de pH gástrico y una reducción de la densidad de microorganismos y metabolitos en el tracto digestivo (Hernández, 2012). Así como incrementos en la tasa de crecimiento y el estado de salud con el uso de saponinas gracias a la mejora de la calidad del agua y del estado inmuno-oxidativo de los organismos, así como a la sinergia de las enzimas digestivas (Abozeid *et al.*, 2021). Además, con el uso PB se registran aumentos en el crecimiento por la digestibilidad intestinal y la respuesta inmunológica de las especies (Dimitroglou *et al.*, 2010).

Por tanto, la finalidad del presente trabajo es determinar las concentraciones con mayor efectividad a través de mediciones biométricas y de supervivencia en crías de bagre, con el fin de hacer posible su aplicación y aprovechamiento en regiones de importante producción pesquera en el Estado de Michoacán.

IV. Antecedentes.

La acuicultura es la principal alternativa productiva para enfrentar los retos de producción de alimentos, materias primas, bioenergéticos y servicios ambientales. Esta práctica además impulsa el sector social y económico de las poblaciones al generar empleos y productos de alto valor nutritivo (Platas-Rosado *et al.*, 2017).

El bagre (*I. punctatus*) es originario de la vertiente del Atlántico sur de Canadá, Estados Unidos y el noreste de México (Lara-Rivera *et al.*, 2015); esta especie arribó por primera vez a México al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en el municipio de Apodaca, Nuevo León en 1972. Esto con el fin de estudiar y validar las técnicas para su cultivo en el territorio nacional con fundamento en su gran potencial comercial, su rápido crecimiento y su alta resistencia a condiciones ambientales adversas. En 1973 inició el cultivo de esta especie en una granja privada en Sinaloa, pero fue en 1976 que se introdujo en la presa de “La Boquilla” en Chihuahua. Actualmente, se cultiva principalmente en los estados de Tamaulipas, Jalisco, Guerrero, Chihuahua, Colima y Michoacán en estanques rústicos y jaulas flotantes en presas (DOF, 2021).

Para el año 2017, esta especie de bagre de la familia *Ictaluridae* registró en México una producción total anual de 8,274 toneladas (CONAPESCA, 2018). De estas, 972 toneladas pertenecen solamente al estado de Michoacán, lo que se traduce en un 11.75 % del total producido en el territorio nacional, posicionándose como el principal estado productor de esta especie (SAGARPA, 2018). Esto es resultado de que la actividad acuícola es una de las principales fuentes de desarrollo económico, con 250,000 hectáreas lacustres disponibles para el desarrollo regional de las comunidades ribereñas del estado (Martínez, 2015). Para el año 2017, el bagre en Michoacán se colocó en el cuarto lugar de las especies más producidas en la entidad gracias a su alto valor nutricional que incluye proteína de elevación biológica, grasas reducidas, vitaminas, minerales y ácidos grasos como omega-3 (Perea *et al.*, 2008; SAGARPA, 2018).

No obstante, los beneficios de la acuicultura comparada con otros sectores productivos de alimentos, esta presenta afectaciones ambientales como, por ejemplo, las relacionadas con las cargas contaminantes liberadas a los cuerpos de agua que pueden influir los procesos de eutrofización. Esto hace necesario crear herramientas de sostenibilidad para encontrar un equilibrio ecológico, económico y social (Solís, 2013; Dawood *et al.*, 2020^a y b).

Los registros demuestran que el crecimiento en la producción acuícola conlleva problemáticas ambientales y económicas, tales como la disminución de tasas de crecimiento, de la calidad del agua, incremento de las patologías infecciosas y el estrés, que influyen en la homeostasis del pez, lo que afecta el sistema inmune de los organismos (El-Sayed, 2006). Entre los principales agentes infecciosos registrados destacan los parásitos como *Ichthyophthirius multifiliis*, *Trichodina* sp., *Trichophora* sp.; bacterias como *Aeromonas hydrophila*, *Flavobacterium columnare* y *Edwardsiella ictaluri*; y hongos como *Saprolegnia* spp. (FAO, 2022^a).

IV.1. Antibióticos.

Hoy en día, para mantener la salud, el bienestar e incluso para promover el crecimiento en los cultivos acuícolas, se hace uso de antibióticos (AB); empero el control que estos hacen de los patógenos conlleva el riesgo de generar resistencia bacteriana, lo que compromete su efectividad y el estado de salud del organismo. Otra problemática que también acompaña al cultivo masivo de tilapia, es el uso de AB como promotores de crecimiento para obtener mayores tasas de producción (Lara *et al.*, 2002; Desbois *et al.* 2021). La oxitetraciclina fue el AB más reportado para el tratamiento y la prevención de enfermedades gracias a su popularidad y su uso histórico en las plantas acuícolas. Pero las principales causas de la ineficiencia de los AB como la oxitetraciclina fue un mal diagnóstico o que el agente patógeno no era la causa principal de la mortalidad (Alday-Sanz *et al.*, 2012).

El uso de AB en la acuicultura se asocia con las cadenas de transferencia y los genes de resistencia de las bacterias, que se transportan del medio acuático al terrestre y a los consumidores. Con lo cual, estos tratamientos convencionales representan un riesgo para el entorno y la salud humana (Hossain *et al.* 2022).

Se detectó que diversas especies que forman parte de los ecosistemas acuáticos de zonas de depuración se encontraban en un riesgo ecotoxicológico por parte de concentraciones letales de AB en el medio. En donde los AB se comportan como contaminantes emergentes (Martínez-Alcalá *et al.*, 2020).

El riesgo a la salud humana por la transferencia de AB por especies cultivadas en el río Nilo y consumidas por la población local, mostró bioacumulación en músculo, por lo que

su consumo puede considerarse riesgoso (Eissa et al. 2020). Es por ello, que organismos como la Unión Europea, ha prohibido el uso de antibióticos dietéticos en alimentos animales como un profiláctico desde el año 2006 (FAO, 2007).

Ante esto, es importante implementar tecnologías eficientes y amigables con el entorno, bajo un enfoque sustentable (Ornelas-Luna et al. 2017). Esto fundamenta la importancia de concientizar a los acuicultores para reducir el uso de AB y con ello evitar la resistencia y la problemática asociada. Tratamientos alternativos adicionados en la dieta presentan mejores resultados en términos de conversión alimenticia, supervivencia y promoción del crecimiento en comparación con los obtenidos por los AB (Lara et al., 2002; Desbois et al., 2021).

IV.2. Ácidos orgánicos.

Para combatir esta problemática en la actualidad, existe una gran variedad de tratamientos alternativos de los cuales se pueden destacar los AO, que en comparación con AB como la oxitetraciclina no presentan diferencia significativa alguna en el crecimiento de los peces y demuestran el mismo nivel significativo de resistencia a bacterias tales como *Streptococcus agalactiae* (Koh et al., 2016). Con la inclusión de AO como el ácido cítrico, el ácido metacético y el ácido láctico en la dieta se presentan resultados muy prometedores en el comportamiento alimenticio de los peces. Sin embargo, otros AO como el ácido acético y el ácido oxálico no presentan ningún efecto estimulador (Xie et al., 2003).

El desempeño en el crecimiento inducido por medio del uso de los ácidos acético, cítrico e hidróclorico en la alimentación, reveló que el Ph actúa como la mejora más importante en el estómago, al producir menos ácido estomacal. La alimentación constante con estos aditivos permitió que se presente una condición de acidificación permanente del lumen intestinal, lo cual permitió que se mejorara el crecimiento, la eficiencia alimentaria, la digestibilidad y la absorción mineral. La activación de la pepsina y la absorción mineral también incrementan con la adición de ácido en la dieta, lo que resulta en una mejora del crecimiento y el aprovechamiento alimenticio (Villaranda et al., 2022).

Además, las concentraciones juegan un papel muy importante sobre los efectos producidos en las especies, como por ejemplo en la aceptación y la demanda del alimento (Xie et al., 2003), así como también sobre la resistencia a enfermedades, que se relaciona

de forma dependiente de la dosis implementada (Abu *et al.*, 2014). De igual manera, los efectos relacionados con el desempeño en el crecimiento se ven influenciados por las concentraciones aplicadas, tal como se muestra en la Tabla 1, en donde se enlistan distintas aplicaciones de AO en diversas concentraciones (medidas en g/Kg), adicionadas en las dietas de especies dulceacuícolas.

Tabla 1. Relación de efectos de ácidos orgánicos adicionados en dietas de especies de cultivo.

Especie	Ácidos	g / Kg	Resultados	Autores
<i>Oreochromis niloticus.</i>	Cítrico y formato, propionato, lactato y fosfato de calcio.	15	Aumento numérico en el crecimiento. Mejora significativa del FCA.	Lückstädt, 2008.
<i>O. niloticus.</i>	Diformiato de potasio.	5	Aumentando del peso. Disminución del FCA. Reducción de la mortalidad.	Lückstädt, 2008.
<i>O. niloticus.</i>	Diformiato de potasio.	3, 6, 9 y 12	Comparada contra la aplicación de antibióticos: No se encontró diferencia alguna en el desempeño en el crecimiento, en el FCA o en la supervivencia.	Zhou <i>et al.</i> , 2009.
<i>O. niloticus.</i>	Diformiato de potasio.	3 y 6	Comparada contra AB compuesto por quinocetona y flavomicina: Peso corporal y tasa de crecimiento específico mayor. FCA más bajo.	Zhou <i>et al.</i> , 2009.
<i>O. niloticus.</i>	Diformiato de sodio	3	Incremento en el índice de eficiencia proteica y en la eficiencia de retención de proteína.	Liebert <i>et al.</i> , 2010.
<i>O. niloticus.</i>	Diformiato de potasio.	10	Incremento considerable en el peso ganado y en la eficiencia alimentaria. Concentración igual de efectiva que en concentraciones menores, pero más efectiva que en otras más elevadas.	Lim <i>et al.</i> , 2010.
<i>O. niloticus.</i>	Propiónico, fumárico, cítrico, fórmico y cálcico.	6	Incremento alto en el peso ganado, en la longitud alcanzada y en el factor de condición de los alevines. Reducción del FCA.	Hernández, 2012.

			Supervivencia relativamente incrementada. Aumento de la digestibilidad de los nutrientes ocasionada por una reducción del Ph del tracto digestivo.	
<i>O. niloticus.</i>	Diformiato de potasio.	2 y 3	Mejora en el consumo del alimento, en el aumento de peso vivo, en la tasa de crecimiento específico, en el FCA y en el índice de eficiencia proteica. Mejora de la digestibilidad proteica aparente. Estimulación de la flora intestinal benéfica. Disminución en la mortalidad desafiada con <i>A. hydrophila</i> .	Abu <i>et al.</i> , 2014.
<i>Pelteobagrus fulvidraco.</i>	Fumárico, benzoico y butanoico	2 y 4	Reducción de las condiciones de estrés. Disminución de los niveles de especies reactivas de oxígeno, de la actividad del superóxido dismutasa sérica y de la actividad de la catalasa.	Zhu <i>et al.</i> , 2014.
<i>O. niloticus.</i>	Fórmico, láctico, málico, tartárico y cítrico.	10	Incremento de la digestibilidad y de concentraciones de fósforo y ceniza. Reducción considerable en el conteo de bacterias fecales y las unidades formadoras de colonias de bacterias intestinales adherentes.	Koh <i>et al.</i> , 2016.
<i>O. niloticus.</i>	Butirato de sodio, acetato, propionato y formiato	20	Reducción significativa en los ácidos grasos intestinales de cadena corta. Reducción significativa de la peroxidación de los lípidos musculares y de la trimetilamina. Nivel bajo de proteína muscular cruda. Alto nivel de lípidos en músculo. Respuesta inflamatoria en el hígado. Evidencias de estrés.	Ebrahimi <i>et al.</i> , 2017.

<i>Litopenaeus vannamei.</i>	Citríco y sórbico + Timol y vainillina	0.3 - 1.2	Incremento de la enzima glutatión peroxidasa. Incremento significativo de la abundancia de <i>Lactobacillus</i> en el tracto intestinal. Aumento en la resistencia a enfermedades.	He <i>et al.</i> , 2017.
<i>O. niloticus.</i>	Acetato sódico y propionato y formiato de calcio.	0.9	Aumento en el peso ganado por los peces. Disminución del FCA.	Huan <i>et al.</i> , 2018.
<i>O. niloticus.</i>	Fórmico, propiónico, acético, amonio formiato y grasos vegetales	5	Reducción en el Ph de los alimentos. Aumento significativo de la supervivencia. Reducción de la concentración total de las bacterias heterótrofas en el intestino.	Silva <i>et al.</i> , 2019.
<i>O. niloticus.</i>	Diformiato de potasio.	3	Mejora en un 3.2 % de la tasa de crecimiento específico y en un 67.3 % de la eficiencia alimentaria. Supervivencia del 100 %.	Yustiati <i>et al.</i> , 2019.
<i>Lates calcarifer.</i>	Fórmico, acético y propiónico + Cinamaldehído	2	Mejoras en la tasa de crecimiento, en la actividad enzimática, en la respuesta inmune y en el sistema antioxidante.	Sotoudeh y Esmaeili, 2022.
<i>Cyprinus carpio.</i>	Fórmico, acético y propiónico + Cinamaldehído	2	Aumento significativo del peso ganado, de la tasa de crecimiento específico y de la actividad enzimática de la proteasa, la amilasa y la lipasa. Reducción en el FCA y en el Ph intestinal.	Khorshidi <i>et al.</i> , 2022.

IV.3. Prebióticos.

Dentro de los PB que son utilizados como aditivos alimenticios se puede encontrar una gran diversidad de compuestos formados a partir de carbohidratos. Con la aplicación moderada de carbohidratos en la dieta de organismos dulceacuícolas de cultivo se logró determinar un considerable aumento del desempeño en el crecimiento y un incremento en el depósito de lípidos en tejidos y músculos. Sin embargo, se determinó que si la proporción de estos es muy alta y la proporción proteica es baja no se registra ninguna promoción del crecimiento (Boonanuntanasarn *et al.*, 2018).

Los manano oligosacáridos o “oligomananos” (MOS) son extractos de la pared celular de las levaduras, que se han utilizado como aditivo alimenticio en una concentración de 40 g/Kg para bloquear la colonización de bacterias patógenos en el intestino de los peces (Dimitroglou *et al.*, 2010). Con la integración del PB de MOS a la dieta de tilapia en concentraciones de 4 g/Kg, se logró reducir la mortalidad de alevines infectados con *A. hydrophila* (Cavalcante *et al.*, 2020). De la misma forma, en el momento en que los MOS se incorporaron en concentraciones de 0.4 a 0.6 g/Kg a la dieta de carpas herbívoras (*Ctenopharyngodon idella*) se promovió el desempeño en el crecimiento por el peso ganado y la resistencia a enfermedades. El daño oxidativo se alivió tras verse disminuidas las especies reactivas de oxígeno y el malondialdehído, al tiempo que se mejoró la capacidad antioxidante por el incremento de la actividad enzimática (Lu *et al.*, 2020).

En adición, al aplicar un simbiótico formado por PB como los MOS junto con probióticos tales como *B. subtilis* en concentraciones de 4 g/kg y 100×10^7 CFU Kg respectivamente, se logró obtener una efectiva promoción del crecimiento en peces correlacionada con la actividad enzimática que este tratamiento estimula (Kumar *et al.*, 2018). Con la inclusión de estos simbióticos en la dieta de *O. niloticus*, tales como el formado por MOS (4 g/Kg) y *Lactobacillus acidophilus*, *Enterococcus faecium* y *Bifidobacterium* sp. (0.3 g/Kg), se encontró un incremento en la tasa de vascularización de la mucosa y una tasa mayor de supervivencia frente a la infección de *A. hydrophilla* (Cavalcante *et al.*, 2020).

Así también, los beta glucanos utilizados como aditivos alimenticios en la dieta de la tilapia del Nilo provocaron que el FCA de los peces disminuyera (Dawood *et al.*, 2020a). No solo esto, los beta glucanos promovieron la resistencia a infecciones bacterianas y aumentaron la inmunoestimulación de *O. niloticus*. Con este aditivo se registró mayor respuesta inmune innata y nula mortalidad, sin generarse inmunodepresión por exposición

crónica (Pilarski *et al.*, 2017; Albers *et al.*, 2021). Al aplicar a los beta glucanos en exposiciones prolongadas en concentraciones que van desde 0.25 a 0.5 g/Kg en la dieta de *Labeo rohita* se observó que el FCA y la tasa de crecimiento específico mejoraron sustancialmente. Pero con la suministración de 0.25 g/Kg tras 42 días se alcanzaron los niveles más elevados para el índice fagocítico, la actividad enzimática de lisosoma y la actividad bactericida sérica, por lo que se determinó que esta dosificación promueve la mejora inmunológica, el crecimiento y la supervivencia del pez rohu (Kanta *et al.*, 2006). Además, un PB comercial que se compone de beta glucanos obtenidos a partir de una cepa de *Saccharomyces cerevisiae*, fue utilizado como aditivo alimenticio en la dieta de *Cyprinus carpio* en concentraciones de 10 y 20 g/Kg, dando como resultado mejorías en los pesos ganados, en la tasa de crecimiento específico y en el FCA. Esto demostró que los componentes de este producto incrementan el desempeño en el crecimiento (Kühlwein *et al.*, 2013).

Incluso cuando los beta glucanos fueron administrados directamente en el agua de los sistemas de cultivo de la tilapia nilotica sometida a condiciones de hipoxia en una concentración de 0.1 mg/L, quedó demostrado que se incrementa la tolerancia de esta especie a dicha condición al elevar la tasa de supervivencia y regular los niveles de glucosa (Pinheiro *et al.*, 2020).

En otro orden de ideas, los efectos que registró un PB comercial compuesto por beta glucanos y MOS como aditivos en la dieta de la carpa *C. carpio* también fueron muy prometedores. Cuando este se suministró en concentraciones de 0.5 a 1.5 g/Kg el FCA disminuyó y el índice de eficiencia proteica aumentó de manera significativa. Aunque con una concentración de 2.5 g/Kg se encontró el mayor contenido proteico y se observó el menor conteo de bacterias totales, las concentraciones de 0.5 a 1.5 g/Kg registraron mayor capacidad de promover la eficiencia alimentaria y el desempeño en el crecimiento (Ebrahimi *et al.*, 2011).

Por otro lado, al suministrar de manera conjunta oligo beta glucanos (0.5 g/Kg) con oligoquitosano (0.5 g/Kg) en la dieta de *P. hypophthalmus* se observó un incremento del desempeño en el crecimiento del 26 %, así como un 38 % de disminución de la mortalidad. Además de que la actividad enzimática del pez se vio favorecida, también lo hizo la actividad fagocítica del mismo. Esto significó el potencial de esta mezcla como inmunoestimulante y como promotor del crecimiento (Ngoc *et al.*, 2016).

IV.4. Saponinas.

La adición de SN en la alimentación de especies acuícolas arrojó resultados muy favorables en cuanto al desempeño en el crecimiento, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de efectos de saponinas adicionadas en dietas de especies de cultivo.

Especie	Saponina	g / Kg	Resultados	Autores
<i>Oncorhynchus tshawytscha.</i>	<i>Q. saponaria</i>	1.5	Mayor peso ganado por pez gracias a una mayor demanda de alimento.	Bureau <i>et al.</i> , 1998.
<i>O. niloticus.</i>	<i>Y. schidigera</i>	0.75, 1, 1.5 y 1.75	Aumento en el peso corporal promedio, en la ganancia del peso corporal, en la tasa de crecimiento específica y en la eficiencia alimentaria. Mayores coeficientes de digestibilidad en proteínas, lípidos y carbohidratos.	El-Saidy y Gaber, 2004.
<i>O. niloticus.</i>	<i>Y. schidigera</i>	0.75	Mayor digestibilidad proteica. Aumento en el contenido proteico corporal. Reducción en el contenido corporal de grasa.	Gaber, 2006.
<i>Silurus asotus.</i>	<i>Scutellaria baicalensis</i>	2.5 - 50	Aumento significativo en la supervivencia desafiada con <i>Vibrio anguillarum</i> y <i>Streptococcus iniae</i> .	Kim <i>et al.</i> , 2012.
<i>Salmo salar.</i>	<i>Glycine max</i>	2	Desempeño en el crecimiento significativamente mayor. Incremento en el peso.	Gu <i>et al.</i> , 2014.
<i>S. salar.</i>	Isoflavonas	1.5	Desempeño en el crecimiento significativamente mayor. Reducción del FCA.	Gu <i>et al.</i> , 2014.
<i>Pangasianodon hypophthalmus.</i>	<i>Y. schidigera</i> + <i>Q. saponaria</i>	0.3	Incremento significativo de la tasa de crecimiento específico y del peso final. Mejora significativa del FCA y del índice de eficiencia proteica. Mejor utilización de la proteína neta.	Güroy <i>et al.</i> , 2014a.
<i>P. hypophthalmus.</i>	<i>Y. schidigera</i>	1.5	Incremento de la tasa específica de crecimiento.	Güroy <i>et al.</i> , 2014b.

			Reducción del FCA.	
<i>Labeo chrysophekadion.</i>	<i>Apium graveolens</i>	0.75	Aumento en el peso ganado y en los niveles de proteína, albumina y globulina Disminución del FCA. Mayor actividad de la lisozima. Menor mortalidad acumulada al infectar a los organismos con cepas bacterianas.	Sutthi et al., 2020.
<i>C. carpio.</i>	<i>Yucca schidigera</i>	0.4	Mejoras significativas en el peso corporal final y en la tasa de peso ganado. Incremento en la capacidad antioxidante. Reducción de la concentración del amoníaco sérico y del contenido de malondialdehído. Incremento de la lisozima y el factor de crecimiento transformante beta. Mejora del estado antioxidante intestinal y la respuesta inmune.	Wang et al., 2020.
<i>O. niloticus.</i>	<i>Salvadora persica</i>	10 y 20	Respuestas antioxidantes mejoradas. Mejora en los parámetros hematoinmunológicos. Protección contra infecciones bacterianas.	Abd El-latif et al., 2021.
<i>O. niloticus.</i>	<i>Q. saponaria</i>	0.3	Mejora del desempeño en el crecimiento, en el estado inmuno-oxidativo y en la actividad de enzimas digestivas.	Abozeid et al., 2021.
<i>O. niloticus.</i>	Quillaja saponaria + Vitamina E (0.4 g/Kg)	0.3	Mejoras significativas en las tasas de crecimiento y de aprovechamiento alimenticio. Mejoras en el análisis de suero (proteína total, albumina, globulina, colesterol, triglicéridos).	Elkaradawy et al., 2021.

			Mejora en la actividad enzimática digestiva.	
<i>P. hypophthalmus.</i>	familia <i>Papaveraceae</i>	0.35 y 0.7	Mejora del estado inmunológico, de la tasa de crecimiento y de apetito. Incremento en un 35 % del peso ganado. Aumento en los niveles de digestibilidad proteica y de coeficiente térmico de crecimiento. Reducción del FCA.	Hasan <i>et al.</i> , 2021.
<i>O. niloticus.</i>	<i>S. pérsica</i>	2.5, 5 y 10	Aumento en los parámetros de crecimiento y en el aprovechamiento y eficiencia del alimento. Reducción significativa de la mortalidad frente a bacteriosis. Incremento en el porcentaje proteico de los peces y en la eficiencia antibacterial y antifúngica <i>in vitro</i> .	Naiel <i>et al.</i> , 2021.
<i>P. fulvidraco.</i>	<i>Sargassum horneri</i>	2.4	Promoción del desempeño en el crecimiento. Estimulación de los parámetros inmunológicos. Mejora del estado hepático antioxidante.	Shi <i>et al.</i> , 2021.
<i>P. hypophthalmus.</i>	<i>Nephelium lappaceum</i>	40	Mejora en el crecimiento, en el FCA y en la respuesta inmune.	Xuan <i>et al.</i> , 2022.

IV.5. Desempeño en el crecimiento.

El desempeño en el crecimiento permite obtener información de suma relevancia relacionada con estrategias de crecimiento, condición, reproducción y evaluación de las condiciones en que se encuentran los sistemas productivos, lo que permite determinar el bienestar de las poblaciones (Leyton *et al.*, 2015).

Al medir el desempeño en el crecimiento es posible evaluar la eficiencia de tratamientos alternativos a los AB en especies acuícolas mediante el registro de diversas

tasas tales como la talla, el peso, el peso corporal ganado (PCG), el peso ganado por día, la tasa específica de crecimiento en porcentaje por día, la tasa de alimentación por día, el FCA, el factor de condición de Fulton (K) y la tasa de supervivencia en porcentaje. Para obtener la estimación del desempeño en el crecimiento se utilizan los promedios de peso y talla para calcular los indicadores de crecimiento (Mora *et al.*, 2010; Hernández, 2012; El-Kassas *et al.*, 2020; Abdel-Tawwab *et al.*, 2021; Elkaradawy *et al.*, 2021). Se determinó que mientras que el PCG registra la biomasa que los organismos adquirieron durante determinado periodo, la tasa específica de crecimiento se determinó para medir el porcentaje de esta biomasa adquirida diariamente por tales organismos. Por su parte, el FCA se estableció como un estimador de la cantidad del alimento que es necesario para transformarse en la biomasa del PCG de los organismos. El K, conocido como un evaluador de la condición de los peces, se creó con el objetivo de ser un estimador del estado nutricional, basado en la relación del peso y la talla de los organismos. (Mora *et al.*, 2010; Leyton *et al.*, 2015; Bonilla-Flores *et al.*, 2017; Nájera-Arzola *et al.*, 2018; Elkaradawy *et al.*, 2021). El K está basado en la corpulencia o relación que guardan el peso y la talla de los organismos, que también se utilizó para determinar el tipo de crecimiento alométrico de los organismos en base a la ecuación de regresión potencial y el exponente alométrico ($b=3$ = isométrico, $b>3$ = alometría positiva, $b<3$ = alometría negativa) (Santoyo *et al.*, 2019).

Al mismo tiempo, el desempeño en el crecimiento depende de manera directa de factores intrínsecos y extrínsecos de los organismos en cultivo. Tal es el caso de la fisiología intestinal, ya que el desempeño en el crecimiento está influenciado por el aprovechamiento alimenticio que los organismos acuáticos presentan y que a su vez se determina por factores tales como la digestibilidad (Gómez *et al.*, 2010). Por otro lado, el deterioro de las condiciones en la calidad del agua demostró ser un factor que disminuye la eficiencia de los cultivos, al reducir el crecimiento e incrementar el FCA, que trae por consiguiente costos de producción elevados (Robinson, 2004; Southworth *et al.*, 2006).

Morfología intestinal y hepática.

Mediante la observación de cambios histológicos aparentes o anomalías estructurales del tejido hepático e intestinal, así como también por la identificación de estructuras celulares que componen a estos tejidos y la función fisiológica que estas estructuras desempeñan en los organismos es posible esclarecer los procesos fisiológicos relacionados con la digestión (Kobelkowsky, 1998; Olaya *et al.*, 2007; Gu *et al.*, 2014).

Está determinado que el intestino del bagre de canal (*I. punctatus*) inicia en el esfínter pilórico y no posee un ciego pilórico, pero por desgracia no se cuenta con una diferenciación clara entre las regiones que lo componen (Grizzle y Rogers, 1985). En 1970, se designó como “intestino pilórico” a la porción anterior del intestino, desde el esfínter pilórico hasta el primer bucle posterior al estómago; a la región que se encuentre enrollada, la denominó “intestino medio”; y finalmente a la porción posterior al último bucle la denominó “intestino rectal” (Gammon, 1970). Aunque entre los segmentos medio y rectal se encuentra un esfínter intestinal que actúa como válvula (Lane, 1973) las únicas glándulas presentes en el intestino son las células calciformes que se encargan de la producción de mucus; las enzimas digestivas y la bilis ingresan al intestino pilórico a través del ducto común biliar y pancreático. Las regiones pilórica y media del intestino poseen mucha similitud, pero se determinó que el lumen de la primera región es generalmente más grande; por su parte la región rectal posee un aumento en el número de células calciformes y contiene pliegues gruesos que en ocasiones se encuentran aplanados cuando se extiende la pared (Grizzle y Rogers, 1985).

Se observó que en la región posterior del intestino de *I. punctatus* las vellosidades están recortadas, poseen menos cantidad de ramificaciones, y sus capas son notablemente más delgadas que en el intestino medio (Krementz y Chapman, 1975). Aunado a esto, el registro de un mayor número de células calciformes y la presencia del esfínter intestinal en el inicio de este segmento lograron determinar que la porción rectal es una región especializada con función de absorción disminuida (Lane, 1973; Krementz y Chapman, 1975; Grizzle y Rogers, 1985).

Por otro lado, se determinó que el intestino de *I. punctatus* se conforma de cuatro estratos; una mucosa, una submucosa, una “muscularis” formado por fibras musculosas; y una serosa. El estrato de la mucosa se forma de células epiteliales altas y columnares con bordes estriados y un núcleo localizado en la base denominadas enterocitos; con células calciformes frecuentes entre estas células columnares de absorción; así como también se observan linfocitos, células granulares y macrófagos, pero sin registro de células indiferenciadas. Todas estas células se encuentran fijadas en la mucosa por una lámina basal y una compacta capa de tejido conectivo denominada lamina propia. De la lámina basal hasta la muscularis se encuentra la submucosa, bien vascularizada y formada por componentes celulares y no celulares como paquetes de colágeno, fibroblastos, entre otros; es aquí donde descansa el plexo nervioso submucoso, justo por debajo de la capa interna

circular. La muscularis se conforma de la capa interna de fibras de musculo liso en disposición circular y la capa externa de fibras de musculo liso en disposición longitudinal, que se encuentran separadas entre sí por una delgada capa de tejido conectivo. El intestino de *I. punctatus* no posee una mucosa muscularis. Finalmente, el estrato seroso se compone de tejido conectivo irregular suelto unido por células mesoteliales de manera externa, en donde se almacenan vasos sanguíneos y linfáticos, así como tractos nerviosos (Krementz y Chapman, 1975).

Se registró que el hígado es un órgano accesorio que participa en el proceso digestivo del bagre de canal con habito alimenticio omnívoro oportunista. Se registró que el parénquima en esta especie no se divide en lóbulos distintos y se compone de dos láminas celulares ramificadas de hepatocitos separadas por sinusoides. La coloración de este órgano se vio relacionada con el contenido de grasa (Grizzle y Rogers, 1985).

Se detalla que la acumulación de grasas en el tejido hepático afecta las funciones digestivas e inmunológicas de los organismos y es resultado de alteraciones del alimento suministrado como dietas con altos contenidos de grasas y carbohidratos. Esta enfermedad expone aumentos del tamaño del órgano, tonalidades amarillentas a blanquecinas, núcleo celular desplazado y vacuolas intracitoplasmáticas que se funde en el citoplasma (Triana-García *et al.*, 2013).

Diversos factores a los que se encuentran expuestos los peces dan como resultado variaciones estructurales en el tejido intestinal, tales como la inclusión de aditivos alimenticios como se muestra en la Tabla 3 o la densidad de cultivo, por mencionar algunos. Análisis histológicos revelaron que la longitud de las vellosidades intestinales de *I. punctatus* se ven significativamente reducidas al incrementar la densidad de organismos en los tanques de cultivo, al tiempo que el número y el tamaño de las células calciformes también se ven disminuidos (Refaey *et al.*, 2018). Esto genera la reducción de la superficie de absorción intestinal y la calidad de la carne de especies acuícolas de interés comercial como el bagre de canal o la tilapia del Nilo (Uni *et al.*, 1995; Abdalqadir, 2014; Refaey *et al.*, 2018).

Tabla 3. Relación de efectos histológicos intestinales en especies de cultivo alimentadas con aditivos alimenticios.

Especie	Tratamiento	Efectos	Autores
<i>Sparus aurata</i> .	MOS.	4 g/Kg aumentan en la densidad de vellosidades intestinales. Reducen la exposición de las uniones estrechas, lo que finalmente mejoró la capacidad de absorción de los nutrientes en el intestino.	Dimitroglou <i>et al.</i> , 2010.
<i>I. punctatus</i> .	Ác. gosipol acético.	Concentraciones elevadas promovieron cambios leves en las regiones proximal y distal como necrosis focalizada en los enterocitos, desprendimiento de la mucosa, pérdida de vacuolización supranuclear de los enterocitos intactos, infiltración de células inflamatorias en la submucosa y la lámina propia, así como cambios hiperplásicos del tejido conectivo que conforma a esta lamina.	Evans <i>et al.</i> , 2010.
<i>O. mykiss</i> , <i>O. tshawytscha</i> y <i>S. salar</i> ,	Saponinas	En concentraciones no mayores a 1.5 g/Kg no se registran cambios histológicos en los organismos tratados, pero con la administración de concentraciones más elevadas se ocasionan daños extensivos a la mucosa intestinal, al mismo tiempo que inducen el aumento en la incidencia de morfologías epiteliales anormales en el tejido.	Bureau <i>et al.</i> , 1998; Gu <i>et al.</i> , 2014.
<i>Salmo salar</i> .	<i>Glycine max.</i>	Con 2 g/Kg no se presentaron cambios histológicos aparentes en el intestino, tanto en el ciego pilórico como en la región distal del intestino.	Gu <i>et al.</i> , 2014.
<i>O. niloticus</i> .	Mezcla de sal de ácido orgánico.	Aumento significativo en la altura de las vellosidades intestinales.	Huan <i>et al.</i> , 2018.
<i>Litopenaeus vannamei</i> .	Ác. orgánicos micro encapsulados.	0.8 g/Kg incrementan la altura de las vellosidades intestinales.	Yao <i>et al.</i> , 2018.
<i>Rhamdia quelen</i> .	Sales de ác. Orgánicos.	Vellosidades más grandes y numerosas. Menor número de infiltrados eosinofílicos y linfocíticos.	Pereira <i>et al.</i> , 2019.

<i>O. niloticus.</i>	Beta glucanos.	Aumento en la longitud y el grosor de las vellosidades intestinales, así como el número de células calciformes presentes.	Dawood et al., 2020a.
<i>O. niloticus.</i>	MOS.	Incremento en el número de las células calciformes y mastocitos.	Cavalcante et al., 2020.
<i>O. niloticus.</i>	Extractos fotogénicos.	1 g/Kg proporciona mayor altura de las vellosidades en la región anterior del intestino.	Poolsawat et al., 2020.
<i>O. niloticus.</i>	<i>Q. saponaria</i>	0.3 g/Kg mejoran en la histomorfología de intestino cuando se aplican en conjunto con <i>Y. schidigera</i> en el medio (0.11 ml/m ³).	Abozeid et al., 2021.
<i>O. niloticus.</i>	<i>Y. schidigera.</i>	1 g/Kg alivia el estrés inducido por calor. Restaura la morfología histológica intestinal alterada de los organismos.	Li et al., 2021.
<i>O. niloticus.</i>	<i>Q. saponaria.</i>	0.4 g/Kg incrementan el largo y el área de superficie de las vellosidades, así como en el número de células calciformes y una reducción del espacio entre vellosidades en las regiones anterior y media del intestino. Tales valores aún más incrementados con el acompañamiento de Vitamina E.	Elkaradawy et al., 2021.

IV.6. Calidad del agua.

El desempeño en el crecimiento del bagre de canal presentó reducciones importantes relacionadas de manera directa con densidades elevadas de cultivo. De estas densidades elevadas, las que contenían mayor número de organismos por metro cuadrado registraron una relación proporcional con el deterioro en la calidad del agua (Southworth et al., 2006). En este mismo sentido, la calidad del agua de los cultivos también depende del aumento de los residuos (disueltos y suspendidos) que se componen principalmente por materia orgánica que forma especies nitrogenadas como el nitrógeno amoniacal total (NAT). El NAT demostró ser altamente tóxico para la supervivencia del bagre de canal, por lo que se generó la necesidad de encontrar procesos de remoción y control del mismo (Konikoff, 1975; Gallego-Alarcón y García-Pulido, 2017).

Precisamente la adición de SN a las dietas de los organismos registra resultados favorables. Cuando se aplicó extracto de *Y. schidigera* en una concentración de 1.5 g/Kg a la dieta de *P. hypophthalmus* se logró reducir el NAT (Güroy et al., 2014b). La

implementación de SN del extracto de *Y. schidigera* adicionadas en la dieta de la tilapia del Nilo en concentraciones de 0.25, 0.5, 0.75 y 1 g/Kg logró una reducción significativa en los niveles de NAT, nitratos, nitritos y oxígeno disuelto (El-Saidy y Gaber, 2004). Aunque también con la aplicación directa en el agua de concentraciones de extracto de *Y. schidigera* de 0.11ml/m³, se registró una significativa mejora en la calidad del agua promoviendo mejores condiciones de cultivo para *O. niloticus* (Abozeid *et al.*, 2021). Extractos de *Y. schidigera* también aplicados directamente en el agua en una concentración de 0.75 mg/L demostraron reducir significativamente los niveles de NAT derivados de la excreta y el alimento no consumido por *Dicentrarchus labrax*. Con esto, se observó una reducción en la mortalidad y un incremento en la concentración del oxígeno disuelto en los estanques, lo que benefició el crecimiento y la respuesta fisiológica de esta especie marina (Fayed *et al.*, 2019). Incluso, cuando se añadieron altas concentraciones de *Y. schidigera* directamente en el agua (36 y 72 Mg/L), se presentó una reducción en el NAT que se ve relacionada con el tiempo de exposición y el tiempo de agotamiento de este extracto (Santacruz-Reyes, 2013).

Una concentración de 0.3 g/Kg de una mezcla comercial elaborada a partir de saponinas de *Y. schidigera* y *Q. saponaria* aplicada a la dieta del basa (*P. hypophthalmus*) demostró tener efecto sobre la reducción del NAT sin comprometer la composición proximal del basa, lo que demostró que la inclusión de la mezcla de ambas SN indujo efectos positivos en la calidad del agua (Güroy *et al.*, 2014a). Por otro lado, la SN obtenida del extracto de *Q. saponaria*, se adicionó en dietas de *O. niloticus* en concentraciones de 0.3 g/Kg acompañada de Vitamina E en concentraciones de 400 mg/Kg, dando como resultado reducciones en los niveles de NAT y amoníaco desionizado en los peces alimentados (Elkaradawy *et al.*, 2021). De la misma manera, cuando se aplicó el extracto de *Y. schidigera* en una concentración de 1 g/m³ junto con la levadura *S. cerevisiae* también a la concentración de 1 g/m³ directamente en el agua de estanques, se registró la disminución de los niveles de pH, amoníaco, aspartato aminotransferasa, ácido úrico, y creatinina, pero también se registró el aumento de la actividad de superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa, con un valor de malondialdehído significativamente más bajo en la tilapia del Nilo. Lo que finalmente produjo mayor desempeño en el crecimiento sin afectar los niveles de glucosa y de manera aparente redujo el estrés oxidativo (Abdel-Tawwab *et al.*, 2020).

V. Pregunta de investigación.

¿Qué aditivo comercial (ácidos orgánicos, prebióticos o saponinas) genera una mejor condición del bagre (*I. punctatus*) (evaluada en crecimiento por peso y talla, porcentaje de supervivencia, factor de condición, factor de conversión alimenticia y producción final) comparativamente con organismos tratados con una dieta convencional sin aditivos, en cultivos intensivos?

VI. Hipótesis.

Concentraciones efectivas en otras especies acuícolas de aditivos comerciales (ácidos orgánicos, prebióticos y saponinas) incrementarán el crecimiento, supervivencia y producción final del bagre (*I. punctatus*), comparativamente con organismos tratados con dietas convencionales sin aditivos, en cultivos intensivos.

VII. Objetivos.

VII.1. Objetivo general.

Determinar el aditivo comercial que integrado en la dieta genera mejor desempeño en el crecimiento en el bagre (*I. punctatus*), en comparación con el grupo control (organismos alimentados con una dieta convencional sin aditivos).

VII.2. Objetivos específicos.

- Evaluar la supervivencia del bagre (*I. punctatus*) con tres aditivos alimenticios comerciales (ácidos orgánicos, prebióticos y saponinas).
- Encontrar el aditivo comercial que mejora el factor de conversión alimenticia en el bagre (*I. punctatus*).
- Evaluar la morfología hepática e intestinal del bagre (*I. punctatus*) expuesto a los diferentes aditivos alimenticios.
- Definir el aditivo alimenticio comercial que genera mayor impacto positivo en el cultivo del bagre (*I. punctatus*).

VIII. Materiales y métodos.

VIII.1. Sujeto de estudio.

En el presente estudio se llevó a cabo un ensayo experimental donde se evaluó la efectividad de tres aditivos alimenticios (AO, PB y SN) sobre el desempeño en el crecimiento de juveniles de *I. punctatus* con peso de 40.5 gr (± 0.5) y talla de 165 mm (± 0.5). Los organismos se obtuvieron de la Unidad de Producción Acuícola Rincon del Bonete SPR de RL dedicada a la producción de bagre y tilapia ubicada en La Huacana, Michoacán, México.

VIII.2. Diseño experimental.

Este ensayo se llevó a cabo en La Unidad de Cuarentena de Tilapia y Bagre de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Los tratamientos y el control con cada una de sus repeticiones se aleatorizaron en cuatro estanques de concreto (4.8 m x 2.4 m x 0.95 m) seccionados en tres secciones con dimensiones de 1.6 m x 2.4 m x 0.95 m cada una, dentro de un sistema de cultivo intensivo con recirculación de agua. Cada una de las secciones se numeró y se etiquetó con un código de colores por tratamiento como se aprecia en la Figura 1.



Figura 1. Estanques de concreto (4.8 m x 2.4 m x 0.95 m) separados en secciones (1.6 m x 2.4 m x 0.95 m) en sistema intensivo de cultivo en La Unidad de Cuarentena de Tilapia y Bagre de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Los organismos se distribuyeron aleatoriamente en cada uno de los siguientes tratamientos correspondientes a los tres aditivos alimenticios y un control, cada uno de estos tratamientos se conformó de tres repeticiones:

- Control: Dieta comercial sin ningún tipo de aditivo.
- Tratamiento “AO”: Ácidos Orgánicos: dieta adicionada con mezcla de ácido fumárico (Fumarato de magnesio), ácido propiónico (propionato de calcio) y ácido fórmico (formiato de calcio) a 1 g/Kg.
- Tratamiento “PB”: Prebióticos: dieta adicionada con mezcla de β -glucanos y oligomananos a 6 g/Kg.
- Tratamiento “SN”: Saponinas: dieta adicionada con mezcla de extracto de *Q. saponaria* y *Y. schidigera* a 1.5 g/Kg.

Se implementó un total de 12 grupos conformados por 22 organismos como se aprecia en la Tabla 4. La concentración de cada tratamiento se seleccionó en base a estudios previos realizados en el mismo Laboratorio y posteriormente registrados en la literatura con resultados favorables.

En cada una de las jaulas se colocaron trampas de alimento para evitar en el mayor grado posible la contaminación entre tratamientos. Los organismos se alimentaron a saciedad aparente tres veces al día durante un periodo de duración total de 111 días.

Tabla 4. Repeticiones del diseño experimental.

Tratamiento / Repeticiones	1	2	3
Control (0 g/Kg).	22 juveniles.	22 juveniles.	22 juveniles.
AO (1 g/Kg).	22 juveniles.	22 juveniles.	22 juveniles.
PB (0.6 g/Kg).	22 juveniles.	22 juveniles.	22 juveniles.
SN (1.5 g/Kg).	22 juveniles.	22 juveniles.	22 juveniles.

VIII.3. Preparación de la dieta.

Con el uso de una balanza digital de precisión (Figura 2) con capacidad de 2,000 g (Ohaus, mod. SP2001, Scout Pro) se pesaron lotes de 1 Kg de alimento de la dieta comercial para cada tratamiento. Cada una de las concentraciones de los aditivos

alimenticios se homogenizaron en 50 ml de aceite vegetal mixto (canola, soya, girasol, cártamo) (Agydsa, Cristal) que actúo como agente adherente. Una vez obtenida la mezcla homogenizada se adicionó gradualmente con la ayuda de una batidora de pedestal (Oster, mod. 232, 2392-13) sobre cada kilogramo de alimento pesado, hasta verter por completo la mezcla. El producto se mezcló con la misma batidora (Figura 3) hasta obtener de nuevo una homogeneidad visible. Posterior a ello, el alimento se mezcló durante un minuto adicional.



Figura 2 y 3. Balanza digital de precisión y Batidora de pedestal.

Al finalizar, los alimentos fueron etiquetados bajo el mismo código de colores de los estanques asignados como se ilustra en la Figura 4. Los alimentos fueron almacenados en contenedores etiquetados por tratamiento como se aprecia en la Figura 5. Este procedimiento fue replicado dos veces por semana.



Figura 4 y 5. Alimentos etiquetados y almacenados.

Con el objetivo de contar con un registro del alimento consumido se elaboró una bitácora en donde se registró día con día el peso de alimento consumido por estanque, así

como también una bitácora en donde se registró el alimento sin consumir y que tuvo que retirarse de cada estanque. En esta última bitácora descrita se registró el número de pellets retirados para calcular su peso.

VIII.4. Desempeño en el crecimiento.

Antes de dar inicio con el ensayo, se llevó a cabo un primer muestreo aleatorio simple con reposición en donde se realizó la biometría inicial con el registro de peso y talla de 20 organismos por tratamiento y control mediante el uso de un ictiómetro y una balanza digital de precisión con capacidad de 2,000 g como se aprecie en la Figura 6 (Ohaus, mod. SP2001, Scout Pro). Posteriormente se llevaron a cabo tres muestreos de manera aleatoria simple con reposición de 20 organismos por tratamiento y control para la obtención de las biometrías en los días 35, 71 y 111 del ensayo.



Figura 6. Ictiómetro y balanza digital utilizadas en biometría.

Con el registro del peso y la talla en las biometrías realizadas en los muestreos se procedió a obtener por tratamiento los valores de la biomasa y del consumo alimenticio diario (CAD). Una vez obtenidos estos valores se continuó con la medición del PCG, del peso ganado por día (PGD), del FCA, de la TAD, del K y la tasa de supervivencia. Las fórmulas utilizadas para calcular cada uno de los índices del desempeño en el crecimiento se plasman en la Tabla 5.

Tabla 5. Índices del desempeño en el crecimiento con fórmulas.

Índice.	Fórmula.
Peso corporal ganado.	$PF - PI$
Peso ganado por día	$\frac{PCG}{t}$
Tasa de crecimiento específica.	$100 \times \left(\frac{\ln PF - \ln PI}{t} \right)$
Factor de conversión alimenticia.	$\frac{PAC}{PCG}$
Tasa de alimentación diaria.	$100 \times \frac{FCA}{t}$
Factor de condición de Fulton.	$100 \times \left(\frac{P}{T^3} \right)$
Tasa de supervivencia.	$100 \times \frac{NF}{NI}$

El PCG fue calculado restando el peso inicial (PI) del peso final (PF), mientras que el peso ganado por día resultó del PCG dividido entre el tiempo (periodo experimental). La tasa de crecimiento específica por día se obtuvo sustrayendo el logaritmo natural del PI al logaritmo natural del PF, todo esto dividido sobre el tiempo y multiplicado por cien. Por su parte, el FCA se obtuvo dividiendo el peso del alimento consumido (PAC) durante el periodo sobre el PCG. La tasa de alimentación por día expresada en porcentaje se calculó al multiplicar por cien el resultado de la división del FCA entre el tiempo del ensayo. Mientras que el K, también obtenido en porcentaje se calculó multiplicando por cien el resultado del peso de los organismos entre la talla elevada al cubo. La tasa de supervivencia resultó de dividir el número de organismos registrados al final del periodo entre el número de organismos iniciales y posteriormente multiplicando el resultado por cien para obtener un porcentaje.

De manera complementaria se tomó registro del tiempo que le tomaba a los organismos recuperar el comportamiento regular de búsqueda y consumo de alimento después de ser sometidos a un factor de estrés como lo fue la manipulación realizada a los organismos durante las biometrías realizadas en los tres muestreos con los que se desarrolló el ensayo experimental. A este lapso se le denominó como el periodo de

recuperación al estrés (PRE), el cual estuvo caracterizado por un acto inicial de inanición por parte de los organismos y posteriormente un paulatino y variable entre tratamientos restablecimiento del comportamiento alimenticio regular.

VIII.5. Índices somáticos y disección.

Con el objetivo de analizar el efecto de los tratamientos sobre la morfología hepática e intestinal de los organismos y su impacto sobre el desempeño en el crecimiento se tomaron muestras de tejido intestinal durante la primera, la segunda y la última biometría. Se muestrearon de manera aleatoria simple sin reposición 4 organismos por tratamiento y control, a los cuales se les extrajo el hígado y el intestino completo siguiendo los procedimientos de sacrificio y eutanasia descritos en este documento.

La disección de cada organismo se realizó mediante un corte con bisturí desde las aletas ventrales hacia el ano para extraer todo el material visceral como se muestra en la Figura 7 y se tomó el peso de las vísceras. Posterior a esto, el hígado y el intestino se separaron del resto del contenido visceral (Figura 8) y se realizó la medición de las dimensiones orgánicas tomando el peso hepático e intestinal, así como la longitud del intestino.



Figura 7 y 8. Disección de *I. punctatus* y material hepático e intestinal extraído.

Los pesos hepáticos, intestinales y viscerales, así como las longitudes de cada uno de los intestinos se registraron por tratamiento para determinar visibles diferencias en las dimensiones orgánicas entre los tratamientos. Con estos valores se calculó el índice somático intestinal (ISI), el índice hepatosomático (IHS), el índice viscerosomático (IVS), el índice viscerointestinal (IVI) y el índice hepático visceral (IHV). Estos valores fueron calculados con las fórmulas registradas en la Tabla 6.

Tabla 6. Índices somáticos.

Índice.	Fórmula.
Índice somático intestinal.	$100 \times \left(\frac{PI}{PF} \right)$
Índice hepatosomático.	$100 \times \left(\frac{PH}{PF} \right)$
Índice viscerosomático.	$100 \times \left(\frac{PV}{PF} \right)$
Índice viscerointestinal.	$100 \times \left(\frac{PI}{PV} \right)$
Índice hepático visceral.	$100 \times \left(\frac{PH}{PV} \right)$

Los índices ISI, IHS e IVS se calcularon multiplicando por cien el resultado del peso intestinal, hepático y visceral respectivamente sobre el peso final de cada organismo. La proporción en porcentaje que representaron los intestinos y los hígados (IVI e IHV) en la materia visceral de cada organismo se calculó multiplicando por cien el peso de cada órgano en relación al peso visceral registrado. Una vez obtenido el valor del IVS se pudo calcular el peso eviscerado medio hipotético de los organismos por tratamiento restando dicha proporción al peso final con la siguiente fórmula.

$$\text{Peso eviscerado} = PF \times (100 - IVS)$$

VIII.6. Sacrificio y eutanasia.

De acuerdo con los lineamientos establecidos por el “Reglamento para el uso y cuidados de animales destinados a la investigación” (COLPOS, 2019), los organismos muestreados para obtener el material intestinal se colocaron en tinas con agua fría y posteriormente se aplicó 1 mL de aceite de clavo como anestesia por cada 10 litros de agua en tina. Bajo el procedimiento de dosis respuesta se repitió la aplicación del anestésico hasta obtener el cese de los signos vitales en los organismos para evitar cualquier padecimiento de dolor o sufrimiento.

VIII.7. Calidad del agua.

Tomando las mediciones de los indicadores de la calidad del agua con ayuda de un medidor multiparámetro (YSI, Professional Plus con cable Cuatro pro), se elaboró una bitácora con los registros de cada 24 horas para determinar las condiciones a las que se ve expuesto el desarrollo de *I. punctatus*. Los indicadores de calidad del agua registrados se hicieron mediante las mediciones de oxígeno disuelto, temperatura, concentración total de nitrógeno amoniacal, Ph y sólidos disueltos totales. Las medias de los indicadores de calidad del agua registrados en el transcurso del periodo experimental se plasmaron en la Tabla 7.

Tabla 7. Medias de los indicadores de calidad del agua registrados.

	Temp. (°C)	Ox. Dis. (mg/L)	pH	NH4 (mg/L)	NH3 (mg/L)	STD (ppm)
Media	23.94 ± 0.20	5.36 ± 0.12	7.98 ± 0.15	0.505 ± 0.054	0.089 ± 0.016	646.12 ± 4.87

VIII.8. Análisis de datos.

Una vez culminado el periodo experimental se llevó a cabo un análisis de distribución mediante el uso del paquete estadístico JMP ver. 11, para obtener así los valores medios de los estimadores del desempeño en el crecimiento, del aprovechamiento alimenticio, de la condición, del bienestar animal y de las proporciones orgánicas de los organismos por tratamiento. Con la información recabada se llevó a cabo la construcción de tablas

integradas con los valores de las medias y de las similitudes probabilísticas con los análisis aplicados. Con toda esta información se elaboraron gráficos comparativos para ilustrar las diferencias significativas observadas con el uso del paquete estadístico JMP ver. 11.

A continuación, con el objetivo de asegurar la confiabilidad de los análisis se utilizó el mismo análisis de distribución para determinar la normalidad de los datos para cada uno de los indicadores mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Al contar con la certeza de normalidad de los estimadores fue posible llevar a cabo los análisis correspondientes mediante las pruebas estadísticas con mayor grado de adaptación para cada grupo utilizando el mismo paquete estadístico. Una vez determinado el origen de los datos en términos de normalidad se procedió a realizar una prueba de equidad de varianzas en cada una de las variables mediante la prueba de Levene en el mismo paquete estadístico con el objetivo de determinar el supuesto de homocedasticidad.

En el caso de los datos que presentaron provenir de una distribución normalidad, se determinó la existencia de diferencias significativas de las variables dependientes entre los tratamientos y control con el análisis de varianza ANOVA para un factor. Una vez identificadas las diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de comparación de medias t de Student para determinar la significancia de los tratamientos. Por otra parte, para el caso de los datos que no cumplieron con el principio de normalidad, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para determinar en primer lugar la presencia de diferencias significativas y posteriormente se llevó a cabo una prueba U de Mann-Whitney de comparación de medias para identificar los tratamientos significantes. Aunado a esto, se llevaron a cabo análisis de correlación con el objetivo de recabar explicaciones funcionales del grado de influencia que tienen las variables entre sí para obtener certeza en los resultados. Para todos los casos se siguió un valor crítico (alfa) de 0.05.

De esta misma manera se llevaron a cabo análisis de normalidad, significancia y correlación con los indicadores de la calidad del agua, así como también se elaboraron gráficos que permitieron comprender la relación que guardan con el desempeño en el crecimiento mediante el uso del mismo paquete estadístico.

IX. Resultados.

Una vez recabados los datos en su totalidad se permitió identificar a las variables que cumplían con el supuesto de normalidad W ($p \geq 0.05$) y con el supuesto de homocedasticidad de varianzas iguales F ($p \geq 0.05$) para cada conjunto de datos; los resultados de tales análisis se plasmaron junto con los valores calculados de desviación estándar para cada variable por tratamiento en la Tabla 8.

Tabla 8. Desviaciones estándar, análisis de normalidad y análisis de homocedasticidad por variable.

	Control vs AO	Control vs PB	Control vs SN	PB vs AO	PB vs SN	SN vs AO
<i>Peso</i>	0.0027	<.0001	0.0002	0.1074	0.3455	0.4849
<i>Talla</i>	0.02	0.0001	0.0013	0.135	0.5448	0.3754
<i>PCG</i>	0.0027	<.0001	0.0002	0.1074	0.3455	0.4849
<i>K</i>	0.01	<.0001	0.0113	0.054	0.0299	0.7334
<i>TCE</i>	0.0023	<.0001	0.0001	0.0446	0.2225	0.4258
<i>FCA</i>	0.1277	<.0001	<.0001	0.0001	0.7482	<.0001
<i>PGD</i>	0.0029	<.0001	0.0003	0.1449	0.3519	0.5176
<i>TAD</i>	0.05	<.0001	<.0001	0.7712	0.8667	0.4945
<i>CAD</i>	0.0058	0.007	0.0176	0.9465	0.7446	0.6944
<i>Superv.</i>	0.6816	0.0052	0.647	0.005	0.0139	0.8893
<i>PRE</i>	0.006	0.0003	0.2866	0.2866	0.006	0.0724
<i>Peso int.</i>	0.0675	0.0744	0.25	0.9561	0.4706	0.4386
<i>Long. Int.</i>	0.2373	0.2782	0.6352	0.9156	0.5285	0.4635
<i>Peso híg.</i>	0.5951	0.1743	0.0866	0.3868	0.68	0.2112
<i>Peso vísc.</i>	0.0146	0.0013	0.0009	0.2159	0.8116	0.1471
<i>ISI</i>	0.3564	0.7831	0.5487	0.5108	0.3865	0.1409
<i>IHS</i>	0.1536	0.4017	0.3288	0.5256	0.8843	0.6226
<i>IVS</i>	0.0196	0.0017	0.0008	0.2132	0.6621	0.1034
<i>IVI</i>	0.0464	0.0024	0.0003	0.1315	0.2409	0.0146
<i>IHV</i>	0.0026	0.0012	0.0012	0.6686	0.9977	0.6707
<i>Peso evisc.</i>	0.014	<.0001	0.0046	0.1892	0.304	0.7357

De manera consecutiva se logró hacer la identificación de los valores medios de los estimadores del desempeño en el crecimiento, del aprovechamiento alimenticio, así como de la condición de los organismos y se plasmaron en la Tabla 9, en donde también se incluyen las medias de las dimensiones intestinales, hepáticas y de los índices de proporcionalidad correspondientes. Así se dio paso a la determinación de diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores del desempeño en el crecimiento en los organismos tratados con los aditivos alimenticios y el grupo Control, dichos resultados se registraron utilizando el método de letras de unión (Tabla 9).

Tabla 9 Valores medios con error estándar de los indicadores de crecimiento, condición, aprovechamiento alimenticio, bienestar y proporción orgánica.

	Control		AO		PB		SN	
<i>Peso (gr)</i>	249.37 ± 8.79	b	294.58 ± 11.14	a	325.63 ± 11.54	a	307.37 ± 11.54	a
<i>Talla (mm)</i>	266.36 ± 2.61	b	275.46 ± 2.73	a	281.21 ± 2.56	a	278.90 ± 2.96	a
<i>PCG (gr)</i>	208.57 ± 8.79	b	253.78 ± 11.14	a	284.83 ± 11.54	a	266.57 ± 11.54	a
<i>K</i>	1.78 ± 0.03	c	1.87 ± 0.03	ab	1.94 ± 0.03	a	1.87 ± 0.03	b
<i>TCE (%/día)</i>	1.60 ± 0.03	c	1.75 ± 0.04	b	1.84 ± 0.03	a	1.78 ± 0.04	ab
<i>FCA</i>	1.76 ± 0.01	a	1.74 ± 0.02	a	1.68 ± 0.004	b	1.68 ± 0.004	b
<i>PGD (gr/día)</i>	1.89 ± 0.08	b	2.29 ± 0.10	a	2.56 ± 0.10	a	2.4 ± 0.10	a
<i>TAD (%/día)</i>	1.58 ± 0.009	a	1.57 ± 0.02	ab	1.52 ± 0.004	b	1.51 ± 0.003	b
<i>CAD (gr/día)</i>	3.12 ± 0.15	b	3.78 ± 0.16	a	3.76 ± 0.19	a	3.68 ± 0.18	a
<i>Superv. (%)</i>	89.71 ± 1.04	b	88.02 ± 1.66	b	100.00	a	90.03 ± 1.11	b
<i>PRE (días)</i>	11.44 ± 0.56	a	7.22 ± 1.01	bc	5.67 ± 0.90	c	9.89 ± 1.41	ab
<i>Peso int. (gr)</i>	7.95 ± 0.73	a	11.53 ± 1.96	a	11.43 ± 1.12	a	10.10 ± 0.84	a
<i>Long. Int. (cm)</i>	61.25 ± 4.96	a	67.00 ± 2.80	a	66.5 ± 1.19	a	63.5 ± 2.99	a
<i>Peso hígado (gr)</i>	11.08 ± 1.37	a	11.85 ± 0.77	a	13.13 ± 0.46	a	13.73 ± 1.16	a
<i>Peso víscera (gr)</i>	30.35 ± 2.48	b	52.28 ± 6.14	a	62.33 ± 5.54	a	64.20 ± 6.62	a
<i>ISI (%)</i>	2.26 ± 0.14	a	2.51 ± 0.31	a	2.33 ± 0.10	a	2.10 ± 0.09	a
<i>IHS (%)</i>	3.13 ± 0.26	a	2.61 ± 0.09	a	2.83 ± 0.26	a	2.78 ± 0.29	a
<i>IVS (%)</i>	8.68 ± 0.69	b	11.44 ± 0.77	a	12.78 ± 0.81	a	13.24 ± 0.60	a
<i>IVI (%)</i>	26.22 ± 1.44	a	21.74 ± 1.56	b	18.48 ± 1.43	bc	15.99 ± 1.26	c
<i>IHV (%)</i>	36.47 ± 3.69	a	23.17 ± 1.87	b	21.63 ± 1.41	b	21.64 ± 2.34	b
<i>Peso evisc. (gr)</i>	227.72 ± 8.02	a	260.88 ± 9.87	b	284.02 ± 10.07	b	266.67 ± 10.02	b

* Los grupos no unidos por la misma letra son significativamente distintos.

En primera instancia se identificó la posible existencia de diferencias significativas entre las repeticiones de los mismos tratamientos con los valores de peso y talla para cerciorar que los datos fueran homogéneos y no interfirieran con los resultados. Este análisis dio certeza y confiabilidad en los datos al no registrarse diferencia alguna entre las tres repeticiones de los tratamientos AO, PB y el grupo control como se presenta en la Figura 9.

Por otro lado, se observó que en una de las repeticiones del tratamiento SN se registró una descompensación en el crecimiento relacionado con el comportamiento alimenticio de los organismos a lo largo del ensayo experimental como se detalla más adelante (Figura 15 y 16). Sin embargo, la situación a la que se vio expuesta esta repetición no fue impedimento para que el tratamiento SN promoviera el desempeño en el crecimiento comparativamente con el grupo Control.

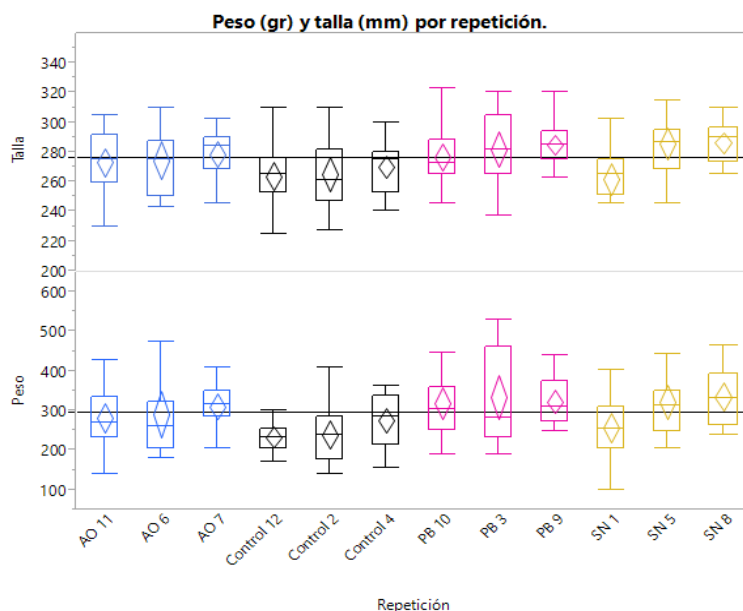


Figura 9. Diagrama de caja y bigotes con valores de peso en gramos y talla en milímetros por tratamiento.

Se identificó así que el peso, la talla y el PCG presentaron una diferencia significativa al término del ensayo (Tabla 9) en todos los tratamientos contra el control como se aprecia en la Figura 10. Este resultado indica que los organismos del grupo control con una media de peso que no rebasó los 250 gr, registraron tamaños estadísticamente menores a los tratamientos que registraron medias por encima de 290 gr de peso.

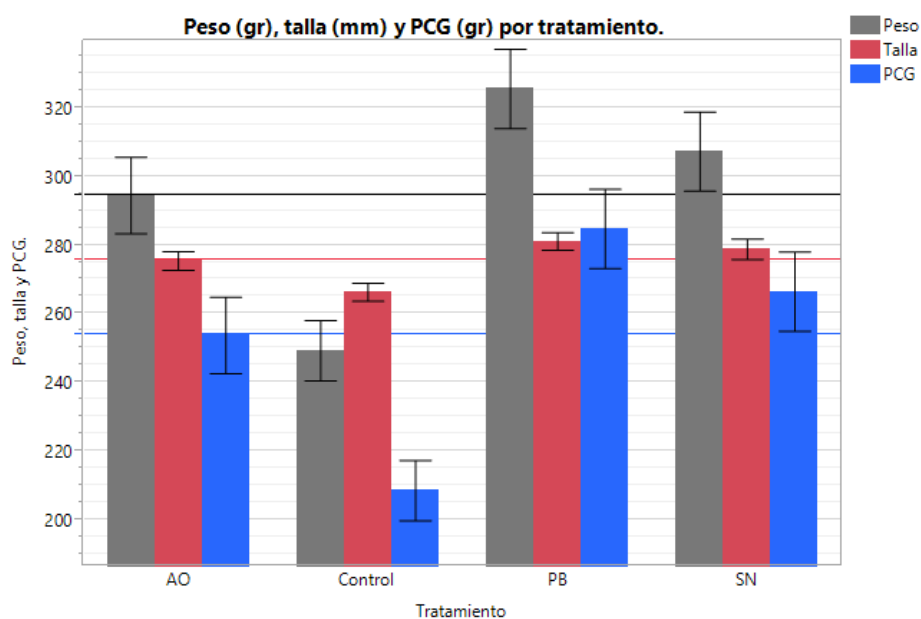


Figura 10. Gráfico de barras con valores medios y errores estándar de peso en gramos, talla en milímetros y peso corporal ganado en gramos por tratamiento.

De manera muy interesante fue posible notar que mientras que el peso y el PCG de los organismos alimentados con aditivos alimenticios registraron una diferencia notable desde el primer muestreo, la talla de los mismos tuvo un despegue del grupo Control a partir de la segunda mitad del periodo experimental como se aprecia en la Figura 11 que detalla el comportamiento de estos índices en el transcurso del ensayo experimental. De cualquier manera, para todos los casos es notable que el comportamiento del grupo Control se mantuvo de manera constante por debajo de los tratamientos y el aditivo PB promovió progresivamente un mayor crecimiento que el resto de los organismos alimentados con los demás aditivos.

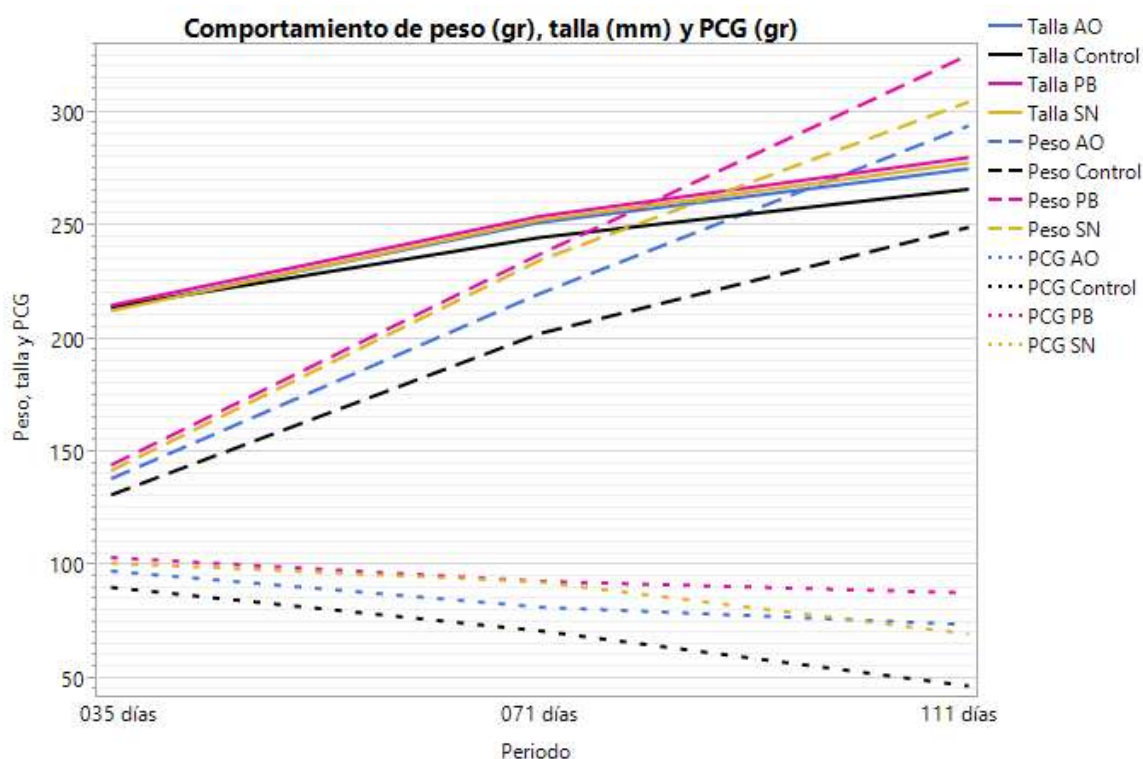


Figura 11. Línea de respuesta de medias de peso en gramos, talla en milímetros y PCG en gramos por tratamiento a través del periodo experimental.

Con las estimaciones que buscan determinar la condición de los peces, se tomó camino hacia el análisis de la correlación que guardan los valores de peso y talla en los distintos tratamientos. Con este análisis se hizo posible comprobar que el K es significativamente mayor en todos los tratamientos en comparación al grupo control, siendo el grupo de SN quien arrojó los resultados más favorables (Tabla 9). Esto se basó en la existencia de una correlación positiva mínima del 82.7% ($p < 0.0001$) entre el peso y la talla

de los organismos como se muestra en la Figura 12, tendencia que se observó también en cada uno de los diferentes tratamientos (Tabla 10), lo que brinda la confiabilidad en los valores obtenidos en el K.

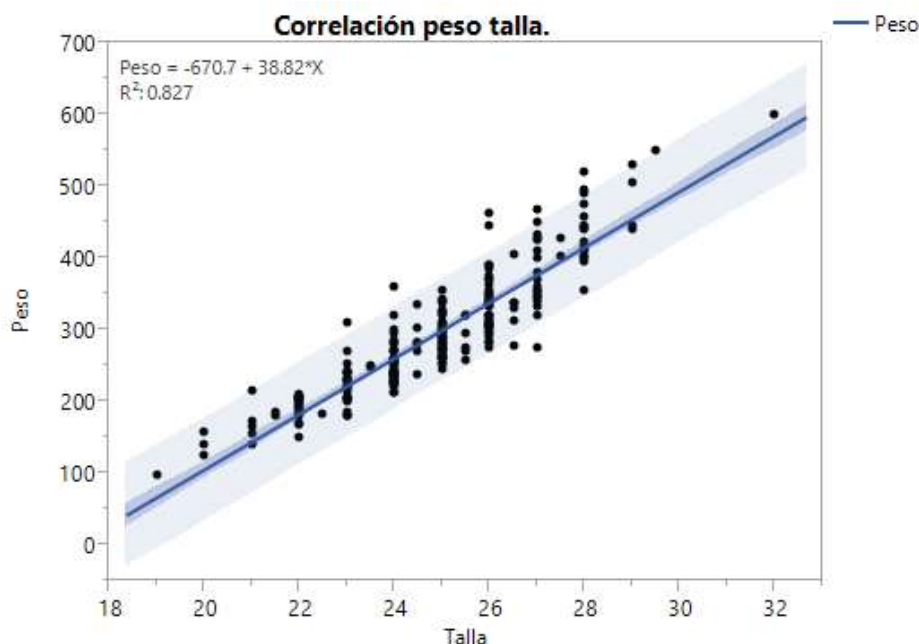


Figura 12. Coeficiente de correlación entre peso y talla de *I. punctatus*.

Así mismo se obtuvo una alometría positiva promovida por todos los aditivos (Tabla 10), lo que indica que el peso de los organismos se incrementa en mayor proporción que su longitud ($b > 3$), comparativamente al grupo control que presentó un crecimiento isométrico ($b = 3$).

Tabla 10. Valores de b y R^2 obtenidos en análisis de correlación por tratamiento.

	Control	AO	PB	SN
b	3.05	3.36	3.25	3.32
R^2	0.75	0.87	0.84	0.85

De nueva cuenta, se observó que los organismos alimentados con los distintos aditivos registraron una mejor condición de crecimiento ya que presentaron valores de K medios por encima de 1.8, estadísticamente mayores al grupo control. Lo anterior se ilustra en la Figura 13, junto al resultado de la TCE que se comportó de manera similar. La TCE en todos los tratamientos fue mayor que el grupo control, donde los organismos crecieron a una velocidad de 1.6 % de su peso corporal por cada día. Este valor se encuentra significativamente por debajo de la velocidad media de los tratamientos (1.75 %/día). No

solo esto, sino que además de que el aditivo PB logró incrementar estadísticamente el K del tratamiento SN también rebasó la TCE del aditivo AO.

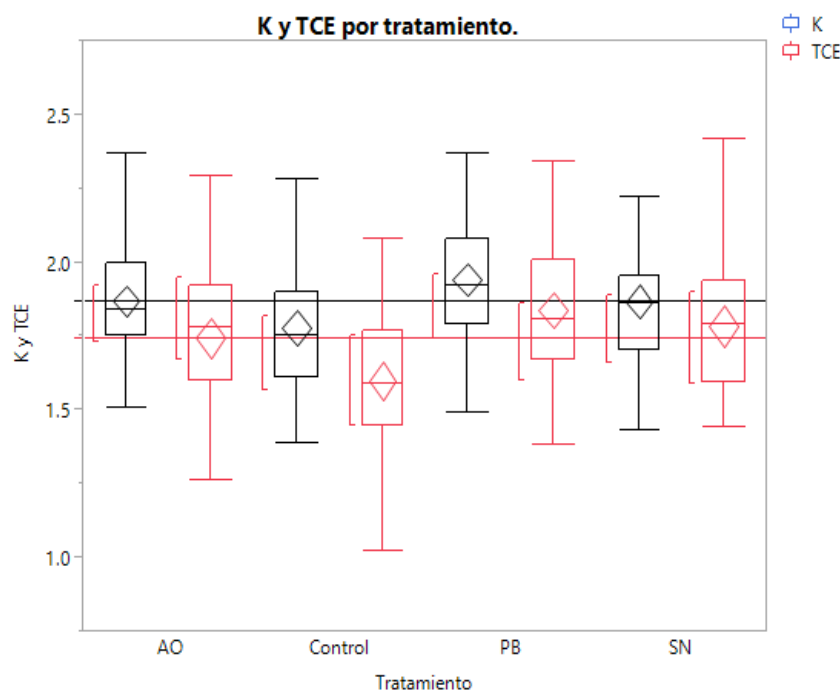


Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes del factor de condición de Fulton y la tasa de crecimiento específica de los organismos por tratamiento.

Aunado a estos registros, como se muestra en la Tabla 9 el FCA demostró un patrón diferente ya que los tratamientos PB y SN fueron significativamente menores contra el grupo Control y el tratamiento AO. El resultado indicó que la demanda de alimento para obtener un gramo de biomasa era idéntica estadísticamente entre el grupo Control y el tratamiento AO. Los organismos alimentados con PB y SN demandaban una media de 1.6 gr del alimento para obtener 1 gr de biomasa, lo cual era significativamente menor que el resto de tratamientos. En el caso de la TAD el comportamiento del grupo Control y AO fue idéntico con una probabilidad estadística muy baja. De nueva cuenta los organismos alimentados con PB y SN registraron una media significativamente menor al grupo Control con un requerimiento de alimento de 1.52 % del peso corporal por día, al mismo tiempo, este valor presentó similitud estadística con el del tratamiento AO.

Lo anterior se plasma en la Figura 14 elaborada en base a un primigenio análisis de correlación entre los indicadores que arrojó un resultado por demás evidente de correlación directa positiva ($R^2=0.997$); en esta se aprecia la menor demanda alimenticia registrada por

parte de los grupos PB y SN, mientras que el grupo Control y AO registraron una tendencia de incremento.

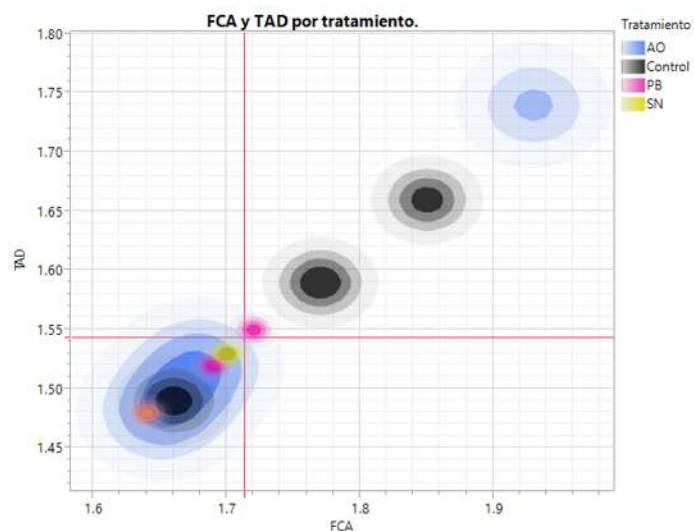


Figura 14. Gráfico de densidad con la distribución media de la tasa de alimentación diaria y el factor de conversión alimenticia por tratamiento.

Cabe destacar que el comportamiento de ambos indicadores del aprovechamiento alimenticio no fue constante a través del periodo experimental como se registra en la Figura 15. Es apreciable que el FCA de los tratamientos PB y SN despegó hasta el segundo muestreo en donde comienzan a disminuir su requerimiento alimenticio, al tiempo que AO y el grupo Control registran lo contrario. En contraste, la TCE si tuvo un comportamiento constante, en el grupo Control se mantuvo siempre por debajo del resto de tratamientos mientras que en el aditivo PB se registró de manera constante una tasa mayor.

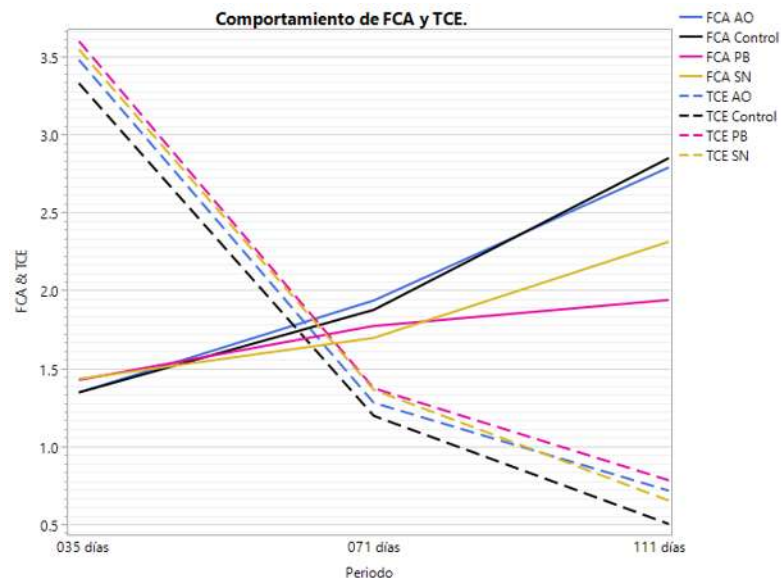


Figura 15. Línea de respuesta del factor de conversión alimenticia y la tasa de crecimiento específica a través del tiempo.

Como se mencionó anteriormente, se registró un suceso anormal en el comportamiento de los organismos del estanque 1 perteneciente al tratamiento SN que se aprecia en la Figura 16. Dicho desfase del desempeño en el crecimiento de este grupo de organismos fue consecuencia de la abrupta disminución en el consumo de alimento diario por parte de los organismos y su consecutivo impacto sobre el peso ganado por día. Se aprecia que de manera general el CAD del estanque 1 fue menor al registrado por los estanques 5 y 8 que pertenecían al mismo tratamiento desde el inicio del ensayo experimental. Sin embargo, el primer muestreo realizado fue el detonante de un comportamiento atípico de los organismos debido a las condiciones de estrés que implicó el manejo de los organismos durante este proceso.

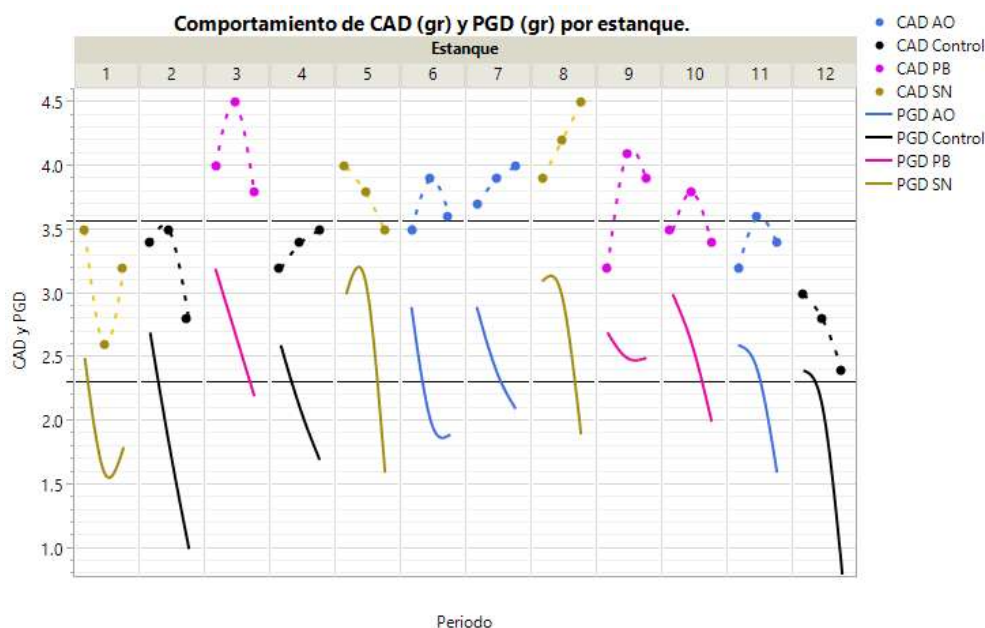


Figura 16. Líneas de respuesta del consumo de alimento diario y el peso corporal ganado por día entre los tratamientos aislados por repetición a través del tiempo.

Se registra en la Figura 17 que este periodo tuvo una duración variable entre los tratamientos después de cada uno de los tres muestreos, pero una tendencia constante entre las repeticiones. Sin embargo, fue el caso del estanque 1 en donde se observó un patrón irregular ya que además de contar con el mayor número de días de recuperación no solo entre las repeticiones de su mismo tratamiento sino también entre todo el resto de los estanques. Se observó que este suceso estuvo ligado por una parte a una abrupta y bastante prolongada inanición y por otra parte a que una vez normalizada la búsqueda y el comportamiento de consumo alimenticio la demanda del mismo disminuía.

Los registros indican (Tabla 9) que el PRE transcurrido hasta alcanzar el patrón alimenticio regular en cada uno de los tratamientos era variable como se muestra en la Figura 17, pero era constante entre las repeticiones de los tratamientos. Incluso los organismos alimentados con SN registraron carecer de diferencias estadísticamente significativas en el PRE entre los estanques, de los cuales formaba parte el estanque 1. Como se detalla en la Tabla 9, mientras que el aditivo SN no logró tener una diferencia significativa en el PRE contra el grupo control el tratamiento con aditivo PB registró promover en los organismos un tiempo significativamente menor de recuperación cercano a la mitad del que presentó el grupo control, y a un tercio del que presentó el aditivo SN. En condiciones de semejanza, el aditivo con AO presentó diferencias significativas contra el

grupo control en la duración del PRE, pero cercanas al grupo alimentado con SN y PB a la vez.

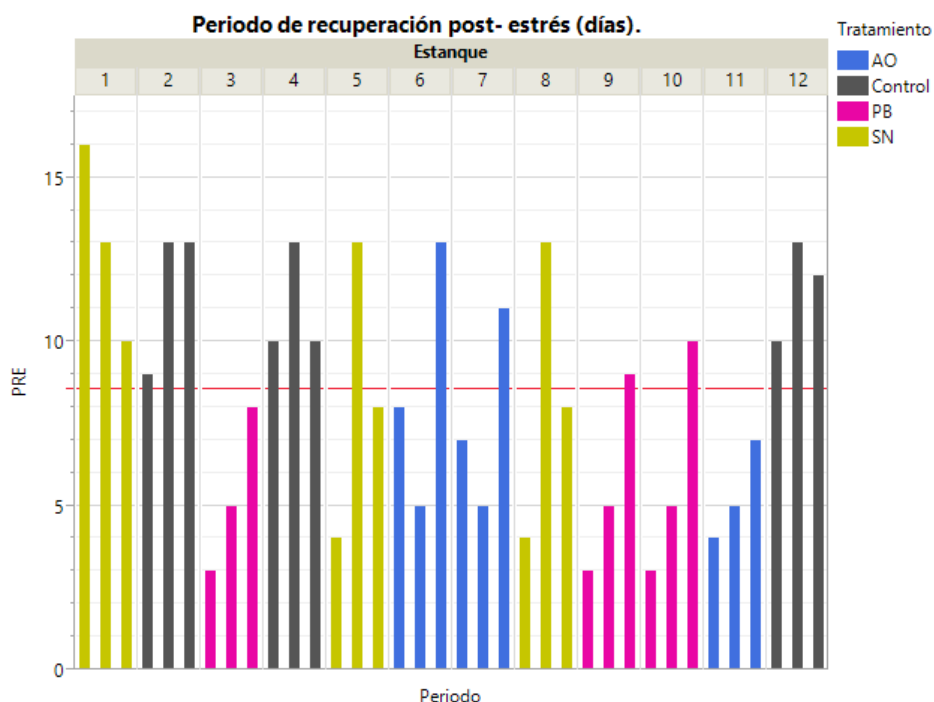


Figura 17. Gráfico de barras del periodo de recuperación de estrés por manipulación con número de días transcurridos posteriores al primero, segundo y tercer muestreo por estanque.

Durante el transcurso del ensayo experimental existió una tendencia muy clara de supervivencia por parte de los organismos alimentados con PB, ya que no se registró una sola mortalidad desde el inicio del mismo. Por su parte, como se muestra en la Figura 18, en todos los estanques se presentó como mínimo un registro de mortalidad.

Esto permitió calcular el porcentaje de supervivencia de los tratamientos (Tabla 9) e identificar así que la administración del aditivo alimenticio PB fue el único que logró promover una supervivencia estadística significativamente mayor que el resto de aditivos y que el grupo control con nulos registros de mortalidad.

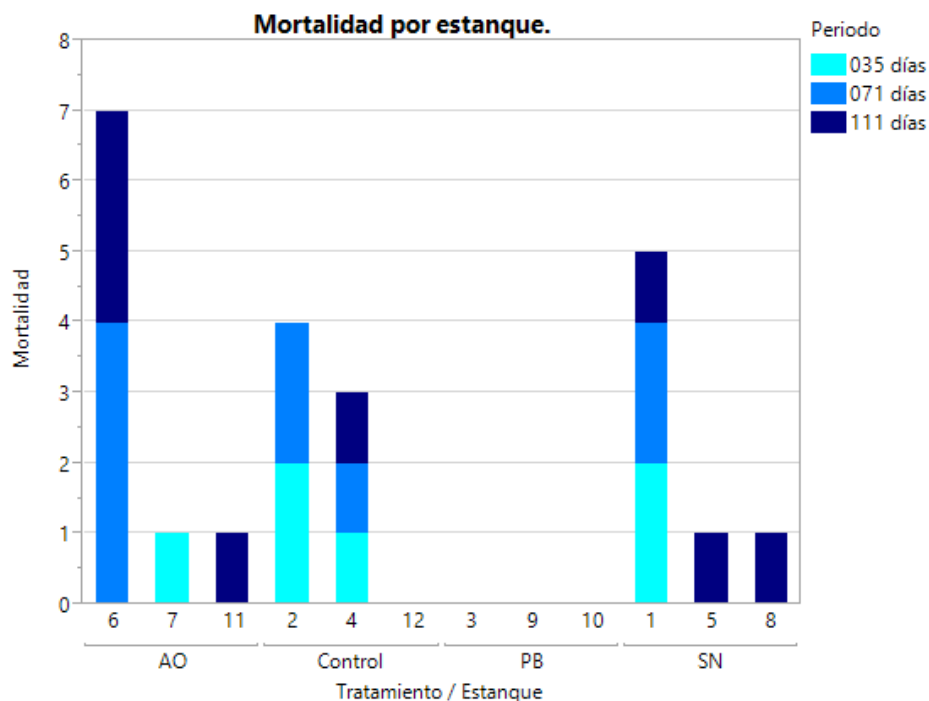


Figura 18. Gráfico de barras con número de mortalidad por tratamiento desglosado por estanque a través del tiempo.

Para continuar, al analizar las proporciones orgánicas de los organismos y sus valores medios plasmados en la Tabla 9, se identificó en primera instancia mayor proporción del peso visceral en los tratamientos en comparación al grupo Control de la misma manera como se observó en los registros del peso de los organismos. Sin embargo, esta diferencia perdió valor al reajustar los pesos de los organismos eliminando la proporción del peso de la víscera, lo que dio como resultado el mismo patrón del peso y el PCG. Cabe destacar que las dimensiones de los intestinos e hígados de los organismos independientemente del control fueron estadísticamente idénticos. Así mismo se observó la presencia de diferencias y similitudes estadísticamente significantes en la relación de proporcionalidad entre los órganos y el peso de los organismos (Tabla 9). Por ejemplo, en el ISI e IHS que miden la proporción que representa el intestino y el hígado respectivamente en el peso corporal del organismo en porcentaje, fue notable que no existió diferencia alguna entre los organismos. Por otro lado, como se muestra en la Figura 19 el IVI e IHV que miden el porcentaje que representan el intestino y el hígado respectivamente en el peso visceral, demostraron ser significativamente menores en los organismos alimentados con los tres diferentes aditivos alimenticios que el grupo Control. Se demostró que los organismos cuyo intestino representaba menor proporción de su masa fueron los alimentados con SN (16 %), mientras que en conjunto con los organismos alimentados con

PB también presentaron hígados proporcionalmente reducidos (21.6 %). Al tiempo que la proporción en porcentaje de la biomasa que representa el peso visceral de los organismos en el grupo Control es significativamente menor (8.7 %) a los organismos sometidos a las dietas con aditivos.

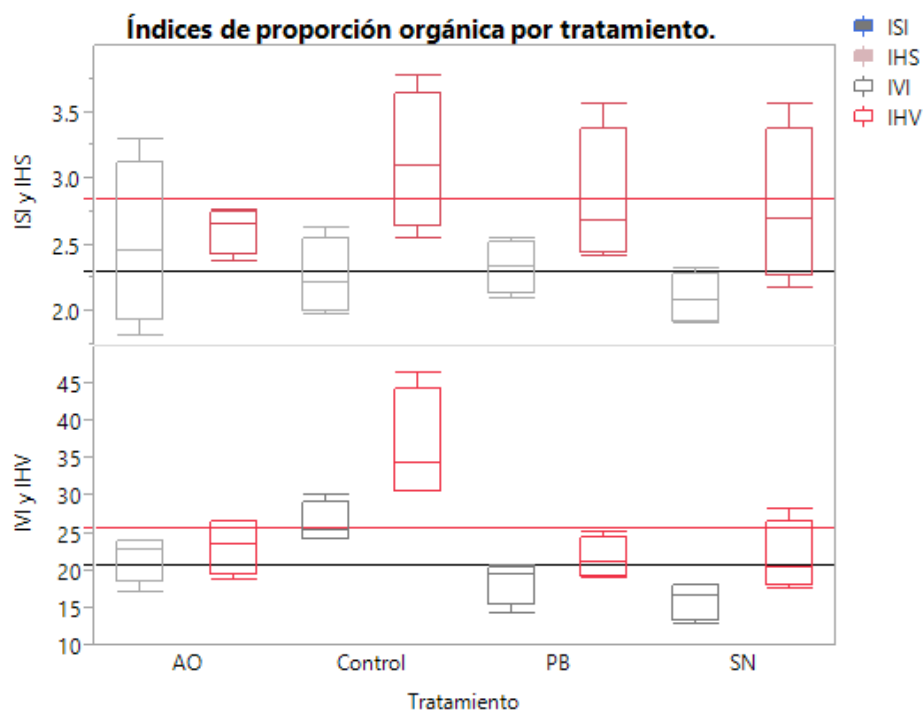


Figura 19. Índice viscerointestinal.

Finalmente, con los registros de amonio, amoniaco y SDT se elaboró una gráfica de correlación para observar el comportamiento de estos indicadores a través del periodo experimental. Como se muestra en la Figura 20, el análisis indicó que no existe ninguna correlación entre el comportamiento de estos compuestos presentes en el agua del sistema de recirculación con el tiempo. Cabe destacar que de manera general todos los indicadores adquirieron una tendencia a la baja a través del tiempo, con excepción de los sólidos disueltos totales que tuvieron un comportamiento inverso.

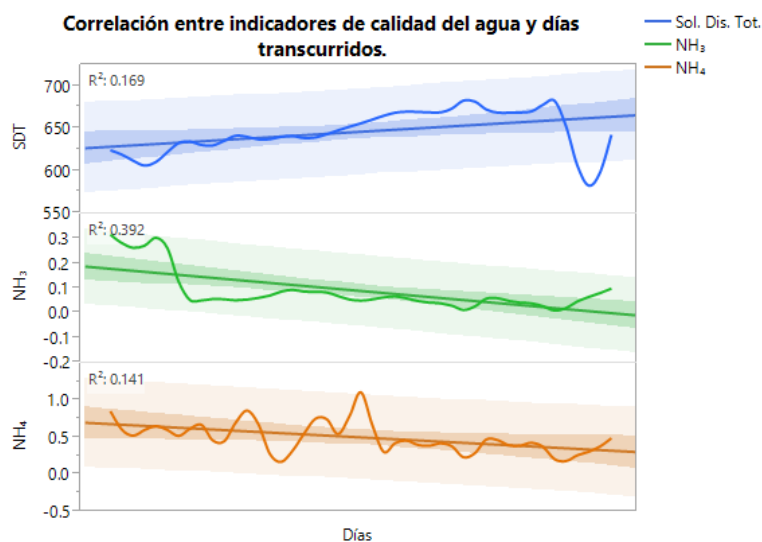


Figura 20. Coeficiente de correlación de indicadores de la calidad del agua por el tiempo.

El comportamiento registrado por los indicadores de los compuestos nitrogenados en el agua fue considerado anormal durante el desarrollo del ensayo experimental, por lo que se sometieron los valores obtenidos a diversos análisis de correlación entre los mismos indicadores de calidad del agua en busca de alguna relación funcional que determine la inusual tendencia a la baja de un sistema acuícola cerrado. En la Figura 21 se plasmaron los análisis de correlación realizados entre los indicadores del amonio y amoniaco primeramente uno frente al otro y posteriormente frente a los indicadores de SDT y pH. Como resultado obtenido se detectó la ausencia de cualquier correlación directa entre estos indicadores ($R^2 < 0.5$).

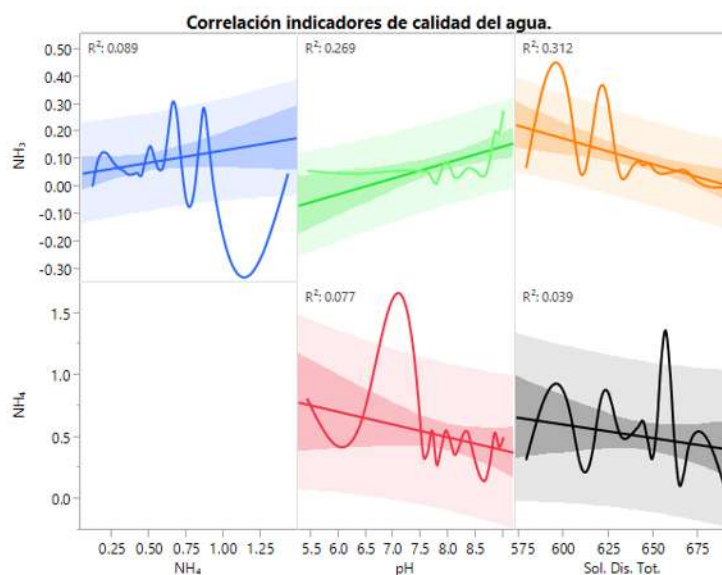


Figura 21. Coeficiente de correlación del amonio y amoniaco por los sólidos disueltos totales y pH.

X. Discusión.

Ictalurus punctatus tiene una gran capacidad de adaptación, resiliencia y expansión acelerada en los diferentes entornos, lo cual incluso clasifica a este miembro de la familia *Ictaluridae* como una especie invasora de alto riesgo (Haubrock *et al.*, 2021). Por otro lado, está ampliamente posicionada en el mercado de consumo global gracias a que su carne se caracteriza por presentar altos niveles de proteína, significativamente mayores a otras especies de importancia comercial en la acuicultura, como el salmón, la trucha y la tilapia. No solo esto, si no que además de presentar un contenido de ácidos grasos muy similar al de la tilapia, el contenido de grasa total del bagre de canal es significativamente menor que el del resto de especies anteriormente enunciadas (Perea *et al.*, 2008).

Sin embargo, México no sigue este patrón de aprovechamiento del bagre de canal debido a las problemáticas relacionadas con el cultivo en el territorio nacional, dentro de las que destacan la carencia de registros necesarios para regularizar y atender las prácticas productivas, que está relacionada a la vez con la falta de planeaciones y procedimientos optimizados a las necesidades de esta especie y los productores que la cultivan. Aunado a estas problemáticas, el principal obstáculo a decir de los productores mexicanos es el costo de los alimentos que afecta el precio final del producto, lo que reduce la competitividad del mismo en el mercado (Lara-Rivera *et al.*, 2015). Por tal motivo este estudio se encaminó en la búsqueda de procesos alimenticios con mayor eficiencia con el fin de promover la oferta de esta especie cultivada en México con dificultad desde la década de 1970.

Bajo la determinación de promover mayor crecimiento con menor demanda de alimento se eligió la concentración de aditivo con mayor probabilidad de eficacia en el bagre de acuerdo con la literatura y ensayos anteriormente realizados en el Laboratorio de Biología Acuática. El aditivo elaborado a base de una mezcla de ácido fumárico, ácido propiónico y ácido fórmico consistió en una proporción de un gramo por cada kilogramo de alimento suministrado, debido a que en dosificaciones mayores de este tipo de ácidos se registraron alteraciones histológicas y microbióticas, al tiempo que en dosificaciones menores no tenían efecto significativo (Lückstädt, 2008; Koh *et al.*, 2016.; Ebrahimi *et al.*, 2017; Huan *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2019). Los resultados mostraron que con esta concentración hubo un incremento positivo en el crecimiento de los organismos, pero hubo incremento alguno en la eficiencia alimenticia.

Datos recabados muestran que los AO aumentaron el consumo del alimento por un aumento en la palatabilidad del mismo tal como se ha visto en otras especies (Xie *et al.*,

2003), pero no redujeron el FCA lo cual representa la misma proporción de peso ganado por alimento administrado en dietas sin aditivo. Por otro lado, este aprovechamiento alimenticio permitió un crecimiento de mayor aceleración gracias a las propiedades acidificantes de este aditivo como se vio en otras especies lo que está evidenciado en este estudio con los índices de proporción intestinal que muestran que con intestinos proporcionalmente menores a la biomasa corporal se obtuvo el mismo aprovechamiento alimenticio de manera más rápida. Aunque, la concentración aplicada en esta especie no fue suficiente para cumplir con las condiciones descritas en otras especies para lograr incrementar la supervivencia si logró restaurar las alteraciones causadas por estrés con mayor rapidez debido a factores observados anteriormente relacionados con la regulación del pH, la acidez y la ausencia de alteraciones en las poblaciones de bacterias que habitan el tejido intestinal del mismo (Hernández, 2012; Koh *et al.*, 2016; Villaranda *et al.*, 2022). Este tratamiento registró tanto mayor FCA comparativamente con los demás aditivos implementados, como también valores significativamente menores que el tratamiento PB en la supervivencia, el crecimiento diario y la condición de los organismos.

La adición de una mezcla de β -glucanos y oligomananos en la dieta del bagre de canal se realizó a una concentración de seis gramos por cada kilogramo de alimento debido a la efectividad mejorable observada en concentraciones menores administradas en diversas especies y a la necesidad de estas mismas concentraciones de aplicarse de manera conjunto con probióticos (simbióticos) (Kühlwein *et al.*, 2013; Boonanuntanasarn *et al.*, 2018; Cavalcante *et al.*, 2020). Una mayor concentración de este aditivo fue considerada inviable debido a los ensayos previos llevados a cabo en *O. niloticus* dentro del Laboratorio de Biología Acuática. Al administrar esta concentración en la dieta del bagre se obtuvo esencialmente el mayor caso de supervivencia y crecimiento con el mejor aprovechamiento alimenticio y el menor tiempo de recuperación al estrés, mientras que los intestinos de los organismos guardaban la misma proporción de la masa corporal que todos los organismos alimentados con el resto de las dietas, posicionándose de esta manera como una alternativa viable y sustentable al uso de antibióticos en el sector acuícola (Bondad-Reantaso *et al.*, 2022).

Los prebióticos son grupos de carbohidratos no digeribles por el animal que están destinados a alimentar y promover por fermentación el crecimiento de la microbiota, estos compuestos se identifican como inmunoestimulantes (Dawood *et al.*, 2020b) ya que promueven la respuesta inmune del organismo favoreciendo la fagocitosis, la actividad de

la lisozima (López y Torres, 2022) y aumenta la resistencia a bacterias patógenas al inhibir su adhesión gracias a la competencia por los glicoconjugados de la superficie epitelial (Bondad-Reantaso *et al.*, 2022). Esto se relaciona con la supervivencia mejorada que no registro mortalidad alguna en el tratamiento, así como también está relacionado con el aumento de la producción del moco, de cadenas cortas de ácidos grasos, de citocina, de actividad fagocítica y la alteración del pH en el intestino que favorece al proceso de fosfatasa ácida y la activación de los macrófagos como se identificó en otros estudios (Akhter *et al.*, 2015). El crecimiento acelerado y el aumento del rendimiento alimenticio utilizando este aditivo mostró que el intestino mejoró significativamente el proceso digestivo al ser auxiliado por las colonias bacterianas al tiempo que como en otros estudios fue indicativo de alteraciones histológicas benéficas que permitieron a la vez reducir el impacto que tienen sobre los organismos las condiciones de estrés (Cavalcante *et al.*, 2020; Lu *et al.*, 2020).

De acuerdo a los registros, la microbiota intestinal de los organismos interviene en una gran cantidad de aspectos del huésped incluyendo la alimentación, el comportamiento social, las funciones cerebrales (Gao *et al.*, 2023), pero juega un papel crucial en la respuesta ante factores de estrés (Butt y Volkoff, 2019), tal como se observó en otros estudios, el aditivo formulado a base de los prebióticos demostró promover en el bagre una respuesta efectiva y rápida frente a factores estresores gracias a la estimulación de la microbiota (Hoseinifar *et al.*, 2013). De acuerdo a la literatura esto se debe a la disminución del cortisol, de la expresión de la hormona liberadora de corticotropina (Forsatkar *et al.*, 2017) y a la alineación perfeccionada de las microvellosidades intestinales (Dimitroglou *et al.*, 2010).

Para el caso del aditivo elaborado a base una mezcla de saponinas extraídas de *Quillaja saponaria* y *Yucca schidigera* se dispuso de la concentración de un gramo y medio por cada kilogramo de alimento aplicado, debido a resultados previos favorables con tal o mayor concentración en diversas especies (El-Saidy y Gaber, 2004; Güroy *et al.*, 2014b) y a que concentraciones menores presentaban tanto la ausencia de riesgos en estudios anteriores (Gaber, 2006; Güroy *et al.*, 2014a; Wang *et al.*, 2020; Abozeid *et al.*, 2021. Elkaradawy *et al.*, 2021) como la ineffectividad en ensayos realizados con *O. niloticus* dentro del Laboratorio de Biología Acuática.

El registro mostró que la adición de estos extractos vegetales en la dieta del bagre de canal promovió el crecimiento y el aprovechamiento alimenticio de manera muy similar

a como lo hizo el tratamiento a base de prebióticos, con diferencias en el factor de condición de los organismos, como también de una manera muy evidente en la supervivencia y el tiempo de recuperación a condiciones de estrés de los mismos. Este aditivo empleado, se posicionó como el segundo aditivo con mejores resultados, gracias a que presentó las menores proporciones intestinales indicando mayor efectividad en la capacidad digestiva, superando significativamente al aditivo AO, pero con resultados estadísticamente iguales que PB. Los resultados de crecimiento y aprovechamiento alimenticio concuerdan con estudios previos que utilizaron extractos de *Y. schidigera* o una mezcla en donde se incluía (Kelly y Kohler, 2003; Peterman *et al.*, 2020; Parai *et al.*, 2021).

Los resultados de supervivencia y resistencia al estrés demostraron que los organismos de este tratamiento y específicamente del estanque 1, contaban con un sistema inmunológico deprimido debido que el mayor efecto del estrés es la disminución a la resistencia a enfermedades la respuesta del cortisol (Hargreaves y Tomasso, 2004). Lo que concuerda con la baja respuesta de recuperación al estrés y la observación de los cadáveres que en su mayoría registraron muerte por infección bacteriana en órganos vitales. Estudios llevados a cabo en bagre solo con la adición de *Y. schidigera* (Tidwell *et al.*, 1992) indican que el contenido esteroide triple de las saponinas representa un probable riesgo de hemólisis celular para los organismos (Kaneda *et al.*, 1987), debido al peligro de adoptar una tendencia de alteración en la permeabilidad de las paredes celulares de los organismos, es causa de pérdida de la capacidad osmorreguladora (Basu y Rastogi, 1967). Por otro lado, Li *et al.*, 2021 demuestran también una respuesta efectiva al estrés con la aplicación de *Y. schidigera* en concentraciones efectivas de 1g/Kg, lo que sugiere reducir la concentración aplicada en el presente estudio.

La proporción que guardaron los órganos medidos en los tratamientos indican que las dimensiones del hígado y del intestino en los organismos son idénticas independientemente de la dieta consumida. Lo que sugiere que no se presentó una acumulación de grasas en el hígado de los organismos (Yu *et al.*, 2023; Moteiro *et al.*, 2024), ni efecto sobre la actividad hepática (Mota *et al.*, 2024). Tampoco se registró un aumento de la masa intestinal relacionada con el aumento del consumo diario de alimento, sino que estaría relacionado con una modificación citológica del mismo como se estudió en ensayos anteriores (Huan *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2019; Cavalcante *et al.*, 2020; Dawood *et al.*, 2020a; Abozeid *et al.*, 2021; Elkaradawy *et al.*, 2021). Más, no es el mismo caso para el peso registrado de las vísceras, que se comportó de igual forma que el peso ganado, ya

que aumentó en los organismos alimentados con aditivos. El IVS determinó que la masa visceral de los organismos alimentados con aditivos representaba mayor proporción de la biomasa. Sin embargo, una vez obtenido el peso eviscerado hipotético de los organismos al restar la proporción de este mismo índice por tratamiento, se pudo evidenciar así que, sin importar esta diferencia en la proporción visceral, los organismos presentaron pesos significativamente mayores que los organismos que no consumieron aditivos de ninguna clase.

En el transcurso del ensayo experimental destacó la constancia en la paulatina reducción de las concentraciones de amonio en el sistema de recirculación de agua, que contrario a lo que indica la literatura estas no tuvieron un comportamiento dependiente del pH ni con un incremento relacionado con las concentraciones de amoniaco (Hargreaves y Tomasso, 2004), las cuales también se mantuvieron en una tendencia a la baja. Esto concuerda con estudios previos (El-Saidy y Gaber, 2004; Güroy *et al.*, 2014a y b) en que los compuestos tóxicos sufrieron un proceso de neutralización y descomposición por parte de estos compuestos esteroideos, que terminaron por promover las condiciones óptimas para el crecimiento del bagre (Abozeid *et al.*, 2021).

Además, con los aditivos aplicados se logró estimular el crecimiento, prevenir la mortalidad y mejorar el aprovechamiento alimenticio, mientras se estabilizaron los compuestos nocivos del sistema. Esto colabora por una parte en la contención del uso indiscriminado de antibióticos y por otra, en la reducción del impacto de las aguas de descarga. Con todo esto se hace posible una reducción de los costos ambientales y el impacto ambiental de los sistemas de cultivo acuícola (Kumar y Kumar, 2023).

Los parámetros ambientales guardan una relación estrecha con el hábito alimenticio del bagre de canal que tiene una tendencia carnívora, dado que las estaciones de primavera verano y otoño se registra un mayor consumo de peces en la dieta, mientras que en invierno la preferencia por las algas aumenta en sistemas abiertos (Cardoza *et al.*, 2011). De cualquier modo, en los cultivos es esencial el aporte de una gran cantidad de nutrientes debido a que la contribución de nutrientes sintetizados por la microbiota llega a niveles muy reducidos (Menghe *et al.*, 2004). Es gracias a estas condiciones que en el presente ensayo el tratamiento con mayor índice de efectividad fue el elaborado a base de una mezcla de β -glucanos y oligomananos, el cual promueve un mayor rendimiento productivo traducido en tiempo y costo.

Basado en el hecho de alcanzar la talla comercial en menor tiempo e incrementar el número de cosechas anuales por metro cubico cultivado, con tasas de conversión alimenticia reducidas y mayor aprovechamiento alimenticio, la ganancia por producción aumenta de manera significativa. Al realizar un estimado se puede determinar un incremento anual en las ganancias de producción del bagre de canal del 29.35 %, esto fue calculado con los costos actualizados de los insumos a la fecha de elaboración de este documento y tomando como referencia un sistema capaz de producir una tonelada por cosecha, con una densidad de cultivo de 300 organismos por metro cúbico en un volumen de 12 m³. Dicho sistema sería capaz de producir 4 cosechas integrales anuales al administrar el aditivo con prebióticos en la dieta, mientras que sin ser administrado se obtendría un total de 3 cosechas por año con pérdidas de biomasa de 103 Kg/ton por mortalidad.

Sin embargo, dado que el ensayo experimental continuó para obtener datos en otros proyectos de investigación, se pudo determinar que, si la talla comercial meta se define en 400 gr, bajo las mismas condiciones y costos, el incremento en las ganancias de producción por año asciende a 51.58 %, ya que se podrían realizar 2.5 cosechas anuales al adicionar el tratamiento y 1.6 cosechas sin este aditivo.

XI. Conclusiones.

Los aditivos alimenticios AO, PB y SN administrados a saciedad en la dieta de *I. punctatus* promovieron un aceleramiento en el incremento de la biomasa y la talla de estos organismos al mismo tiempo que incrementaron la condición de los mismos, promovieron una tasa de crecimiento diaria superior y aumentaron el consumo de alimento por día en comparación a los organismos que no consumieron aditivo alguno.

Entre los aditivos alimenticios, los elaborados a base de PB y de SN promovieron un aprovechamiento alimenticio mejorado ya que redujeron la proporción de alimento requerido para ser transformado en biomasa por los organismos al tiempo que elevaron el porcentaje de alimento requerido por biomasa al día.

El bienestar animal del bagre de canal incrementó de manera significativa con las dietas adicionadas con AO y especialmente con PB ya que estas aminoraron el comportamiento irregular en la alimentación causado por factores de estrés, lo que promovió una aceleración en el tiempo de recuperación. El aditivo PB fue el único que no solo logró aumentar la supervivencia, sino también eliminar la incidencia de mortalidades de los organismos.

Las dietas adicionadas con los tres aditivos promovieron mayor crecimiento en los organismos con intestinos e hígados que por un lado representaban el mismo porcentaje de la biomasa que el grupo Control y por el otro lado representaban menor porcentaje en la masa visceral.

Por lo anterior, el aditivo alimenticio adicionado en una dieta aplicada a saciedad que generó mayor impacto positivo sobre el cultivo del bagre de canal *I. punctatus* es el tratamiento de prebióticos (PB), elaborado a base de β -glucanos y oligomananos a una dosificación de 6 g/Kg, gracias a sus resultados registrados de desempeño en el crecimiento, en la supervivencia y en la conversión alimenticia.

XII. Literatura consultada.

- Abd El-latif, A. M., E. A. Abd El-Gawad, E. I. Soror, R. M. Shourbela y E. Zahran. 2021. **Dietary supplementation with miswak (*Salvadora persica*) improves the health status of Nile tilapia and protects against *Aeromonas hydrophila* infection.** Aquaculture Reports 19: 1 - 9.
- Abdalqadir, A. M. 2014. **Nutritional and physiological studies of probiotic on freshwater fish.** Master's Thesis. Mansoura University. Al-Mansoura. Egipto.
- Abdel-Tawwab, M., H. A. M. Mounes, S. H. H. Shady y K. M. Ahmed. 2020. **Effects of yucca, *Yucca schidigera*, extract and/or yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, as water additives on growth, biochemical, and antioxidants/oxidant biomarkers of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*.** Aquaculture 533: 1 - 33.
- Abozeid, A. M., M. M. Abdel-Rahim, F. Abouelenien, A. Elkaradawy y R. A. Mohamed. 2021. ***Quillaja saponaria* and/or *Yucca schidigera* ameliorate water quality performance, blood health, intestine and gills histomorphology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*.** Aquaculture Research 52: 1 - 15.
- Abu E., N. M., y N. M. Ragaa. 2014. **Eubiotic effect of a dietary acidifier (potassium diformate) on the health status of cultured *Oreochromis niloticus*.** Journal of Advanced Research 6 (4): 621 - 629.
- Acosta R., Y. Rosen, R. Ariav. 2018. **El uso de saponinas en la acuicultura.** Cámara Nacional de Acuicultura. Edición 125: 40 - 45.
- Ahumada, A., A. Ortega, D. Chito y R. Benítez. 2016. **Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico.** Revisa Colomb. Cienc. Quím. Farm. Vol. 45(3): 438 - 469. Colombia.
- Akhter, N., B. Wu, A. M. Memon y M. Moshin. 2015. **Probiotics and prebiotics associated with aquaculture: A review.** Fish & Shellfish Immunology 45(2): 733 - 741.
- Albers K., J. F., C. A. Ferreria de O. y F. S. Zanuzzo. 2021. **Dietary β -glucan (MacroGard®) improves innate immune responses and disease resistance in Nile tilapia regardless of the administration period.** Immunology 112: 56 - 63.
- Alday-Sanz V., F. Corsin, E. Irde y M. G. Bondad-Renantaso. 2012. **Survey of the use of veterinary medicines in aquaculture.** In: Improving Biosecurity Through Prudent and Responsible Use of Veterinary Medicine in Aquatic Food Production (ed. by M.G. Bondad-Renantaso, J.R. Arthurs & R.P. Subasinghe). FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 547, FAO, Rome, Italy. Pp 29 - 45.
- Basu, N. y R. P. Rastogi. 1967. **Triterpenoid saponins and sapogenins.** Phytochemistry (Oxford) 6: 1249 - 1270.
- Bondad-Reantaso, M. G., B. MacKinnon, I. Karunasagar, S. Fridman, V. Alday-Sanz, E. Brun, M. L. Groumellec, A. Li, W. Surachetpong, I. Karunasagar, B. Hao, A. Dall'Occo, R. Urbani y A. Caputo. 2022. **Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture.** Reviews in Aquaculture 15: 1421 - 1451.
- Bonilla-Flores, J. A., P. Mayer, V. D. Estruch-Fuster y M. Jover-Cerdá. 2017. **Cambios en el índice de condición y relación longitud-peso durante el ciclo de crecimiento de la dorada (*Spaurus aurata* L.) en jaulas marinas.** AquaTic 47: 20 - 31.

- Boonanuntanasarn, S., A. Jangprai, S. Kumkhong, E. Plagnes-Juan, V. Veron, C. Burel, L. Marandel y S. Panserat. 2018. **Adaptation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates: new insights from a long term nutritional study.** Aquaculture 496: 58 - 65.
- Bureau, D. P., A. M. Harris y C. Y. Cho. 1998. **The effects of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of Chinook salmon (*Onchorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).** Aquaculture 161: 27 - 43.
- Butt, R. L. y H. Volkoff. 2019. **Gut microbiota and energy homeostasis in fish.** Frontiers in Endocrinology 10 (9).
- Cardoza M., G. F., J. L. Estrada R., F. Alonzo R., C. L. Mar T. y F. Gelwick. 2011. **Espectro trófico del bagre *Ictalurus punctatus* (Siluriformes: Ictaluridae), en la presa Lázaro Cárdenas, Indé, Durango, México.** Hidrobiológica 21(2): 210 - 216.
- Casillas-Hernández R., F. Lares-Villa, J.C. Ibarra-Gámez y R. Nogales-Acuña. 2009. **Evaluación de NUTRIFITO® como promotor natural en el alimento, para la producción comercial del camarón blanco del pacífico *Litopenaeus vannamei*.** Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 5(2): 174 - 179. México.
- Cavalcante, R. B., G. Silveria T., L. Tachibana, D. de C. Dias, E. Oshiro, M. Miyoko N., W. Ferreira da S. y M. J. Ranzani-Paiva. 2020. **Probiotics, Prebiotics and Synbiotics for Nile tilapia: Growth performance and protection against *Aeromonas hydrophila* infection.** Aquaculture Reports 17.
- COLPOS (Colegio de Postgraduados). 2019. **Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación.** Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. México.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2017. **México entre los diez primeros lugares a nivel mundial en producción de tilapia: SAGARPA.** Comunicado. Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/mexico-entre-los-diez-primeros-lugares-a-nivel-mundial-en-produccion-de-tilapia-sagarpa-103606?idiom=es#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20se%20cultivan%20ocho,la%20tilapia%20roja%20de%20Florida>.
- Dawood, M. A. O., A. El-Salam M., M. E. El-Sharawy, A. M. Atta, Z. I. Elbialy, H. M. R. Abdel-Latif y B. A. Paray. 2020a. **The role of β -glucan in the growth, intestinal morphometry, and immune-related gene and heat shock protein expressions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under different stocking densities.** Aquaculture 523.
- Dawood, M. A. O., H. G. Abo-Al-Ela y M. T. Hasan. 2020b. **Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: Probiotics, prebiotics and synbiotics scenarios.** Fish and Shellfish Immunology 97: 268 - 282.
- Desbois, A. P., M. Garza, M. Eltholth, Y. M. Hegazy, A. Mateus, A. Adams, D. C. Little, E. Høg, C. V. Mohan, S. E. Ali y L. A. Brunton. 2021. **Systems-thinking approach to identify and assess feasibility of potential interventions to reduce antibiotic use in tilapia farming in Egypt.** Aquaculture 540: 1 - 10.
- Desbois, A. P., M. Garza, M. Eltholth, Y. M. Hegazy, A. Mateus, A. Adams, D. C. Little, E. Høg, C. V. Mohan, S. E. Ali y L. A. Brunton. 2021. **Systems-thinking approach to**

identify and assess feasibility of potential interventions to reduce antibiotic use in tilapia farming in Egypt. *Aquaculture* 540: 1 - 10.

- Dimitroglou, A., D. L. Merrifield, P. Spring, J. Sweetman, R. Moate y S. J. Davies. 2010. **Effects of mannan oligosaccharide (MOS) supplementation on growth performance, feed utilisation, intestinal histology and gut microbiota of gilthead sea bream (*Sparus aurata*).** *Aquaculture* 300 (1 - 4): 182 - 188.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2021. **ACUERDO mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola.** Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 15 de mayo, 2021. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5615929&fecha=15/04/2021&print=true.
- Ebrahimi, G., H. Ouraji, M. K. Khalesi, M. Sudagar, A. Barari, M. Zarei D. y K. H. Jani K. 2011. **Effects of a prebiotic, Immunogen®, on feed utilization, body composition, immunity and resistance to *Aeromonas hydrophila* infection in the common carp *Cyprinus carpio* (Linnaeus) fingerlings.** *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 96 (4): 591 - 599.
- Eissa, F., K. Ghanem y M. Al-Sisi. 2020. **Occurrence and human health risks of pesticides and antibiotics in Nile tilapia along the Rosetta Nile branch, Egypt.** *Toxicology Reports* 7: 1640 - 1646.
- El-Kassas, S., S. E. Abdo, W. Abosheashaa, R. Mohamed, E. M. Moustafa, M. A. Helal y K. El-Naggar. 2020. **Growth performance, serum lipid profile, intestinal morphometry, and growth and lipid indicator gene expression analysis of mono-sex Nile tilapia fed *Moringa oleifera* leaf powder.** *Aquaculture Reports* 18: 1 - 9.
- El-Saidy, D. M. S. D. y Gaber M. M. A. **Effect of *Yucca* (*Yucca Shidigera*) On Water Quality and Growth Performances of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Fingerlings.** *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 8 (1): 33 - 50.
- El-Sayed, A.-F. M. 2006. **Tilapia Culture.** CABI Publishing. Egipto. Pp 139 - 159.
- Elkaradawy, A., M. M. Abdel-Rahim, A. E. Albalawi, N. A. Althobaiti, A. M. Abozeid y R. A. Mohamed. 2021. **Synergistic effects of the soapbark tree, *Quillaja saponaria* and Vitamin E on water quality, growth performance, blood health, gills and intestine histomorphology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fingerlings.** *Aquaculture Reports* 20.
- Evans, J. J., D. J. Pasnik, M. Yildirim-aksoy, C. Lim y P.H. Klesius. 2010. **Histological changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* Rafinesque, fed diets containing graded levels of gossypol-acetic acid.** *Aquaculture Nutrition* 16 (4): 385 - 391.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. **Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development.** FAO Fisheries and Technical Paper 497. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2022a. ***Ictalurus punctatus*. Cultured Aquatic Species Information Programme.** Texto de Stickney, R.R. División de Pesca y Acuicultura [en línea]. Roma. [Citado Sunday, July 17th 2022]. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/es/culturedspecies/ictalurus_punctatus?lang=en

- FAO (Food and Agriculture Organization). 2022b. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul**. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.
- Fayed, W. M. A., R. H. Khalil, G. R. Sallam, A. T. Mansour, B. K. Elkhayat y E. A. Omar. 2019. **Estimating the effective level of *Yucca schidigera* extract for improvement of the survival, haematological parameters, immunological responses and Water quality of European seabass juveniles (*Dicentrarchus labrax*)**. Aquaculture Reports 15.
- Forsatkar, M. N., M. A. Nematollahi, G. Rafiee, H. Farahmand y C. Lawrence. 2017. **Effects of the prebiotic mannan-oligosaccharide on the stress response of feed deprived sebrafish (*Danio rerio*)**. Physiology & Behavior 180: 70 - 77.
- Gaber, M. M. 2006. **The Effects of Plant-protein-based Diets Supplemented with *Yucca* on Growth, Digestibility, and Chemical Composition of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, L) Fingerlings**. Journal Of The World Aquaculture Society 37 (1): 74 - 81.
- Gallego-Alarcón, I. y D. García-Pulido. 2017. **Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena**. Tecnología y Ciencias del Agua VIII (1): 81 - 93.
- Gammon, R.L. 1970. **The Gross and Microanatomy of the Digestive Tract and the Pancreas of the Channel Catfish, *Ictalurus punctatus***. Master's Thesis. Kansas State University. Manhattan, Kansas.
- Gao, Q., P. Liu, D. Song, W. Long, Z. Wang y S. Yi. 2023. **Gut microbiota, host genetics and phenotypes in aquatic animals: a review**. Aquaculture Reports 31.
- Gómez R., E., M. O. Tovar B., M. J. Obando B. y H. Hurtado G. 2010. **Estudio histológico del tracto digestivo del pez *Ariopsis seemanni* (Ariidae)**. Revista Facultad de Ciencias Básicas 6 (2): 216 - 225. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.
- Grizzle, J. M. y W. A. Rogers. 1985. **Anatomy & Histology of the Channel Catfish**. Department of Fisheries and Allied Aquacultures. Agricultural Experiment Station. Auburn University. Alabama.
- Gu, M., J. N. Gu, M. Penn, A. M. Bakke, I. Lein y A. Krogh. 2014. **Effects of diet supplementation of soya-saponins, isoflavones and phytosterols on Atlantic salmon (*Salmo salar* L) fry fed from start-feeding**. Aquaculture Nutrition 21 (5): 604 - 613.
- Güroy, B., S. Mantoglu, D. L. Merrifield y D. Güroy. 2014a. **Effects of dietary Nutrafito Plus® on growth, haematological parameters and total ammonia-nitrogen excretion of juvenile striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus***. Aquaculture Research 47(6): 1 - 8.
- Güroy, B., S. Mantoglu, S. Kayah y I. Sahin. 2014b. **Effect of dietary *Yucca schidigera* extract on growth, total ammonia-nitrogen excretion and haematological parameters of juvenile striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus***. Aquaculture Research 45 (4): 647 - 654.
- Hargreaves, J. A. y J. R. Tomasso. 2004. **Environmental Biology. Biology and culture of channel catfish**. Developments in aquaculture and fisheries science 34: 36 - 68.

- Hasan, N. A., M. M. Haque, A. Bashar, Md. T. Hasan, Md. A. R. Faruk y G. U. Ahmed. 2021. **Effects of dietary Papaveraceae extract on growth, feeding response, nutritional quality and serum biochemical indices of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*)**. Aquaculture Reports 21.
- Haubrock, P. J., G. H. Copp, I. Johovié, P. Balzani, A. F. Inghilesi, A. Nocita y E. Tricarico. 2021. **North American channel catfish, *Ictalurus punctatus*: a neglected but potentially invasive freshwater fish species?** Biological Invasions 23: 1563 - 1576.
- He, W., S. Rahimnejad, L. Wang, K. Song, K. Lu y C. Zhang. 2017. **Effects of organic acids and essential oils blend on growth, gut microbiota, immune response and disease resistance of Pacific White shrimp (*Litopenaeus vannamei*) against *Vibrio parahaemolyticus***. Fish & Shelfish Immunology 70: 164 - 173.
- Hernández S., M. A. 2012. **Comportamiento productivo en tilapia *Oreochromis niloticus* suplementada con ácidos orgánicos**. Trabajo de graduación para otorgar título de Licenciatura. Universidad de San Carlos. Guatemala.
- Hoseinifar, S. H., S. Yousefi, H. V. Doan, G. Ashouri, G. Gioacchini, F. Maradonna y O. Carnevali. 2020. **Oxidative stress and antioxidant defense in fish: the implications of probiotic, prebiotic and symbiotic**. Reviews in Fisheries & Aquaculture.
- Hossain, A., Md. Habibullah-Al-Mamun, I. Nagano, S. Masunaga, D. Kitazawa y H. Matsuda. 2022. **Antibiotics, antibiotic-resistant bacteria, and resistance genes in aquaculture: risks, current concern, and future thinking**. Environmental Science and Pollution Research 29: 11054 - 11075.
- Huan, D., X. Li, M. A. Kabir C., H. Yang, G. Liang y X. Leng. 2018. **Organic acid salts, protease and their combination in fish meal-free diets improved growth, nutrient retention and digestibility of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)**. Aquaculture Nutrition 24 (6): 1813 - 1821.
- Kaneda, N., H. Nakanishi y E. J. Staba. 1987. **Steroidal constituents of *Yucca schidigera* plants and tissue cultures**. Phytochemistry (Oxford) 26: 1425 - 1429.
- Kanta, M., C., B. Kumar D., S. Chandra M. y P. Pattnaik. 2006. **Effect of long-term administration of dietary β -glucan on immunity, growth and survival of *Labeo rohita* fingerlings**. Aquaculture 255 (1 - 4): 82 - 94.
- Kelly, A. M. y C. C. Kohler. 2003. **Effects of *Yucca schidigera* extract on growth, nitrogen retention, ammonia excretion, and toxicity in channel catfish *Ictalurus punctatus* and hybrid tilapia *O. mossambicus* X *O. niloticus***. Journal of the World Aquaculture Society Vol. 34: 156 - 161.
- Khangwal, I. y P. Shukla. 2019. **Potential prebiotics and their transmission mechanisms: Recent approaches**. Journal of Food and Drug Analysis 27: 649 - 656.
- Khorshidi, Z., H. Paknejad, M. Sodagar, A. Hajimoradloo y S. P. Hosseini S. 2022. **Effect of a commercial multi-effect additive (Biotronic® Top3) on growth performance, digestive enzymes, and intestinal barrier gene expression in common carp (*Cyprinus carpio*)**. Aquaculture 560 (15).
- Kim, K. T., G. H. Jeon, S. H. Cho, S. G. Lim, M.-G. Kwon y J.-H. Yoo. 2012. **Effects of dietary inclusion of various concentrations of *Scutellaria baicalensis* Georgi**

- extract on growth, body composition, serum chemistry and challenge test of far eastern catfish (*Silurus asotus*). Aquaculture Research 44 (10): 1502 - 1510.
- Kobelkowsky D., A. 1998. **Sistema Digestivo y Vejiga Natatoria del Bagre del Balsas *Ictalurus balsanus* (Pisces: Ictaluridae)**. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 48: 87 - 93.
 - Koh, C.-B., N. Romano, A. S. Zahrah y W.-K. Ng. 2016. **Effects of a dietary organic acids blend and oxytetracycline on the growth, nutrient utilization and total cultivable gut microbiota of the red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., and resistance to *Streptococcus agalactiae***. Aquaculture Research 47: 357 - 369.
 - Konikoff, M. 1975. **Toxicity of Nitrite to Channel Catfish**. The Progressive Fish-Culturist 37 (2) 96 - 98.
 - Kremenz, A.B. y G. B. Chapman. 1975. **Ultrastructure of the Posterior Half of the Intestine of the Channel Catfish *Ictalurus punctatus***. Journal of Morphology 145: 441 - 481.
 - Kühlwein, H., D. L. Merrifield, M. D. Rawling, A. D. Foey y S. J. Davies. 2013. **Effects of dietary b-(1,3) (1,6)-D-glucan supplementation on growth performance, intestinal morphology and haemato-immunological profile of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.)**. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 98 (2): 279 - 289.
 - Kumar G., R., y S. Kumar C. 2023. **Chapter Four – Valorization of fish wastes for circular bioeconomy: A concern toward antibiotic resistance genes (ARGs) contaminants for environmental safety**. Fate of Biological Contaminants During Recycling of Organic Wastes.
 - Kumar, P., K. K. Jain, P. Sardar, M. Jayant y N. C. Tok. 2017. **Effect of dietary synbiotic on growth performance, body composition, digestive enzyme activity and gut microbiota in *Cirrhinus mrigala* (Ham.) fingerlings**. Aquaculture Nutrition 4 (3): 921 - 929.
 - Lane, W. L. 1973. **Investigations on the Proteolytic Digestive Enzymes of the Channel Catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) and White Amur *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes)**. Master's Thesis. Auburn University. Auburn, Alabama.
 - Lara F., M., L. Escobar B. y M. A. Olvera N. 2002. **Avances En La Utilización De Probióticos Como Promotores De Crecimiento En Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*)**. En: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuicola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 3 al 6 de septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.
 - Lara-Rivera, A. L., G. M. Parra-Bracamonte, A. M. Sifuentes-Rincón, H. H. Gojón-Báez, H. Rodríguez-González e I. O. Montelongo-Alfaro. 2015. **El bagre de canal (*Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818): estado actual y problemática en México**. Latin american journal of aquatic research 43 (3): 424 - 434.
 - Leyton F., S. A., E. Muñoz, M. Gordillo S., G. C. Sánchez G., L. A. Muñoz y A. Soto D. 205. **Estimación del factor de condición de Fulton (K) y la relación longitud-peso en tres especies icticas presentes en un sector sometido a factores de estrés**

- ambiental en la cuenca alta del río Cauca.** Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas 27: 24 - 31.
- Li, S., R. Wang, Z. Dai, C. Wang y Z. Wu. 2021. **Dietary supplementation with *Yucca schidigera* extract alleviated heat stress-induced unfolded protein response and oxidative stress in the intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).** Ecotoxicology and Environmental Safety 219.
 - Liebert, F., K. Mohamed y C. Lückstädt. 2010. **Effects of diformates on growth and feed utilization of all male Nile Tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus*) reared in tank culture.** Proceedings of the 14th International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, Qingdao, China.
 - Lim, C., P. H. Klesius y C. Lückstädt. 2010. **Effects of dietary levels of potassium diformate on growth, feed utilization and resistance to *Streptococcus iniae* of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*.**
 - López Z., Y. y A. Torres R. 2022. **Aditivos inmunoestimulantes en la dieta de especies de tilapias (*Oreochromis spp.*).** Revista de Producción y Salud Animal 34 (3).
 - Lu, Z.-Y., L. Feng, W.-D. Jiang, P. Wu, Y. Liu, S.-Y. Kuang, L. Tang y X.-Q. Zhou. 2020. **Mannan oligosaccharides improved growth performance and antioxidant capacity in the intestine of on-growing grass carp (*Ctenopharyngodon idella*).** Aquaculture Reports 17.
 - Lujan M., M. 2022. **Antibióticos, bacterias y genes resistentes en la acuicultura.** Aquahoy. Portal de Información en Acuicultura. Aqua Center SRL. Disponible en: <https://aquahoy.com/antibioticos-bacterias-genes-resistentes-acuicultura/>
 - Martínez M., M. M. 2015. **Perspectiva Histórica del Centro de Producción, Capacitación e investigación Pesquera “El Infiernillo”.** Memoria de Titulación para obtener título de Bióloga. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.
 - Martínez-Alcalá, I., J. Soto y A. Lahora. 2020. **Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas.** Ecosistemas 29 (3): 1 - 9.
 - Menghe H., L., E. H. Robinson y B. B. Manning. 2004. **Nutrition. Biology and culture of channel catfish.** Developments in aquaculture and fisheries science 34: 36 - 68.
 - Moteiro, M., A. Marques, R. S. Costa, M. A. Salgado, C. Castro, L. Conceição y L. M. P. Valente. 2024. **Beyond fish oil: Assessing the implications of alternative dietary lipid sources for turbot (*Scophthalmus maximus*) on growth, nutrient utilization and muscle quality.** Aquaculture 578.
 - Mora S., J. A., F. Moyetones y M. Jover C. 2010. **Crecimiento, aprovechamiento nutritivo y rendimiento de la canal del bagre yaque, *Leiarius marmoratus* (Gill 1870) en jaulas flotantes.** AquaTIC 33: 10 - 21.
 - Mota S., T., G. Castellani C., J. P. de Arruda A., J. F. Albers K., F. Sabbadin Z. y L. Susumu T. 2024. **Dietary β -glucan ameliorates metabolic stress caused by a high dietary carbohydrate level in Nile tilapia.** Aquaculture 57.
 - Nájera-Arzola, I. C., C. A. Álvarez-González, C. A. Frías-Quintana, E. Peña, R. Martínez-García, S. Camarillo-Coop, O. Méndez-Marín y E. Gisbert. 2018. **Evaluación de**

- oligosacáridos de manano (MOS) en dietas balanceadas para juveniles de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). *Hisrobiológica* 28 (3): 239 - 246.
- Naiel, M. A. E., M. K. Khames, N. Abdel-Razek, Am. A. Gharib y K. A. El-Tarabily. 2021. **The dietary administration of miswak leaf powder promotes performance, antioxidant, immune activity, and resistance against infectious diseases on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. *Aquaculture Reports* 20: 1 - 9.
 - Ngoc D., N., D. Van P., L. Anh Q., N. T. Kim L., P. Duy H., N. Van N. y N. Quoc H. 2016. **Effect of oligochitosan and oligo- β -glucan supplementation on growth, innate immunity and disease resistance of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*)**. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 64 (4): 564 - 571.
 - Ornelas-Luna, R., B. Aguilar-Palomino, A. Hernández-Díaz, J. A. Hinojosa-Larios y D. E. Godínez-Siordia. 2017. **Un Enfoque Sustentable al Cultivo de Tilapia**. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal* 27 (5): 19 - 25.
 - Olaya C. M., C. H. Ovalle, E. Gómez, D. Rodríguez, M. L. Caldas y H. Hurtado. 2007. **Histología y morfometría del sistema digestivo del silúrido bagre tigrado (*Pimelodus pictus*)**. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 54: 311 - 323. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.
 - Parai, B. A., M. F. El-Basuini, M. Alagawany, M. F. Albeshr, M. A. Farah y M. A. O. Dawood. 2021. ***Yucca schidigera* usage for healthy aquatic animals: potential roles for sustainability**. *Animals* 11 (93).
 - Perea, A., E. Gómez, Y. Mayorga y C. Y. Triana. 2008. **Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia**. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 58 (1).
 - Pereira, S. A., G. F. A. Jesus, L. Cardoso, B. C. Silva, J. V. S. Ferrarezi, T. H. Ferreira, F. C. Sterzelecki, J. K. Sugai, M. L. Martins y J. L. P. Mouriño. 2019. **The intestinal health of silver catfish *Rhamdia quelen* can be changed by organic acid salts, independent of the chelating minerals**. *Aquaculture* 505: 118 - 126.
 - Peterman, B., J. Koppien-Fox, L. Petrie-Hanson. 2020. **A commercial blend of prebiotic fiber, oregan, thyme, cinnamon, essential oils and *Yucca schidigera* (One Current) supplemented feed increased channel catfish fingerlings growth and enhanced disease resistance**. *Journal of Aquaculture, Marine Biology & Ecology* 2020 (01).
 - Pilarski, F., C. A. Ferreira de O., F. P. Brito D. de S. y F. S. Zanuzzo. 2017. **Different β -glucans improve the growth performance and bacterial resistance in Nile tilapia**. *Fish & Shellfish Immunology* 70: 25 - 29.
 - Pinheiro de S., F., E. C. Suzuki de L., V. C. Freitas P., N. Gonçalves L., P. J. Furlan-Murari, C. N. Seino L., R. Meneguetti M., S. Aparecida S., L. Mantovani F., J. F. Albers K., U. de Padúa P. y N. M. Lopera-Barrero. 2020. **Effect of β -glucan in water on growth performance, blood status and intestinal microbiota in tilapia under hypoxia**. *Aquaculture Reports* 17.
 - Platas-Rosado, D. E., J. C. Hernández-Arzaba y L. Gonzáles-Reynoso. 2017. **Importancia Económico y Social del Sector Acuícola en México**. *Agroproductividad* 10 (2): 19 - 24.

- Poolsawat, L., Y. Yu, X. Li, X. Zhen, W. Yao, P. Wang, C. Luo y X. Leng. 2022. **Efficacy of phytogenic extracts on growth performance and health of tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*)**. Aquaculture and Fisheries 7 (4): 411 - 419.
- Refaey, M. M., D. Li, X. Tian, Z. Zhang, X. Zhang, L. Li y R. Tang. 2018. **High stocking Density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish *Ictalurus punctatus***. Aquaculture 492: 73 - 81.
- Robinson, E. H., M. H. Li, B. B. Manning y C. C. Mischke. 2004. **Effects of Dietary Protein and Feeding Rate on Channel Catfish *Ictalurus punctatus* Production, Composition of Gain, Processing Yield, and Water Quality**. Journal of the World Aquaculture Society 35 (4): 468 - 477.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Delegación Yucatán]). 2021. **La CONAPESCA promueve la producción y cultivo de tilapia en el país**. Comunicado. Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/yucatan/articulos/la-conapesca-promueve-la-produccion-y-consumo-de-tilapia-en-el-pais?idiom=es>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Delegación Michoacán]). 2018. **Michoacán Principal Productor de Bagre en el País**. Comunicado. Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/michoacan/articulos/michoacan-principal-productor-de-bagre-en-el-pais?idiom=es>
- Santacruz-Reyes, R. A. 2013. **Aplicación de extracto de *Yucca schidigera* y su efecto en la concentración de amonio en agua**. Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola 7 (7): 1 - 11.
- Santoyo T., F., J. Mariscal R., C. Gómez G. y H. Gutiérrez P. 2019. **Relaciones talla-peso y factor de condición de la tilapia *Oreochromis niloticus* en cinco cuerpos de agua del estado de Jalisco, México**. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias 8 (16): 82 - 105.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. 2017. **Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, Ediciones 2003-2017**. CONAPESCA. México.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. 2018. **Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018**. CONAPESCA. México.
- Shi, Q., J. Wang, C. Qin, C. Yu, S. Wang y J. Jia. 2021. **Growth performance, serum biochemical parameters, immune parameters and hepatic antioxidant status of yellow catfish *Pelteobagrus fulvidrac* supplemented with *Sargassum horneri* hot-water extract**. Aquaculture Reports 21.
- Shiva R., C. M. 2007. **Estudio de la actividad antimicrobiana de extractos naturales y ácidos orgánicos. Posible alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento**. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. España.
- Silva A., K. G., S. Anelise P., G. F. Alves. J., L. Cardoso, N. Syracuse, G. Ruschel L., N. Breda L., B. Correa d. S., L. Souza d. S., F. C. Maia C., M. Laterça M. y J. L. Pedreira M. 2019. **Dietary organic acids blend alone or in combination with an essential oil on the survival, growth, gut/liver structure and de hemato-immunological in Nile tilapia *Oreochromis niloticus***. Aquaculture Research 50: 2960 - 2971.

- Solis, M. O. 2013. **La Acuicultura y sus Efectos en el Medio Ambiente**. Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo. 2: 61 - 80.
- Sotoudeh, E. y M. Esmaeili. 2022. **Effects of Biotronic® Top3, a feed additive containing organic acids, cinnamaldehyde and a permeabilizing complex on growth, digestive enzyme activities, immunity, antioxidant system and gene expression of barramundi (*Lates calcarifer*)**. Aquaculture Reports 24.
- Southworth, B. E., N. Stone y C. R. Engle. 2006. **Production Characteristics, Water Quality, and Costs of Producing Channel Catfish *Ictalurus punctatus* at Different Stocking Densities in Single-batch Production**. Journal of the World Aquaculture Society 37 (1): 21 - 31.
- Sutthi, N., A. Panase, C. Chitmanat, S. Sookying, K. Ratworawong y P. Panase. 2020. **Effects of dietary leaf ethanolic extract of *Apium graveolens* L. on growth performance, serum biochemical indices, bacterial resistance and lysozyme activity in *Labeo chrysophekadion* (Bleeker, 1849)**. Aquaculture Reports 18.
- Tidwell, J. H., C. D. Webster, J. A. Clark, D. H. Yancey. 1992. **Effects of *Yucca schidigera* extract on water quality and fish growth in recirculating-water aquaculture systems**. The Progressive Fish-Culturist. 54: 196 - 201.
- Triana-García, P. A., M. C. Gutiérrez-Espinosa y P. R. Eslava-Mocha. 2013. **Rendimiento productivo e hígado graso en tilapia híbrida (*Oreochromis spp*): Influencia de dos fuentes de lípidos**. Orinoquia 17 (2): 183 - 196.
- Uni, Z., Y. Noy y D. Sklan. 1995. **Post Hatch changes in morphology and function of the small intestines in heavy and light strain chicks**. Poultry Science 74 (10): 1622 - 1629.
- Villaranda F., R., A. Erum S. J., M. Subido. A. y J. Villaranda F. 2022. **Effects of dietary acidification and acid source on fish growth and feed efficiency (Review)**. World Academy of Sciences Journal 4 (3): 21.
- Wang, L., D. Wu, Z. Fan, H. Li, J. Li, Y. Zhang, Q. Xu, G. Wang y Z. Zhu. 2020. **Effect of *Yucca schidigera* extract on the growth performance, intestinal antioxidant status, immune response, and tight junctions of mirror carp (*Cyprinus carpio*)**. Fish and Shellfish Immunology 103: 211 - 219.
- Wing-Keong Ng. et K. Chik-Boon. 2017. **The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals**. Reviews in aquaculture 9: 342-368.
- Xie, B. S., L. Zhang y D. Wang. 2003. **Effects of several organic acids on the feeding behavior of *Tilapia nilotica***. Journal of Applied Ichthyology 19: 255 - 257.
- Xuan, C. L., S. Wannavijit, P. Outama, N. Montha, C. Lumsangkul, S. Tongsir, C. Chitmanat, S. H. Hoseinifar y H. V. Doan. 2022. **Effects of dietary rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel powder on growth performance, immune response and immune-related gene expressions of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) raised in biofloc system**. Fish & Shellfish Immunology 124: 134 - 141.
- Yao, W., X. Li, M. A. Kabir C., J. Wang y X. Leng. 2018. **Dietary protease, carbohydrase and micro-encapsulated organic acid salts individually or in combination improved growth, feed utilization and intestinal histology of Pacific White shrimp**. Aquaculture 503: 88 - 95.

- Yu, Z., Z. Sun, B. Ou, M. Zhou, Y. Huang y X. Tan. 2023 **Effects of partial replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, lipid metabolism and hepatointestinal health of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*)**. Aquaculture Reports 33.
- Yustiati, A., S. Aminah, W. Lili, Y. Andriani y I. B. Bioshina. 2019. **Effect of Using Potassium Diformate as A Feed Additive to Growth Rate and Feed Efficiency of Nirwana Tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. Global Scientific Journals 7 (8): 738 - 750.
- Zhu, Y., X. Qiu, Q. Ding, M. Duan y C. Wang. 2014. **Combined effects of dietary phytase and organic acid on growth and phosphorus utilization of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco***. Aquaculture 430: 1 - 8.