



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR



**SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES DE MANGO (*Mangifera indica* L.),
VAR. ATAULFO, EN DIETAS PARA JUVENILES DE TILAPIA DEL NILO
(*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) Y SU EFECTO SOBRE
PARÁMETROS DE CRECIMIENTO Y BIOQUÍMICA SANGUÍNEA.**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS**

PRESENTA:

IBQ. JOSÉ ÁNGEL GIBRIAN LÓPEZ CESEÑA

DIRECTORES DE TESIS:

DR. ASHEL BENITEZ HERNÁNDEZ

DRA. MARÍA ISaura BAÑUELOS VARGAS

MAZATLÁN, SINALOA, MÉXICO, SEPTIEMBRE 2024



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial
Compartir Igual, 4.0 Internacional



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar por darme la oportunidad de participar en su programa de posgrado y permitir el uso de sus instalaciones para el desarrollo de la investigación.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por su apoyo a lo largo de todo el proceso y la beca (1233531) otorgada.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Mazatlán, a la Coordinadora la Dra. Crisantema Hernández González por permitir el acceso a la Planta de Alimentos y facilitar el deshidratador industrial para el secado de la pulpa de mango. Así como a la M.C. Erika Yazmín Sánchez Gutiérrez por el apoyo en el proceso de deshidratación.

A los proyectos PRO_A7_050 “Utilización de subproductos de mango como fuentes de energía en alimentos para crías de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)” y PROFAPI 2022 A7/008 por su financiamiento.

Al Laboratorio de Reproducción de Organismos Acuáticos de la Facultad de Ciencias del Mar, por la donación de alevines para desarrollar la investigación, a cargo del Dr. Gustavo Alejandro Rodríguez Montes de Oca.

Al Laboratorio de Biotecnología y Sanidad Acuícola de la Facultad de Ciencias del Mar, a cargo de la Dra. María del Rosario Pacheco Marges, por permitir el uso de la infraestructura.

Al Dr. Asahel Benitez Hernández, por haberme aceptado como uno de sus estudiantes, por dirigir mi formación académica, por su constancia, paciencia y apoyo que fueron necesarias para concluirlo.

A la Dra. María Isaura Bañuelos Vargas, por la asesoría en la realización de los análisis de composición química proximal, así como su apoyo y asesoría en todo el proceso.

A todo mi comité tutorial integrado por el Dr. Asahel Benitez Hernández, Dra. María Isaura Bañuelos Vargas, Dra. Cynthia Esmeralda Lizárraga Velázquez, Dr. Gustavo Alejandro Rodriguez Montes de Oca y Dr. Emmanuel Martínez Montaña por su orientación y participación a lo largo de todo este proceso.

A la empresa deshidratadora “El Chalatal” por la donación de la materia prima.

Al Dr. José Cristóbal Román Reyes por el apoyo técnico en el sistema experimental.

A la Dra. Mayra I. Grano Maldonado por su colaboración durante el bioensayo contribuyendo al uso y manejo adecuado de los organismos y sanidad acuícola.

Finalmente, a mis compañeros Lic. Joana Jaqueline Santos Lizárraga, C. José Felipe Arellano Vázquez, C. Dylan Gerardo Brady Lamas, C. Yerik Antonio Martínez Tostado, IBT. Cielo Guadalupe Ortiz Leyva y Lic. Alexis Omar Tárula Marín por su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a todos mis seres queridos y familiares, específicamente a mi mamá Karla Ceseña y mi abuela Isabel Coronilla por ayudar a forjarme día a día como persona de bien, muchos de mis logros se los debo a ustedes y este es uno de ellos. Gracias por brindarme su apoyo incondicional y estar presentes en cada uno de los momentos importantes de mi vida, por darme las herramientas necesarias para alcanzar mis anhelos, sueños y metas y por creer de mi de forma incondicional. También quiero dedicarla a mis hermanos quienes me acompañaron a lo largo de este proceso, comprendieron mis ausencias y toleraron mis días de estrés y mal humor, de verdad, muchas gracias. Finalmente quiero dedicarla a todos aquellos amigos que estuvieron ahí para mí dándome consejos, apoyándome y dándome su mano, ustedes son parte importante de este nuevo logro ya que sin su motivación y ánimo hubiera sido muy difícil lograrlo.

Espero estén siempre presentes para cumplir juntos mis sueños y metas...

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>)	5
2.2 Cultivo y producción de tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>)	7
2.2.1 Características de cultivo	9
2.2.2 Requerimientos nutricionales	10
2.3 Producción de mango a nivel mundial y nacional	15
2.4 Características nutricionales del mango (<i>M. indica</i> L.) var. Ataulfo	16
2.5 Producción de residuos agroindustriales	18
2.6 Uso de carbohidratos y subproductos vegetales en dietas para <i>O. niloticus</i>	20
2.7 Uso de subproductos de mango en dietas para <i>O. niloticus</i>	24
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	27
5. HIPÓTESIS	28
6. OBJETIVOS	29
6.1 Objetivo general	29

6.2 Objetivos específicos	29
7. MATERIAL Y MÉTODOS	30
7.1 Obtención de materias primas	30
7.2 Elaboración de harinas de subproductos de mango	31
7.3 Análisis químicos proximales	34
7.4 Elaboración de dietas experimentales	35
7.5 Sistema y diseño experimental	39
7.6 Desarrollo del bioensayo	40
7.7 Extracción de muestras de sangre	43
7.8 Parámetros zootécnicos e índices biológicos	43
7.9 Análisis de bioquímica sanguínea	45
7.9.1 Triglicéridos	45
7.9.2 Glucosa	45
7.9.3 Albúmina	46
7.9.4 Colesterol total	46
7.9.5 Proteína total	47
7.10 Análisis estadísticos	47

8. RESULTADOS	49
8.1 Parámetros de crecimiento y zootécnicos	49
8.2 Índices biológicos	51
8.3 Análisis químico proximal de peces	53
8.4 Análisis de bioquímica sanguínea	55
9. DISCUSIÓN	60
10. CONCLUSIONES	75
11. REFERENCIAS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Serie histórica de la producción (toneladas) de tilapia para entidades federativas mexicanas (2015-2021).....	8
Tabla II. Requerimientos de proteína (%) y aminoácidos esenciales (AAE, %) de tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) en diferentes estadios de vida y peso.....	11
Tabla III. Contenido nutrimental de proteínas y lípidos de diferentes alimentos comerciales disponibles para <i>O. niloticus</i>	12
Tabla IV. Contenido de aminoácidos (g/100 g, base seca) de <i>Mangifera indica</i> L.....	17
Tabla V. Análisis de composición química proximal (% base seca) de ingredientes utilizados para el diseño de las dietas experimentales.....	36
Tabla VI. Formulación de dietas experimentales (g/100 g de dieta) utilizando residuos agroindustriales de mango (<i>M. indica</i> L.) para juveniles de tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>).....	38
Tabla VII. Parámetros zootécnicos de tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) alimentados con dietas experimentales con inclusión de subproductos de mango (<i>M. indica</i> L.).....	49
Tabla VIII. Índices biológicos de tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) alimentadas con dietas experimentales con inclusión de subproductos de mango (<i>M. indica</i> L.).....	52
Tabla IX. Análisis químicos proximales (% base seca) de pez entero de juveniles de tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) alimentadas con dietas experimentales con inclusión de subproductos de mango (<i>M. indica</i> L.).....	54

Tabla X. Bioquímica sanguínea de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentadas con dietas experimentales con sustitución de harina de pescado por harinas de subproductos de mango (*M. indica* L.).....56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología externa de la tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) (FreePng,2024).....	5
Figura 2. Proceso de elongación y desaturación de ácidos grasos (Aparicio-Simon, 2004).....	12
Figura 3. a) Principales rutas metabólicas de carbohidratos. b) Síntesis de glucógeno a partir de UDP-glucosa (Chandel, 2021).....	13
Figura 4. Mango (<i>Mangifera indica</i> L.) var. Ataulfo. (BarrioCampo, 2024).....	16
Figura 5. Residuos agroindustriales de mango (<i>M. indica</i> L.) var. Ataulfo en empresa deshidratadora “El Chalatal” (Benitez-Hernández, 2022).....	30
Figura 6. Transporte de materia prima (cáscara y semilla) al Laboratorio de Botánica Acuática de la Facultad de Ciencias del Mar (Benitez-Hernández, 2022).....	31
Figura 7. Proceso de lavado de la semilla de mango (<i>M. indica</i> L.) var. Ataulfo (López-Ceseña, 2022).....	32
Figura 8. Deshidratado de semilla de mango (<i>M. indica</i> L.) var. Ataulfo en horno (López-Ceseña, 2022).....	33
Figura 9. a) Muestras procesadas para determinación de lípidos totales con método Folch <i>et al.</i> (1957); b) Muestras de análisis de humedad; c) Proceso de digestión para determinación de proteína total para el método microKjeldahl (N. x 6.5; AOAC 954.01); d) Análisis de cenizas (método AOAC 32.1.05) (López-Ceseña, 2022).....	34

Figura 10. Pesado y mezcla de ingredientes para elaborar las dietas experimentales (López-Ceseña, 2022).....	36
Figura 11. a) Tiras de 1.5 mm obtenidas del molino de carne; b) Pellets en proceso de deshidratación (López-Ceseña, 2022).....	37
Figura 12. Sistema experimental en funcionamiento antes de iniciar el bioensayo de alimentación de tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) (López-Ceseña, 2022).....	39
Figura 13. Juvenil de tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) seleccionado para el bioensayo (López-Ceseña, 2022).....	40
Figura 14. a) Raciones de alimentación listas para ser suministradas. b) Juvenil de tilapia siendo pesado para el registro durante biometría (López-Ceseña, 2022).....	41
Figura 15. Limpieza del sistema experimental durante el bioensayo de crecimiento con dietas experimentales para tilapia del Nilo (<i>O. niloticus</i>) (López-Ceseña, 2022).....	42

RESUMEN

La acuicultura es un sector agropecuario que por primera vez para el año 2022 de acuerdo a la FAO, superó a la pesca en cuanto a producción de peces. Un problema al que se enfrenta la acuicultura, son los altos costos de alimentación equivalentes hasta al 60% de los costos totales de producción, esto, por el uso de harina de pescado como principal fuente proteica. Las investigaciones se han centrado en buscar alternativas que sustituyan el papel de energético de las proteínas por fuentes de energía menos costosas sin afectar el crecimiento y salud de los organismos en cultivo, proponiendo como alternativa a las harinas de origen vegetal. Se han obtenido buenos resultados utilizando harinas de cereales, sin embargo, las harinas provenientes de frutas no han sido tan estudiadas. El mango es una fruta de importancia productiva y comercial en México y es el tercer fruto que más se comercializa a nivel mundial, sin embargo, durante su procesamiento se llega a desperdiciar entre un 23-35% de la fruta convirtiéndose en un residuo agroindustrial generador de contaminación. La pulpa, la cáscara y semilla de mango Ataulfo (*Mangifera indica* L.) contienen diferentes tipos de carbohidratos, compuestos fenólicos con capacidad antioxidante y alto contenido de vitaminas y minerales, por lo que se propuso utilizar estos residuos (cáscara, semilla y pulpa de mango) para evaluar el impacto que esto tiene sobre el crecimiento, la utilización del alimento y la bioquímica sanguínea de un pez de importancia productiva y comercial como lo es la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Para ellos se llevó a cabo un bioensayo de crecimiento con juveniles (2.4 ± 0.3 g de peso promedio y 4.3 ± 0.5 cm de talla promedio inicial), producidos en la Facultad de Ciencias del Mar

(FACIMAR-UAS), a fin de evaluar siete dietas: Control (47% proteína, 7% lípidos) y seis dietas experimentales isolípídicas (7%) e isoenergéticas (18 kJ/kg) con 3 subproductos de mango (pulpa, cáscara y semilla) y 2 niveles de sustitución (10 y 20%). Cada tratamiento contó con 3 réplicas (10 peces por tanque), mantenidos a 25 °C y 5.5 mg/L de oxígeno disuelto alimentados tres veces al día durante 60 días. Se determinaron parámetros zootécnicos (ganancia de peso, tasa de crecimiento específica, supervivencia y factor de conversión alimenticia) y biológicos (índice viscerosomático y hepatosomático, factor de condición, grasa intraperitoneal e índice de eficiencia protéica), composición química proximal corporal (humedad, materia seca, cenizas, proteínas, lípidos, y ELN) y se analizaron parámetros de bioquímica sanguínea (glucosa, colesterol, triglicéridos, proteína total, albúmina, globulinas y la relación albúmina globulinas). Los peces alimentados con pulpa presentaron mayor ganancia de peso ($22.6 \text{ g} \pm 4.2$) y tasa de crecimiento específico (3.8 ± 0.3) sin diferencias con el tratamiento Control ($p < 0.05$), la supervivencia no presentó diferencias entre los tratamientos (90%). El factor de condición no presentó diferencias entre el tratamiento Control y con sustitución del 20%. El índice viscerosomático fue más alto en los tratamientos con pulpa (10.8 ± 0.1) seguido del Control (9.33 ± 1.3) sin diferencias ($p < 0.05$), el índice hepatosomático no presentó diferencias en ningún tratamiento. Los peces de la dieta Control tuvieron mayor cantidad de grasa intraperitoneal siendo diferente al resto de los tratamientos ($p < 0.05$). El porcentaje de lípidos en cuerpo entero aumentó en los tratamientos experimentales sin presentar diferencias entre sí. Los valores de triglicéridos, colesterol, proteína total, albúmina y glucosa presentaron diferencias con respecto al tratamiento control, sin embargo, los

valores se encuentran dentro de lo reportado para *O. niloticus*. Por lo tanto, la sustitución de harina de pescado con harina de pulpa de mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo hasta en un 20% no afecta el crecimiento ni altera la bioquímica sanguínea y composición proximal de juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) durante el tiempo.

Palabras clave: Acuicultura, carbohidratos, energía, harina de pescado.

ABSTRACT

Aquaculture is an agricultural sector that, for the first time in 2022, according to the FAO, surpassed fishing in terms of fish production. One problem that aquaculture faces is the high feed costs equivalent to up to 60% of total production costs, due to the use of fishmeal as the main protein source. In recent years, researchers have focused on finding alternatives that replace the energy role of proteins with less expensive energy sources without affecting the growth and health of the organisms in culture, proposing meals of vegetable origin as an alternative. Good results have been obtained using cereal meals, however, meals from fruits have not been studied as much. Mango is a fruit of productive and commercial importance in Mexico and is the third most marketed fruit worldwide, however, during its processing, between 23-35% of the fruit is wasted, becoming an agro-industrial waste that generates pollution. The pulp, peel and seed of Ataulfo mango (*Mangifera indica* L.) contain different types of carbohydrates, phenolic compounds with antioxidant capacity and high content of vitamins and minerals, so it was proposed to use these residues (peel, seed and pulp of mango) to evaluate the impact that this has on growth, feed utilization and blood biochemistry of a fish of productive and commercial importance such as the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). For them, a growth bioassay was carried out with juveniles (2.4 ± 0.3 g average weight and 4.3 ± 0.5 cm average initial size), produced at the Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR-UAS), in order to evaluate seven diets: Control (47% protein, 7% lipids) and six experimental isolipid (7%) and isoenergetic (18 kJ/kg) diets with 3 mango by-products (pulp, peel and seed) and 2 replacement

levels (10 and 20%). Each treatment had 3 replicates (10 fish per tank), maintained at 25 °C and 5.5 mg/L of dissolved oxygen fed three times a day for 60 days. Zootechnical parameters (weight gain, specific growth rate, survival and feed conversion factor) and biological parameters (viscerosomatic and hepatosomatic index, condition factor, intraperitoneal fat and protein efficiency index), proximate body chemical composition (humidity, dry matter, ash, proteins, lipids and ELN) were determined and blood biochemistry parameters (glucose, cholesterol, triglycerides, total protein, albumin, globulins and albumin globulin ratio) were analyzed. Fish fed with pulp presented greater weight gain ($22.6 \text{ g} \pm 4.2$) and specific growth rate (3.8 ± 0.3) without differences with the Control treatment ($p < 0.05$). The condition factor did not present differences between the Control treatment and with 20% substitution. The viscerosomatic index was higher in the treatments with pulp (10.8 ± 0.1) followed by the Control (9.33 ± 1.3) without differences ($p < 0.05$), the hepatosomatic index did not present differences in any treatment. The fish of the Control diet had a higher amount of intraperitoneal fat being different from the rest of the treatments ($p < 0.05$). The percentage of lipids in the whole body increased in the experimental treatments. The values of triglycerides, cholesterol, total protein, albumin and glucose presented differences with respect to the control treatment, however, the values are within those reported for *O. niloticus*. Therefore, the substitution of fishmeal with mango pulp meal (*M. indica* L.) var. Ataulfo up to 20% does not affect the growth or alter the blood biochemistry and proximal composition of juvenile Nile tilapia (*O. niloticus*) over time.

Keywords: Aquaculture, carbohydrates, energy, fishmeal.

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha desarrollado rápidamente en las últimas décadas en respuesta a la creciente demanda de pescado y su contribución como una fuente importante de proteína animal a nivel mundial y que puede llegar a producirse a bajo costo (Poot-López *et al.*, 2012). En este sentido la producción mundial de pescado en el año 2022 alcanzó una producción de 185 millones de toneladas, de las cuales el 51% (94 millones) provienen de sistemas de producción, superando por primera vez a la pesca (FAO, 2024). Debido a este crecimiento exponencial la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura la posiciona como una industria capaz de promover el crecimiento económico de países en vías de desarrollo e incluso de reducir los niveles de pobreza a nivel mundial (FAO, 2014).

Dentro de esta industria el cultivo de tilapia es una alternativa importante para la obtención de proteína de bajo costo y de alta calidad nutricional (Reyes-Trigueros *et al.*, 2023). A nivel mundial, la producción de tilapia alcanzó los 4.2 millones de toneladas en 2022, posicionándose como la tercera especie más cultivada en el mundo (FAO, 2024). En México, la producción acuícola de tilapia fue de 45 064 ton en 2021 y Sinaloa participó con una producción total de arriba de 7 000 ton (CONAPESCA, 2021). Las previsiones realizadas mencionan que la producción mundial de tilapia casi logre duplicarse, desde 4.2 millones de toneladas a 7.4 millones anuales entre el año 2010 y 2030 (FAO, 2010). La tilapia del Nilo (*O. niloticus*) se caracteriza por ser un organismo de rápido crecimiento, tolerar altas densidades de cultivo, resistencia al estrés lo cual permite su fácil manejo, e incluso posee la capacidad de alimentarse de

manera exógena desde las primeras semanas de vida, por estas características biológicas la tilapia del Nilo se encuentra en la categoría de organismo con resistencia media (Diallo *et al.*, 2020). Además, la tilapia es una especie omnívora capaz de metabolizar y aprovechar de manera eficiente nutrientes (proteínas, lípidos y carbohidratos) de origen vegetal (Montoya-Camacho *et al.*, 2019).

En la acuicultura, los costos de alimentación son un factor clave para determinar la rentabilidad de los cultivos acuícolas, ya que equivalen alrededor del 60 % de los costos totales de producción (Soza-Chí *et al.*, 2020 *et al.*, 2007). Para la producción de alimentos acuícolas se utiliza como fuente principal de proteína la harina de pescado, razón por la cual los costos son tan elevados, además, su producción depende directamente de la pesca, sector que ha ido en declive durante la última década (Yang *et al.*, 2023). A manera de resolver ésta problemática e intentando aumentar los beneficios económicos y nutricionales para los acuicultores y los consumidores, respectivamente, un gran número de investigaciones han puesto sus esfuerzos en utilizar subproductos de origen vegetal como sustituto de la harina de pescado sustituyendo el papel energético de las proteínas por energía proveniente de carbohidratos, esto sin afectar el crecimiento y la salud de los organismos incluyendo su bioquímica sanguínea (Yusuf *et al.*, 2016; Soltanzadeh *et al.*, 2017; Putra *et al.*, 2019; Pontes *et al.*, 2021; Magbanua *et al.*, 2023; Ayyat *et al.*, 2024). La bioquímica sanguínea ayuda a comprender algunos aspectos relacionados al metabolismo, ligado al bienestar y salud de los organismos, alteraciones en diversos parámetros pueden indicar desnutrición, estrés, o incluso procesos de infección por agentes patógenos

(Galant *et al.*, 2015; Fazio, 2019), por ello, es importante contemplar este aspecto al momento de sustituir ingredientes importantes como las proteínas por fuentes de energía vegetal.

Los subproductos de origen vegetal poseen un porcentaje alto de carbohidratos, los cuales han sido utilizados como una fuente energética de muy bajo costo debido a su fácil acceso y producción. Cada organismo responde de forma diferente al consumo de estos, todo depende de su capacidad metabólica para metabolizarlos, sin embargo, se conoce que un nivel adecuado promueve el ahorro de proteínas lo que induce al rápido crecimiento de los organismos (Hemre *et al.*, 2002). Existen diversos estudios que han concluido que la efectividad del uso de altos niveles de carbohidratos en la dieta depende directamente de la capacidad de digestión, absorción y metabolismo de los organismos. Por ejemplo, se indica que los peces herbívoros y omnívoros tienen una mayor de aprovechar estos compuestos a diferencia de los peces carnívoros (Steinberg, 2022; Anand *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2024). En general, la eficiencia de utilización de carbohidratos de los peces depende de sus hábitos alimenticios (Kamalam *et al.*, 2017). A nivel bioquímico se conoce que una inclusión adecuada de carbohidratos digeribles (CHOs) en la dieta de los peces disminuye significativamente el uso lípidos y proteínas para la producción de energía (ATP) generando así un efecto ahorrador (Castillo y Gatlin, 2015).

Por otro lado, para los países tropicales y subtropicales la agroindustria frutícola es una actividad económica muy importante que genera gran cantidad de residuos durante la producción y transformación de las materias primas, generando problemas de

contaminación (Martins y Farias, 1994; Durigan *et al.*, 2005). Generalmente estos desechos son ricos en CHOs y compuestos bioactivos que los convierten en posibles ingredientes y sustitutos energéticos en alimentos acuícolas (Souza *et al.*, 2020).

El mango es una fruta tropical con alto contenido de carbohidratos de valor nutricional y energético. La pulpa de mango es reconocida a nivel internacional por su alto contenido de heteropolisacáridos, además, es una fuente importante de fructosa, glucosa y sacarosa, azúcares que son muy reconocidos y utilizados por las industrias de alimentos, la cáscara y la semilla son una muy buena fuente de carotenoides, polifenoles y otros compuestos bioactivos (Wall-Medrano *et al.*, 2015; Sánchez-Camargo *et al.*, 2019; Quintana-Obregón *et al.*, 2019). Desde esta perspectiva, los residuos agroindustriales de mango (*Mangifera indica* L.) poseen características específicas que los convierten en una posible fuente de sustitución de ingredientes energéticos tradicionales (Lazzari *et al.*, 2015).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es evaluar el uso de subproductos agroindustriales de mango (*Mangifera indica* L.) var. Ataulfo como sustituto parcial de harina de pescado en dietas para juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) y su efecto sobre parámetros de crecimiento y bioquímica sanguínea.

2. ANTECEDENTES

2.1 Tilapia del Nilo (*O. niloticus*)

La tilapia del Nilo es un pez teleósteo que pertenece a la familia *Cichlidae*, es un pez originario de diferentes regiones tropicales y subtropicales de África y Oriente Medio, presente en diferentes ríos cercanos a la costa de Camerún, Nigeria, Sudán, Guinea y Uganda, aunque actualmente se encuentra distribuido en la mayor parte de las regiones tropicales del mundo (Gutiérrez y Lasso, 2012). Poseen un cuerpo con dorso en tonos grises y líneas verticales oscuras en la zona de la aleta caudal (Figura 1), esta especie presenta dimorfismo sexual, es decir, el macho es más grande que la hembra.

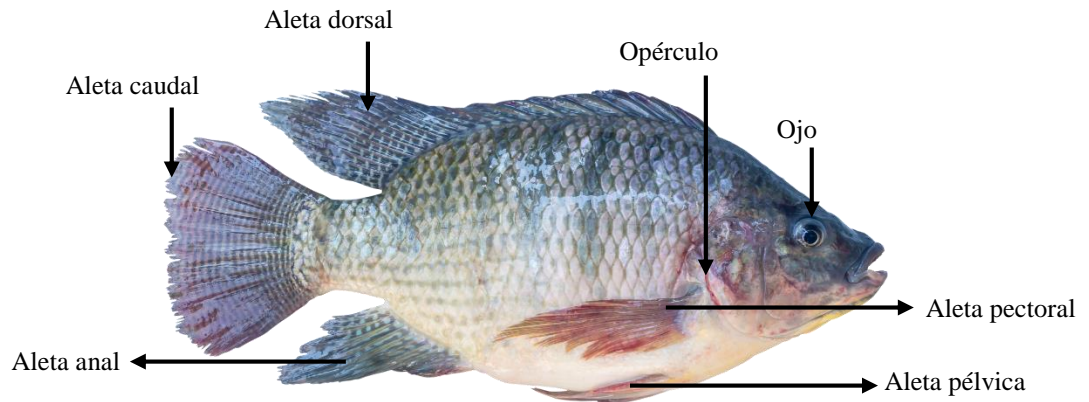


Figura 1. Morfología externa de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) (FreePng,2024).

El peso y longitud máxima de la cual se tiene registro son 60 cm y 4.3 Kg respectivamente, se estima que pueden vivir hasta 12 años de edad, sin embargo, solo se tiene registro de individuos de hasta 9 años (Eccles, 1992; Paugy *et al.*, 2004).

Normalmente se encuentran en aguas cálidas, toleran grandes rangos de temperatura desde los 8 °C hasta los 34 °C, toleran cambios en el ambiente y en los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, oxígeno disuelto, amonio, etc.) tienen un rápido crecimiento, altos índices de reproducción, toleran altas densidades de cultivo, poseen resistencia a enfermedades y debido a su alimentación omnívora consumen una gran variedad de alimentos (FAO, 1999).

En su forma silvestre llegan a consumir una gran variedad de alimentos abarcando desde organismos pequeños como microalgas y plancton, hasta pequeños invertebrados, huevos y larvas de peces, organismos bentónicos e incluso materia orgánica en descomposición presente en el suelo o en la columna de agua. Una de las grandes ventajas de esta especie es su capacidad de alimentarse de niveles tróficos inferiores (Fitzsimmons, 2005).

Aunado a eso, en condiciones de cultivo la tilapia se adapta fácilmente a los alimentos comerciales desde las primeras semanas de vida (CTAQUA, 2018). Esta especie también es capaz de aprovechar de manera eficiente la productividad primaria de los estanques lo que contribuye a una buena alimentación del organismo y reducción de costos de producción e incluso tolera el bajo contenido proteico de dietas comerciales lo cual podría contribuir a la reducción de diversas materias primas como la harina de pescado (FAO, 2007). La carne o filete de tilapia es reconocido a nivel mundial, por su gran sabor, calidad, aspectos nutricionales y, además, su bajo costo, lo cual resulta beneficioso para los consumidores (El-Sayed, 2006).

2.2 Cultivo y producción de tilapia del Nilo (*O. niloticus*)

Según la FAO (2024), las cifras de producción de tilapia reportadas por diferentes fuentes a nivel mundial indican que para el año 2022 la producción de este organismo ascendió a los 4.2 millones de toneladas, superada solamente por las carpas y muy por encima de la producción de salmones, bagres y truchas (FAO, 2024). Los cultivos de tilapia se realizan en tres diferentes tipos de sistema: extensivo, semi-intensivo e intensivo. Cada uno de ellos se diferencia por la cantidad y forma de suministro de alimento, densidad de siembra y el lugar o zona de cultivo. Su producción está destinada principalmente al consumo humano, por ello, es que la tilapia resultó ser un importante componente para la economía de algunas regiones de México (CONAPESCA, 2021). En México, para el año 2021, se capturaron 32 181 ton, este volumen fue exclusivo de la pesca, aunado a esto en sistemas controlados de acuicultura se produjeron 45 064 ton obteniendo una producción total de 77 245 ton. Por su volumen de captura y producción se encuentra en el 5to lugar y con respecto al valor de su producción se encuentra en el 4to lugar. Un peso desembarcado de 76 532 ton de las cuales 58 826 ton provienen de la zona del Pacífico y 16 712 ton de la zona del Golfo de México y Caribe (CONAPESCA, 2021). México ocupa la décima posición a nivel mundial de producción de tilapia, representa una fuente muy grande recursos económicos y empleo sobre todo para las zonas rurales ya que normalmente ahí es donde se desarrolla la actividad de su cultivo y pesca. Las principales entidades federativas de nuestro país que se dedican a la explotación y comercialización de esta

especie son: Chiapas, Nayarit, Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Veracruz, Tabasco, Guerrero y Campeche (Ornelas-Luna *et al.*, 2020).

Las 76 532 ton producidas en el año 2021 tuvieron un valor comercial de 2 717 448 millones de pesos, siendo los principales productores: Chiapas (32 %), Nayarit (13 %), Jalisco (13 %), Tabasco (13 %) y Sinaloa (9 %), el 20 % restante se divide en otros estados de la república como Veracruz, Michoacán, Campeche y Guerrero, dichos volúmenes han sufrido variaciones a lo largo del tiempo para cada entidad (Tabla I).

Tabla I. Serie histórica de la producción (toneladas) de tilapia para entidades federativas mexicanas (2015-2021).

Entidad	Año							
	Federativa	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Chiapas		29 136	36 079	26 759	28 230	33 184	38 733	24 801
Nayarit		10 710	13 248	14 239	14 292	11 414	13 701	10 260
Jalisco		32 039	36 879	39 538	35 887	16 982	15 668	10 105
Tabasco		5 267	6 572	7 053	7 620	3 527	2 557	9 535
Sinaloa		12 178	17 174	16 172	15 553	17 215	13 283	7 003
Veracruz		9 967	11 130	13 038	12 386	5 404	4 820	3 472
Michoacán		10 319	27 497	25 873	17 615	7 446	6 669	3 154
Campeche		2 218	2 541	3 080	2 922	2 744	3 760	2 001
Guerrero		3 929	5 303	6 347	5 674	2 211	2 155	1 996
Otras		19 366	26 529	27 819	26 181	13 023	13 423	4 918
TOTAL		135	182	179	168	113	114	77 245
		129	952	919	359	149	769	

CONAPESCA, 2021.

Sinaloa ocupó el quinto lugar en producción de tilapia en 2021 solo por debajo de Chiapas, Nayarit, Jalisco y Tabasco, sin embargo, su producción sigue siendo representativa para nuestro país (CONAPESCA, 2021).

2.2.1 Características de cultivo

Independientemente de que la tilapia sea un organismo capaz de resistir cambios o alteraciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, es importante mantener siempre las condiciones óptimas para que el organismo se desarrolle plenamente y se logre con éxito el cultivo, las condiciones óptimas de cultivo son:

- Oxígeno disuelto: Aunque la tilapia soporta concentraciones de 1 mg/L no es lo ideal, ya que a bajas concentraciones de oxígeno el consumo de alimento se reduce y por ende el crecimiento, de preferencia mantener los niveles en un mínimo 2 y 3 mg/L siendo el óptimo entre 5 y 6 mg/L.
- Temperatura: A temperaturas menores de 15 °C se detiene el crecimiento y a partir de los 37 °C no existe tolerancia, lo ideal es mantenerla de 26 a 29 °C.
- pH: No toleran ambientes ácidos por debajo de 5 por lo que lo óptimo son valores de 7 y 8.
- Turbidez: Al leerla con disco Secchi se debe mantener visibilidad a 30 cm (Ávila *et al.*, 2017).

Comúnmente, en los cultivos de tilapia enfocados a la engorda, se siembran poblaciones monosexadas, es decir, organismos de un solo sexo, en este caso machos,

ya que como se mencionó con anterioridad, presentan dimorfismo sexual por lo que los machos tienen un mayor crecimiento que las hembras y esto a nivel comercial es más conveniente, aunado a eso, no se pierde energía para aspectos reproductivos y esta se aprovecha para cuestiones metabólicas de crecimiento (Reyes-Trigueros, *et al.*, 2023). Así mismo, es necesario realizar un seguimiento sanitario y tomar el control de los parámetros fisicoquímicos del agua, para prevenir la aparición de organismos patógenos (Ávila *et al.*, 2017).

2.2.2 Requerimientos nutricionales de *Oreochromis niloticus*

De manera general, para un óptimo desarrollo los organismos necesitan consumir lípidos, carbohidratos, proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales (Pokniak, 1997). Los requerimientos (Tabla II) varían de forma cuantitativa conforme a la etapa del ciclo de vida, pero en términos cualitativos no.

Las crías deben consumir una dieta elevada en lípidos, proteínas, vitaminas y minerales pero baja en carbohidratos, en el caso de los juveniles requieren una mayor cantidad de lípidos y carbohidratos ya que es la principal fuente de energía y en esta etapa se puede reducir la ingesta de proteína y finalmente en etapa adulta se puede elevar el contenido de carbohidratos y reducir nuevamente la proteína, es decir a medida que los individuos van creciendo, requieren un menor nivel proteico para obtener la energía (Torres y Hurtado, 2012).

Tabla II. Requerimientos de proteína (%) y aminoácidos esenciales (AAE, %) de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) en diferentes estadios de vida y peso.

Estadio de vida	Peso (g)	Requerimiento proteico (%)
Larva	-	45-50
Alevín	0.02-1	45-60
Juvenil temprano	1-10	35-40
Juvenil	10-100	30-35
Adulto	100-250	28-32
AAE	Post-reversión (hasta 100 g)	Mayores de 100 g
Lisina	1.53	1.38
Metionina	0.52	0.47
Metionina + cistina	0.92	0.83
Treonina	1.18	1.07
Arginina	1.26	1.14
Histidina	0.52	0.47
Isoleucina	0.3	0.84
Leucina	1.01	0.92
Triptófano	0.3	0.27
Valina	0.83	0.75

FAO, 2009; Torres y Hurtado, 2012; CTAQUA, 2020. Post-reversión: organismos ya sometidos a reversión sexual.

Estos requerimientos se han establecido como los óptimos, sin embargo, en la actualidad existen una diversidad de alimentos comerciales (Tabla III) que muestran combinaciones variables de nutrientes (proteínas y lípidos principalmente).

Es importante tomar en cuenta el porcentaje de inclusión de lípidos, ya que, estos participan procesos metabólicos y fisiológicos que contribuyen a la salud y al óptimo desarrollo de los organismos (Chou y Shiau, 1996). En el caso de los lípidos para la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) se recomienda una inclusión de un 5-12 % de lípidos totales, un porcentaje más elevado podría causar alteraciones a nivel metabólico e incluso retrasar o limitar el crecimiento (Ng y Chong., 2004).

Tabla III. Contenido nutricional de proteínas y lípidos de diferentes alimentos comerciales disponibles para tilapia del Nilo (*O. niloticus*).

Marca comercial	Peso de la tilapia (g)	Proteínas (%)	Lípidos (%)
TopFish®	1-12	43	10
	10-80	43	10
NutriPec®	0.3-1	53	15
	4-30	44	15
	30-60	40	9
AquaPlus®	1-10	50	16
GrowFish®	1-10	40	3.5
	50-200	35	5.5

Elaboración propia. Sitios oficiales: GrowFish®, AquaPlus®, Aliansa-Fontana®, NutriPec® y TopFish®.

La tilapia al ser un organismo de agua dulce tiene la capacidad de elongar y desaturar cadenas de ácidos grasos (Figura 2) por lo que es importante considerar la inclusión de ácidos grasos de la serie n-3 y n-6 en su dieta (Justi *et al.*, 2003).

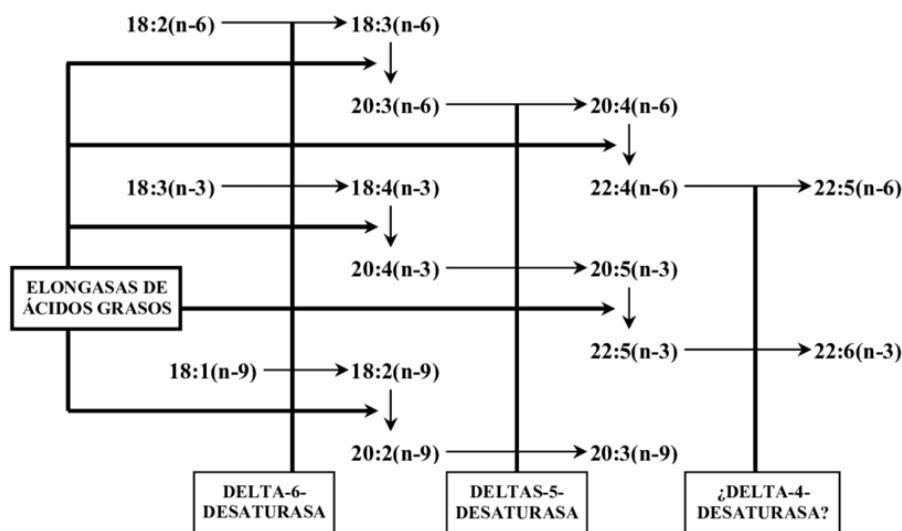


Figura 2. Proceso de elongación y desaturación de ácidos grasos (Aparicio-Simon, 2004).

Cabe mencionar que se han estado investigando alternativas vegetales como la canola o linaza para sustituir al aceite de pescado utilizado en los alimentos acuícolas sin afectar el crecimiento de los organismos (Yildiz *et al.*, 2018; Monge-Ortiz *et al.*, 2018; Mu *et al.*, 2020; Sáez-Royuela *et al.*, 2022). Los carbohidratos son esenciales para la producción de la molécula energética de adenosin trifosfato (ATP) la cual se obtiene a través del metabolismo (Figura 3a).

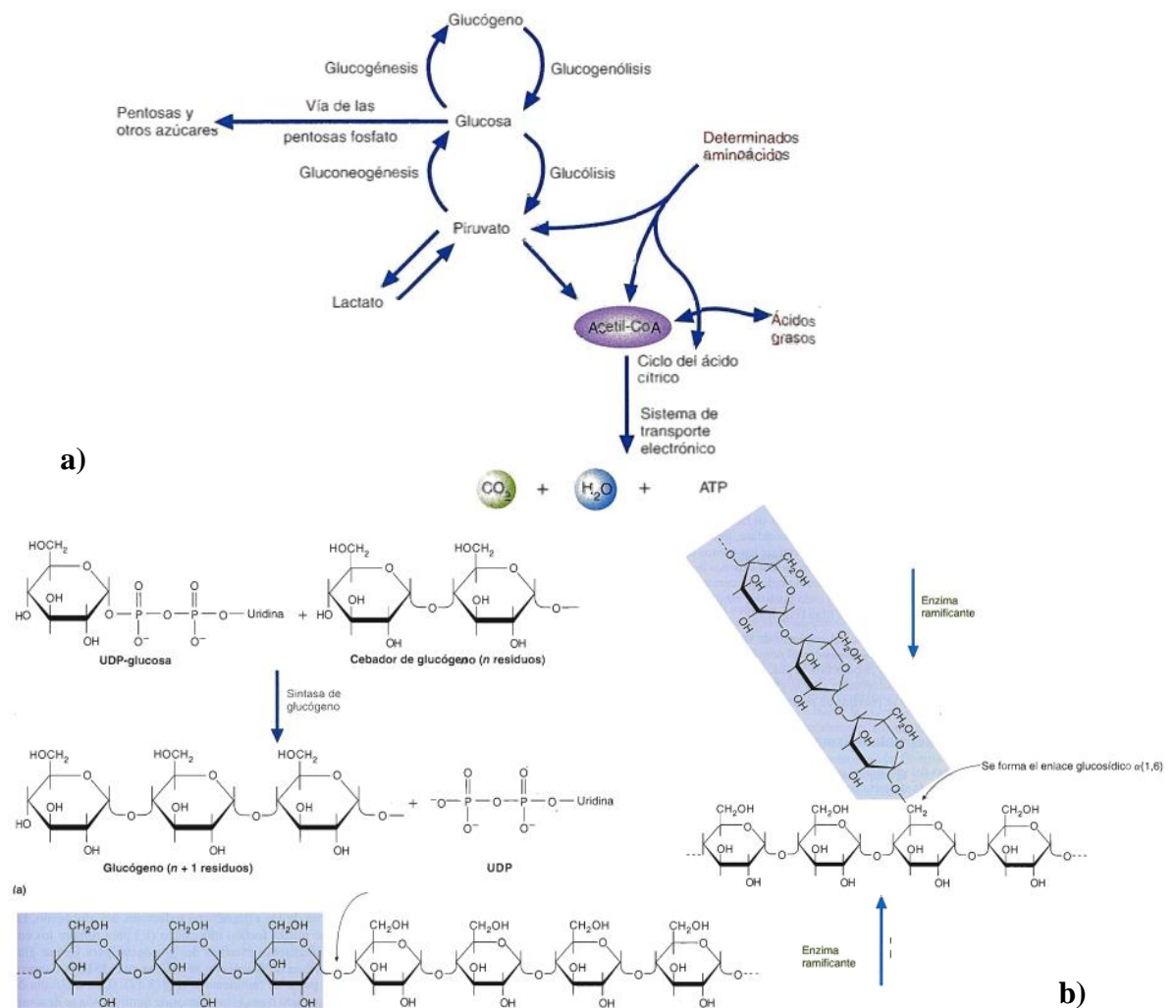


Figura 4. a) Principales rutas metabólicas de carbohidratos. b) Síntesis de glucógeno a partir de UDP-glucosa (Chandel, 2021).

El metabolismo de carbohidratos incluye la vía de la glucólisis, ciclo de Krebs, fosforilación oxidativa y cadena transportadora de electrones, en todas ellas participan una gran variedad de enzimas cuyo objetivo es la obtención de energía a través del proceso de respiración celular (Mathews *et al.*, 2004).

Por otro lado, un exceso de carbohidratos se puede transformar en lípidos, mientras que la oxidación de lípidos da lugar a la obtención de glucosa metabólica a través de la glucogenogénesis y glucogenólisis (Figura 3b) procesos que son llevados a cabo en el músculo e hígado, siendo la insulina su principal activador y regulador de los niveles de glucosa en sangre (Chandel, 2021).

En general, los carbohidratos representan una fuente importante de energía para muchas especies de animales, sin embargo, en diferentes especies de peces se ha reportado una menor tasa de aprovechamiento de este macronutriente como principal fuente de energía (Noel-Guevara, 2003). Por ejemplo, en la trucha (*Oncorhynchus mykiss*), un pez carnívoro, se conoce que solo puede digerir el 20 % del almidón disponible como fuente de carbohidratos en sus dietas; mientras que en el pez gato (*Ictalurus punctatus*) puede aprovechar hasta en un 60 % de esos mismos carbohidratos disponibles en la dieta (Pokniak, 1997). Las fuentes de carbohidratos más utilizadas en las dietas para la tilapia del Nilo son la soja, el arroz, el trigo y el maíz, debido a su fácil aprovechamiento y acceso, recomendando una inclusión de entre 10-40% de acuerdo al estadio en que se encuentre el pez, además, confiere al alimento otras propiedades importantes como el aglutinamiento y la mejora de la textura sin dejar de lado el ahorro en los costos de producción (Fitzsimmons, 2005). Sin embargo, no solo

se han utilizado este tipo de alimento como fuentes de carbohidratos, sino también diversas variedades de frutas, así como sus residuos (Azaza *et al.*, 2009; Chávez *et al.*, 2015; Chotolli *et al.*, 2023), incluso se han llegado a utilizar frutas de gran importancia económica y nutricional como lo es el mango (Souza *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2020).

2.3 Producción de mango a nivel mundial y nacional

El mango es el tercer fruto tropical a nivel mundial, en cuanto a su producción e importación, situado inmediatamente después del plátano y la piña, y el quinto lugar de todos los frutos que se comercializan a nivel mundial. Esta fruta se cultiva en más de 100 países, incluido México. La producción reportada para el año 2022 de este fruto fue de más de 32 millones de toneladas (FAO, 2023). Durante el 2021, el valor de las exportaciones de mango se incrementó en un 16 %, lo que contribuyó a consolidar a México en el primer lugar mundial en las ventas de este producto (Fernández *et al.*, 2021).

Para México, la producción de mango es una importante fuente de empleo, ingreso y generación de divisas. Actualmente, el mango ocupa el tercer lugar en superficie cosechada con el 16.5 % del total nacional, y primer lugar durante los dos últimos años en lo que a productos frutícolas de exportación se refiere (SADER, 2022). Los principales estados productores de mango, para el año 2021 en México fueron Guerrero, con el 26 %, Sinaloa con el 23 %, Nayarit con el 17 %, Chiapas con el 10 % y Oaxaca con el 9 %; solo estos cinco estados acumulan el 85 % de la producción

nacional (Fernández *et al.*, 2021). Por otro lado, existe una gran variabilidad en la composición nutrimental del mango producto de factores edafológicos, climáticos, estado de madurez, variedad y en incluso en la posición de los frutos en un mismo árbol (Wall *et al.*, 2015).

2.4 Características nutricionales del mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo

El mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo (Figura 4) presenta denominación de origen mexicano el cual fue otorgado en el año 2003, originario de Soconusco, Chiapas.



Figura 4. Mango (*Mangifera indica* L.) var. Ataulfo. (BarrioCampo, 2024).

Su peso promedio es de 350 g dependiendo del grado de maduración, su composición se basa en: 8.5 % semilla, 19 % cáscara y 69 % pulpa siendo esta la más abundante (DOF, 2003). Es un alimento rico en ácido ascórbico (9.79 a 186 mg/100 g),

carotenoides (1159 a 3000 mg/100 g) y polifenoles que le confieren capacidad antioxidante (Kim *et al.*, 2007). La pulpa de mango y la cáscara presentan un porcentaje elevado de humedad que oscila entre 73-87 % dependiendo del grado de madurez. El contenido de carbohidratos en basa seca es de entre 15-23 %, de los cuales la fructosa se presenta en mayor cantidad. El contenido de proteínas en basa seca es de apenas 0.4-1.2 % (Olivas, 2014), de los cuales, su contenido de aminoácidos (Tabla IV) varía según su estado de madurez (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola, 2018).

Tabla IV. Contenido de aminoácidos (mg/100 g, base seca) de *Mangifera indica* L.

Aminoácido	Contenido mg/ 100 g
Isoleucina	29
Leucina	50
Lisina	66
Metionina	8
Fenilalanina	27
Tirosina	16
Triptófano	13
Treonina	31
Valina	42
Histidina	19
Arginina	31
Alanina	82
Ácido aspártico	68
Ácido glutámico	96
Glicina	34
Prolina	29
Serina	35

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola, 2018.

En la semilla de mango se pueden encontrar la mayoría de los aminoácidos esenciales, destacándose altos valores (base seca) de leucina (6.9-9 g/100 g), valina (3.7-5.8 g/100 g) y lisina (4.3-5.4 g/100 g). Respecto al contenido de lípidos, en base seca, es mayor en la pulpa que en la cáscara, existiendo una diferencia de 50 % o incluso más. Diferentes investigaciones reportan que los lípidos predominantes en esta variedad de mango son esteroides glicosilados (45-71 %) y ácidos grasos (23-42 %) por cada 100 g de mango fresco (Wall-Medrano *et al.*, 2015).

Las semillas de mango pueden ser usadas como fuente potencial de ingredientes alimentarios funcionales, debido a la alta calidad de las grasas y las proteínas. Además, se pueden encontrar importantes compuestos bioactivos que tienen una alta actividad antioxidante (Gutiérrez *et al.*, 2020). El mango también se caracteriza por presentar un contenido elevado de vitaminas y minerales en todas las partes del fruto tales como ácido ascórbico, tiamina, niacina, riboflavina y β -carotenos, todo esto, aunado a sus compuestos fenólicos, hacen sinergia específica en la capacidad antioxidante total, así, 100 g de pulpa de mango es suficiente para cubrir el 45 y 69 % de la ingesta diaria recomendada de ácido ascórbico en mexicanos de 9-50 años respectivamente.

2.5 Producción de residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales han tomado una importancia significativa, debido a que su manejo inadecuado conlleva a problemas de olores, generación de partículas en suspensión por arrastre de vientos, contaminación de fuentes hídricas y emisión de

gases con efecto invernadero. El uso de recursos disponibles localmente, es un elemento importante para generar formas de producción adecuadas para evitar el deterioro del medio ambiente y aprovechar al máximo los recursos disponibles (Gutiérrez *et al.*, 2020). Un residuo agroindustrial de acuerdo con Saval (2012), puede definirse como materiales en estado sólido o líquido obtenidos a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero sí se pueden aprovechar o transformar para obtener otro producto con valor económico, comercial o social.

Las características o composición química y biológica de los residuos agroindustriales dependen del proceso de transformación y de la materia prima utilizada. Sin embargo, los residuos agroindustriales son materiales lignocelulósicos; es decir, los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina representan sus mayores porcentajes de composición (Alonso *et al.*, 2012). Las frutas son alimentos ricos en compuestos fenólicos, especialmente pigmentos antociánicos de demostrada actividad antioxidante; por ende, sus residuos también presentarán estos compuestos (Murillo *et al.*, 2010). Los residuos del mango, además, presentan en su composición ingredientes bioactivos, así como, un alto contenido en pectinas (Serrat *et al.*, 2016). Del total de la producción de mango, el 13.5 % se convierte en un residuo agroindustrial en los huertos. Sin embargo, todavía existen varios problemas asociados a su empleo y tratamiento como fuentes aprovechables de energía y compuestos bioactivos debido a la falta de interés y metodologías bien establecidas (García *et al.*, 2013), aunado a esto,

en la industria, la generación de residuos del procesamiento mínimo del mango es de un 32 % (Wall-Medrano *et al.*, 2015).

2.6 Uso de carbohidratos y subproductos vegetales en dietas para *O. niloticus*.

A lo largo de los últimos años los investigadores que trabajan para la acuicultura, han centrado sus estudios en evaluar diferentes alternativas vegetales para disminuir el uso de la harina de pescado en la elaboración de alimentos cumpliendo con los requerimientos nutricionales y energéticos de organismos acuáticos. En este sentido, la harina de soya es uno de los productos vegetales que más se utiliza para la formulación de alimentos acuícolas. Barragán *et al.* (2017) llevaron a cabo una investigación donde se formularon tres diferentes alimentos modificando los contenidos de harinas vegetales (soya y trigo) y de harina de pescado (A; 10 % soya y 13 % trigo; B: 40 % soya y 32 % trigo; C: 50 % soya y 32 % trigo) para la alimentación de juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*). Al final del bioensayo de 57 días de alimentación, los juveniles alimentados con dietas con 40 % de soya en sustitución de la harina de pescado no afectó el crecimiento, utilización del alimento, supervivencia y salud de los organismos en cultivo.

Por otro lado, se ha estudiado como es que la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) se adapta a nivel metabólico a variaciones en el contenido de proteínas y carbohidratos en su dieta, por ejemplo, Boonanuntasarn *et al.* (2018) evaluaron la adaptación molecular del metabolismo de la glucosa en adultos de tilapia del Nilo, los peces se alimentaron con

3 niveles diferentes de carbohidratos 0 % (CHO-L) 30 % (CHO-M) y 50 % (CHO-H) dextrina. Después de 45 días y 90 días de alimentación el mejor desempeño de crecimiento se presentó en los peces alimentados con la dieta CHO-M, con un aumento de glucógeno hepático y muscular, mayor índice hepatosomático y metabolitos plasmáticos (glucosa, triglicéridos y colesterol) sin afectar la salud de los organismos, lo cual demostró que 30 % de carbohidratos en la dieta se utilizan de manera eficiente como fuente de energía en la tilapia del Nilo.

A demás de la soya se han probado otros productos de origen vegetal como el maíz, en este caso, Lauzon *et al.* (2019), evaluaron los efectos sobre el rendimiento de crecimiento de alevines de tilapia del Nilo (*O. niloticus*), alimentados con tres dietas experimentales con variaciones en los niveles de carbohidratos provenientes del maíz: Control (15 % de carbohidratos), dieta 2 (25 % de carbohidratos) y dieta 3 (25 % de carbohidratos + suplemento con benfotiamina (HCB) al 0.02 %) durante 8 semanas. Aumentar el almidón de maíz en la dieta no tuvo ningún efecto en el rendimiento de crecimiento ni en la eficiencia alimenticia de los alevines de tilapia. En cambio, los alevines alimentados con la dieta 3 presentaron diferencias significativas con respecto al peso corporal, la ganancia de peso, la tasa de crecimiento específico, el consumo de alimento y el contenido de lípidos en pez completo.

Estas evaluaciones no solo se han hecho a nivel fisiológico y metabólico, también se ha evaluado a nivel genético que la tilapia del Nilo posee mecanismos de adaptación para aprovechar de manera eficiente dichos nutrientes, Kumkhong *et al.* (2020) evaluaron la capacidad metabólica de carbohidratos en crías tilapia del Nilo

alimentadas con dietas alta en proteínas/baja en carbohidratos (AP/BC) y otra baja en proteínas/alta en carbohidratos (BP/AC) durante 4 semanas. Los resultados reportados indicaron que las crías alimentadas con dieta BP/AC tenían niveles más bajos de ARNm para los genes que codifican enzimas relacionadas a la gluconeogénesis y el catabolismo de aminoácidos ($p < 0.05$). Los peces alimentados con la dieta BP/AC fueron desafiados con diferentes niveles de carbohidratos en la dieta. Independientemente de las dietas experimentales, el estímulo temprano de AC promovió la utilización de glucosa en tilapia adulta, incrementó el ahorro de proteína y en consecuencia el crecimiento, se indujo a la lipogénesis y se disminuyó el catabolismo de aminoácidos.

Por otro lado, Zhu *et al.* (2021) evaluaron los efectos de las distintas proporciones de proteína y almidón en la dieta sobre el crecimiento, la utilización del alimento y la bioquímica sanguínea de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*). Las dietas fueron isolípídicas (6.56 %) y fueron denominadas como P40S5 (40.4 % proteína y 4.62 % almidón), P30S25 (30.4 % proteína y 24.2 % almidón) y P20S50 (19.9 % proteína y 48.6 % almidón) durante 8 semanas. Los resultados mostraron que tanto el exceso (40 %) como la cantidad insuficiente (20 %) de proteína en la dieta afectaron el crecimiento de la tilapia. El aumento del almidón dietético del 5 % o 25 % al 50 % se asoció con un mayor almacenamiento de lípidos y glucógeno en el hígado de la tilapia. Consistentemente, la recepción de almidón en la dieta hasta en un 50 % reguló positivamente la expresión de genes hepáticos representativos involucrados con la glucólisis y lipogénesis.

Las investigaciones respecto a la sustitución energética de proteínas por carbohidratos y a la asimilación de los mismos, se ha probado en diferentes estadios de desarrollo de la tilapia del Nilo, e incluso en etapas muy tempranas, Srisakultiew *et al.* (2022) investigaron los efectos de dietas altas en carbohidratos sobre el rendimiento de crecimiento y metabolismo de CHO en crías de tilapia del Nilo orientadas hacia una nutrición programada. Los tratamientos de estímulo nutricional fueron una dieta baja en CHO/alta en proteínas durante 3 semanas (grupo de control), una dieta de corta duración alta en CHO/baja en proteínas (HC/LP) durante 1 semana (grupo corto de HC/LP) y una dieta HC/LP de larga duración para 3 semanas (grupo HC/LP largo). Posteriormente, para probar la existencia de programación metabólica de CHO, los peces juveniles fueron desafiados con un alto contenido de CHO en la dieta durante las semanas 21-24. Llegando a la conclusión que el estímulo temprano de HC/LP mejoró el rendimiento de crecimiento de los juveniles, lo que sugiere que una historia de estímulo temprano de HC/LP contribuye a un mejor uso de los CHO en la dieta para el crecimiento.

No solo se han evaluado variaciones en el porcentaje de proteínas y carbohidratos en la dieta, ya que no son los únicos macronutrientes, los lípidos también han sido parte de dichas investigaciones, sin embargo, están en una proporción menor, Wang *et al.* (2022) evaluaron el crecimiento, utilización del alimento y homeostasis glucosa en juveniles de tilapia *O. niloticus*, fueron alimentadas con tres dietas isonitrogenadas (30.2 %) con diferentes niveles de almidón y lípidos: Control (24 % almidón y 6 % lípidos), dieta alta en carbohidratos (33 % almidón y 6 % lípidos) y dieta rica en lípidos

(24 % almidón y 16 % lípidos). Los resultados de este estudio sugirieron que la tilapia posee una mejor capacidad para tolerar dietas ricas en carbohidratos (34 %) que dietas ricas en lípidos (17 %) según el rendimiento del crecimiento y el mantenimiento de la homeostasis de la glucosa.

2.7 Uso de subproductos de mango en dietas para *O. niloticus*

En los últimos años los subproductos de mango de diferentes variedades han sido evaluados como sustitutos de diversas harinas en la formulación de dietas para la industria acuícola. Por ejemplo, Melo *et al.* (2012) evaluaron el efecto de la sustitución dietética de harina de maíz por harina de mango (pulpa y cáscara) sobre el rendimiento de alevines de tilapia del Nilo. Para ello se formularon 4 dietas con diferentes concentraciones de harina de mango (0, 33, 66 y 100 %) y 32% de proteína cuya reducción de harina de maíz fue de 100 – 0%. El período de alimentación fue de 45 días y se utilizaron 360 alevines con peso promedio inicial de $2.08 \pm 0.13\text{g}$. Los resultados mostraron que la ganancia de peso individual, la tasa de crecimiento específica, el consumo aparente de alimento, la conversión alimenticia aparente y la supervivencia no se vieron afectados por la sustitución de 33 % (10 g) y 66 % (20 g) con pulpa y cáscara de mango respectivamente. Por otro lado, El-Houseiny *et al.* (2017) llevaron a cabo un estudio para evaluar el efecto de la suplementación dietética de alimentos elaborados a partir con harina de grano de mango (*M. indica* L.) (MKM; 50 g/Kg) y extracto de avena (*Avena sativa*) (OE; 50 g/Kg) y una dieta Control sobre el

crecimiento y parámetros bioquímicos. Los peces alimentados con OE tuvieron valores más altos de peso corporal final y ganancia de peso corporal. En conclusión, MKM y OE mejoraron el rendimiento del crecimiento y los componentes de la sangre de *O. niloticus*.

Así mismo, Souza *et al.* (2020) llevaron a cabo una investigación donde el objetivo fue evaluar la harina de pulpa de mango en dietas para juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*). Se evaluó el rendimiento del crecimiento, análisis bioquímicos y actividad de las enzimas digestivas para 300 peces juveniles (peso promedio 27 ± 0.2 g), alimentados durante 45 días con dietas que contenían 0 % harina de pulpa de mango (Control), 40, 80, 120 y 160 g/kg de pulpa de mango sustituyendo la harina de trigo. Se concluyó que esta inclusión no altera los parámetros hematológicos de los organismos como las concentraciones plasmáticas de albúmina, proteínas totales y colesterol indicando que la tilapia metaboliza de manera efectiva la pulpa de mango.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la acuicultura el costo de la alimentación equivale al 70 % de los gastos de operación y esto se debe principalmente al uso de harina de pescado (Soza-Chí *et al.*, 2020). De ahí la necesidad de buscar alternativas vegetales que cumplan requerimientos nutricionales sin afectar el crecimiento de los organismos y aumentar la rentabilidad de los cultivos (Wright, 2014). Uno de los cultivos más rentables en México son los cultivos de tilapia, para el año 2021 su producción en México alcanzó las 45 mil toneladas y para el caso de Sinaloa las 7 mil toneladas para este mismo año, lo que pone en evidencia su importancia económica y comercial (CONAPESCA, 2021). Por otro lado, el mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo ocupa un papel importante en producción y comercialización a nivel nacional, produciendo para el año 2021 más de 600 000 ton (SADER, 2022). Investigaciones indican que es una fuente importante de carbohidratos, fructosa, sacarosa, glucosa, lípidos y compuestos bioactivos (Wall-Medrano *et al.*, 2015). Sin embargo, durante el proceso de industrialización el 32 % del fruto se convierte en un residuo agroindustrial, además, en los huertos se puede llegar a mermar entre un 10-15% de la producción por daños estéticos en la fruta (Olivas-Aguirre, 2014).

Dada la capacidad que posee la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) de metabolizar un alto contenido de carbohidratos en su dieta, estos residuos agroindustriales de mango se pueden utilizar como una fuente de energía reemplazando el papel energético de las proteínas generando un efecto ahorrador (Hemre *et al.*, 2002).

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué efecto tiene la sustitución parcial dietética de harina de pescado con harina de diferentes subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) var. Ataulfo (cáscara, semilla y pulpa) sobre los parámetros de crecimiento e índices biológicos de juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)?

¿Qué efecto tiene la sustitución parcial dietética de harina de pescado con harina de diferentes subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) var. Ataulfo (cáscara, semilla y pulpa) sobre parámetros bioquímicos en sangre de juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)?

5. HIPÓTESIS

La sustitución parcial (10 y 20%) dietética de harina de pescado con subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) var. Ataulfo (cáscara, semilla y pulpa) no afecta parámetros de crecimiento ni índices biológicos de juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)

La sustitución parcial (10 y 20%) dietética de harina de pescado con subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) var. Ataulfo (cáscara, semilla y pulpa) no altera los niveles de glucosa, colesterol, triglicéridos, proteína total, albúmina y globulina de juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general:

Evaluar el efecto de subproductos agroindustriales (cáscara, semilla y pulpa) de mango (*Mangifera indica* L.) var. Ataulfo como sustituto parcial dietético de harina de pescado sobre parámetros de crecimiento, índices biológicos y bioquímica sanguínea de juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

6.2 Objetivos específicos

1-. Desarrollar y caracterizar dietas experimentales isolipídicas e isoenergéticas con sustitución parcial de harina de pescado con subproductos de mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo para juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*).

2-. Evaluar el efecto de la sustitución parcial dietética de harina de pescado por harinas de cáscara, semilla y pulpa de mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo sobre el crecimiento, la utilización del alimento y la composición proximal corporal en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*).

3-. Evaluar el efecto de la sustitución dietética parcial de harina de pescado por harina de subproductos de mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo sobre los niveles de colesterol, triglicéridos, glucosa, proteína total, albúmina, globulina y relación albúmina/globulina en plasma sanguíneo de juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

7. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1 Obtención de materias primas

La recolección de la materia prima se realizó entre mayo-junio del 2022, la cáscara y la semilla se obtuvieron de la empresa deshidratadora “El Chalatal” ubicada en carretera Villa Unión- La Amapa km 8.5, localidad El Llorón, Villa Unión, Mazatlán, México, (Figura 5) logrando recolectar 45 kg de hueso y 32 kg de cáscara.



Figura 5. Residuos agroindustriales de mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo en empresa deshidratadora “El Chalatal” (Benitez-Hernández, 2022).

Se recolectaron 92 kg de mango maduro completo de un huerto ubicado en el Sur de Sinaloa (22°44'20"N 105°43'48"O) y otro ubicado en el Norte de Nayarit (22°29'47"N 105°21'34"O). Estas recolecciones fueron hechas durante el mes de junio del año 2022. Toda la materia prima fue transportada al Laboratorio de Botánica

Acuática de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa ubicado en Colonia Los Pinos CP. 80000 Mazatlán, Sinaloa, México. La cáscara y la semilla se transportaron en hileras con hielo a una temperatura de 4 °C (Figura 6) mientras que el mango completo en taras a temperatura ambiente. Una vez en el laboratorio los lotes se etiquetaron con las claves correspondientes almacenando la cáscara y la semilla en congeladores a -18 °C y el mango completo permaneció en taras a 24 °C hasta su procesamiento (1 semana después).



Figura 6. Transporte de materia prima (cáscara y semilla) al Laboratorio de Botánica Acuática de la Facultad de Ciencias del Mar (Benitez-Hernández, 2022).

7.2 Elaboración de harinas de subproductos de mango

La materia prima (cáscara, semilla y pulpa) fue descongelada a temperatura ambiente. En el caso de la cáscara, con ayuda de una cuchara se eliminó el exceso de pulpa,

posterior a esto se cortó en tiras pequeñas para pasar por un proceso de deshidratado durante un periodo de 5 h a una temperatura de 80 °C (Quintana *et al.*, 2019). Para el procesamiento de la semilla se formaron lotes de 8 kg de semilla y se llevaron a un área al aire libre, en donde se colocaron sobre plástico negro y se expusieron a los rayos del sol entre 6-8 h, esto para poder despegar la semilla del hueso y facilitar su extracción. Posteriormente el hueso fue cortado para la obtención de la semilla e iniciar con el proceso de lavado (Figura 7).



Figura 7. Proceso de lavado de la semilla de mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo (López-Ceseña, 2022).

Finalizado el proceso de lavado, la semilla se picó en cubos pequeños para su deshidratación a 55 °C durante un periodo de 12 h continuas (Agudelo y Gnecco, 1993).

La pulpa fue rebanada en láminas delgadas para poder pasar al proceso de deshidratado por un periodo de 12 h a una temperatura de 60 °C (Souza *et al.*, 2020). Toda la materia prima se deshidrató en un horno (SEMILLAS DE VIDA SS 06A) con capacidad de 1.8 kg (Figura 8).



Figura 8. Deshidratado de semilla de mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo en horno (López-Ceseña, 2022).

Una vez deshidratada la materia prima esta se pasó por un proceso de molienda con ayuda de un molino de cocina (SEMILLAS DE VIDA SS M700), posteriormente se tamizó a 250 μm para obtener así la harina fina y eliminar residuos. Las harinas se guardaron en contenedores plásticos con capacidad de 800 g previamente etiquetados y se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de 4°C hasta su utilización.

7.3 Análisis químicos proximales

Se realizaron análisis de composición química proximal (Figura 9) para determinar: humedad, cenizas, proteínas, lípidos totales y extracto libre de nitrógeno (ELN). Primero se analizaron los ingredientes, después las dietas experimentales y finalmente los peces completos.

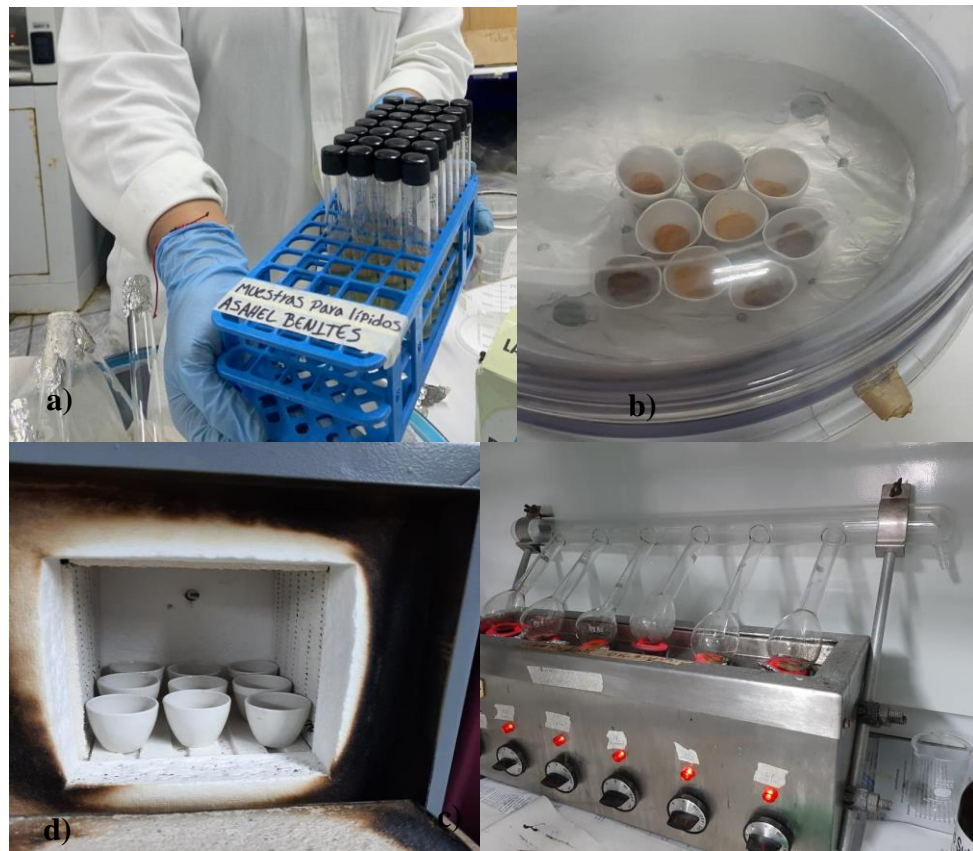


Figura 9. a) Muestras procesadas para determinación de lípidos totales con método Folch *et al.* (1957); b) Muestras de análisis de humedad; c) Proceso de digestión para determinación de proteína total para el método microKjeldahl ($N. \times 6.5$; AOAC 954.01); d) Análisis de cenizas (método AOAC 32.1.05) (López-Ceseña, 2022).

La determinación de humedad se realizó en un horno de secado a 105° durante un periodo de 18 h (método AOAC 4.1.06). La determinación de cenizas se llevó a cabo utilizando una mufla a 550 °C durante un periodo de 8 h. (método AOAC 32.1.05). La determinación de proteína cruda se realizó con el método de microKjeldahl (N. x 6.5; AOAC 954.01). Los lípidos totales se determinaron por el método de Folch *et al.* (1957). El ELN se calculó mediante la siguiente fórmula matemática (Hossain y Alam, 2015):

$$ELN = 100 - (Cenizas + Proteína cruda + Lípidos)$$

7.4 Elaboración de dietas experimentales

En base a los resultados químicos proximales de los ingredientes experimentales (Tabla V) se formularon 6 dietas experimentales isolipídicas (7%) e isoenergéticas (18 Kj/kg) con sustitución de harina de pescado por las harinas de los subproductos de mango: cáscara 10 % (C10), cáscara 20 % (C20), semilla 10 % (S10), semilla 20 % (S20), pulpa 10 % (P10) y pulpa 20 % (P20); así como una dieta Control (0 % harina de subproductos, CT). Con ayuda de una báscula (± 0.1) y un recipiente se pesaron todos los ingredientes para después homogeneizarlos con el uso de una batidora (Figura 10).

Primero se agregaron los macroingredientes (harina de pescado, pasta de soya, harina de mango, harina de trigo, harina de maíz, gluten y almidón de maíz) estos se mezclaron por 10 minutos hasta observar una mezcla homogénea.

Tabla V. Análisis de composición química proximal (% base seca) de ingredientes utilizados para el diseño de las dietas experimentales.

Parámetros proximales	Ingredientes						
	HPS	HP	HCM	HSM	HPM	HT	GM
Humedad	9.8	7.4	6.3	10.4	15.7	13.1	10.9
Materia seca	90.2	92.6	93.7	89.6	84.3	86.9	89.1
Proteína cruda	51.5	70.2	4.2	7.3	5.3	11.7	68.2
Lípidos totales	-	7.9	2.2	1.0	3.6	3.4	6.6
Cenizas	-	12.7	3.5	0.6	2.6	0.6	2.0
ELN	38.5	1.6	83.6	80.5	72.7	71.1	12.2
Energía (Kcal/g)	452.2	476.3	387.7	381.8	362.8	390.9	490.8

HPS= Harina de pasta de soya; HP= Harina de pescado; HCM= Harina de cáscara de mango; HSM= Harina de semilla de mango; HPM= Harina de pulpa de mango; HT= Harina de trigo; GM= Gluten de Maíz; ELN= Extracto Libre de Nitrógeno (Hossain y Alam, 2015).



Figura 10. Pesado y mezcla de ingredientes para elaborar las dietas experimentales (López-Ceseña, 2022).

Posterior a eso se agregaron los microingredientes (mezcla de vitaminas, mezcla de minerales, vitamina C y alginato), nuevamente se mezcló por 10 minutos para después agregar los ingredientes líquidos (aceite de pescado y cloruro de colina), finalmente se agregaron 500 mL de agua purificada a la mezcla la cuál debe ser agregada de forma paulatina.

La masa homogénea se pasó tres veces a través de un molino de carne con un grosor final de 3.5 mm de diámetro para obtener tiras delgadas (Figura 11a) que fueron cortadas en pequeños trozos con ayuda de una espátula. Para finalizar se procedió a un proceso de secado por 5 h a 60 °C para la obtención de los pellets (Figura 11b), los cuales fueron etiquetados y almacenados a 4 °C hasta su utilización. Cabe mencionar que los pellets fueron triturados para reducir su tamaño con respecto a la boca de los organismos para facilitar su ingesta.



Figura 11. a) Tiras de 1.5 mm obtenidas del molino de carne; b) Pellets en proceso de deshidratación (López-Ceseña, 2022).

Tabla VI. Formulación de dietas experimentales (g/100 g de dieta) utilizando residuos agroindustriales de mango (*M. indica* L.) para juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*).

Dietas experimentales							
Ingredientes	CT	C10	C20	S10	S20	P10	P20
HP	40.90	30.90	20.90	30.90	20.90	30.90	20.90
HPS	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40
Aceite de pescado	0.33	1.20	2.07	0.66	1.00	1.05	1.78
HT	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
HM	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27
HCM	0.00	10.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HSM	0.00	0.00	0.00	10.00	20.00	0.00	0.00
HPM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	20.00
Almidón de maíz	6.00	5.13	4.26	5.67	5.33	5.28	4.55
GM	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lecitina de soya	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vitamina C	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cloruro de colina	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Alginato	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Composición química proximal (% base seca)							
Humedad	6.60	10.90	7.04	10.00	9.10	8.57	10.60
Materia seca	93.40	89.10	92.96	90.00	90.90	91.47	89.40
Proteína cruda	47.30	39.60	34.40	40.60	35.20	41.70	33.40
Lípidos totales	6.99	7.01	7.01	7.03	6.98	7.05	7.03
Cenizas	9.20	8.00	6.90	7.50	6.20	7.80	6.90
ELN	29.10	35.00	45.30	35.40	42.80	35.10	42.20
Energía KJ/Kg	18.9	18.1	18.6	18.4	18.4	18.6	18.0
P/E (mg/KJ)	25.0	21.8	18.4	22.0	19.1	22.3	18.6

HPS= Harina de pasta de soya; HP= Harina de pescado; HCM= Harina de cáscara de mango; HSM= Harina de semilla de mango; HPM= Harina de pulpa de mango; HT= Harina de trigo; GM= Gluten de Maíz; ELN= Extracto Libre de Nitrógeno (Hossain y Alam, 2015); Premix: vitaminas y minerales. CT: Dieta control; C10: Dieta con sustitución al 10 % con harina de cáscara de mango; C20: Dieta con sustitución al 20 % con harina de cáscara de mango; S10: Dieta con sustitución al 10 % con harina de semilla de mango; S20: Dieta con sustitución al 20 % con harina de semilla de mango; P10: Dieta con sustitución al 10 % con harina de pulpa de mango; P20: Dieta con sustitución al 20 % con harina de pulpa de mango; ELN: Extracto Libre de Nitrógeno (Hossain y Alam, 2015).

7.5 Sistema y diseño experimental

El sistema experimental (Figura 12) constó de 21 tinas independientes con una capacidad máxima de 150 L y medidas de 100 cm de largo, 70 cm de ancho y 35 cm de alto.



Figura 12. Sistema experimental en funcionamiento antes de iniciar el bioensayo de alimentación de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) (López-Ceseña, 2022).

En cada una de las tinas se instaló un sistema central automático de drenado de agua por gravedad, esto para asegurar que todas las tinas tuvieran la misma cantidad de agua y evitar el desbordamiento de esta en caso de exceso de agua. Se utilizó agua dulce filtrada a través de un filtro de cartucho de 50 micras. Todas las tinas contaron con un

sistema de aireación compuesto por una piedra aireadora de 7 x 3 x 2 cm y manguera de 3 mm de diámetro, todo conectado a un blower central con distribución homogénea, así mismo cada una de ellas se cubrió con una malla 1 cm de luz sujeta a las orillas de la tina para evitar que los organismos salgan del tanque o agentes externos entren al sistema. Este se instaló 15 días antes de iniciar el bioensayo y 5 días antes se realizaron pruebas para corroborar su correcto funcionamiento. Cada dieta se evaluó por triplicado distribuyendo los tratamientos y replicas al azar para cumplir con el principio estadístico de aleatoriedad.

7.6 Desarrollo del bioensayo

Para realizar la siembra de los organismos en el sistema experimental, un total de 300 juveniles de tilapia (*O. niloticus*) (Figura 13) fueron anestesiados con aceite de clavo (0.2 mL/L) esto para evitar el estrés de los organismos y facilitar su manipulación.



Figura 13. Juvenil de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) seleccionado para el bioensayo

(López-Ceseña, 2022).

Se seleccionaron un total de 210 organismos con peso promedio individual de 2.2 ± 0.5 g (Figura 13) y talla de 4.5 ± 0.5 cm que fueron distribuidos aleatoriamente en 21 tinajas con una $n=10$ por unidad experimental. La alimentación se llevó a cabo considerando el 10 % de la biomasa total de la tina, la cual se distribuyó en tres alimentaciones al día: 9 am, 1 pm y 5 pm (Figura 14a). Semanalmente se pesaron y midieron (longitud total) los organismos (Figura 14b) donde los organismos fueron anestesiados con aceite de clavo (0.2 mL/L), se registró peso (± 0.01 g) y talla (± 0.1 cm) para llevar un registro del crecimiento y ajustar las raciones de alimentación.

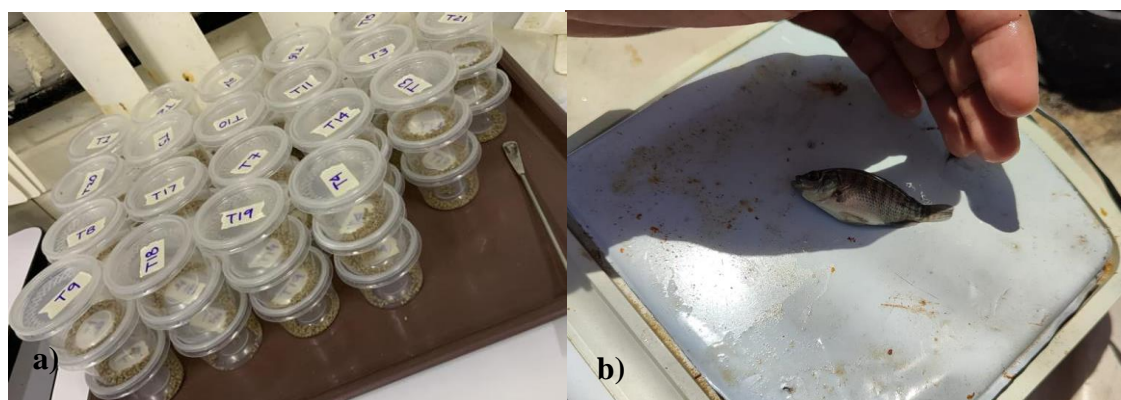


Figura 14. a) Raciones de alimentación listas para ser suministradas. b) Juvenil de tilapia siendo pesado para el registro durante biometría (López-Ceseña, 2022).

Durante el bioensayo se tomaron parámetros fisicoquímicos (temperatura °C y oxígeno disuelto mg/L) 2 veces al día (8 am y 4 pm) con ayuda de un oxímetro (YSI Pro20/Pro20i) para monitorear las condiciones del agua. Todos los días se realizó la limpieza individual de las tinajas a través de un sifoneo, logrando un recambio del 10 %.

Cada 7 días (durante la biometría) se realizó una limpieza adicional de las tinas (Figura 15), en el que se cepillaban las paredes y el fondo, así como la manguera y piedra aireadora, una vez lavadas se llenaban nuevamente con agua filtrada y finalmente se regresaba a los organismos a sus tinas correspondientes.



Figura 15. Limpieza del sistema experimental durante el bioensayo de crecimiento con dietas experimentales para tilapia del Nilo (*O. niloticus*) (López-Ceseña, 2022).

Al finalizar los 60 días del bioensayo se procedió a la recolección de tejidos para los análisis correspondientes, para la extracción de sangre se seleccionaron 4 organismos por tina de forma aleatoria. A través de punción cardiaca se extrajo la sangre e inmediatamente se centrifugo a 4 °C para finalmente separar el plasma y almacenarlo a -20 °C. Para la disección 3 peces por tina se sometieron a eutanasia por shock térmico de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana-062-ZOO-1999, se realizó un corte ventral

con ayuda de un equipo de disección en placa fría y se extrajeron vísceras, hígado y grasa intraperitoneal. Todo se pesó en una báscula (± 0.01 g) y se almacenó a -20 °C.

7.7 Extracción de muestras de sangre

Para la extracción de sangre los organismos se sometieron a un ayuno de 24 h, luego, se seleccionaron de forma aleatoria 4 peces por tina a los cuales se les realizó extracción de sangre a través de punción cardíaca utilizando jeringas de 1 mL con 0.16 mL de solución anticoagulante de ácido etilendiaminatetraacético (EDTA) al 10 % (Bañuelos-Vargas *et al.*, 2014). Las muestras se mantuvieron en oscuridad con papel aluminio y transportados en una hilera a 4 °C de forma inmediata al Laboratorio de Biotecnología Acuícola para su procesamiento. Posteriormente, las muestras de sangre se colocaron en una centrifuga (Centrifugent VI-HIGH) a 12.000 rpm durante 5 minutos a 4 °C. Se realizó la extracción del plasma y se almacenó a -18 °C en un ultracongelador para su análisis posterior de bioquímica del plasma sanguíneo.

7.8 Parámetros zootécnicos e índices biológicos

A partir de los datos recolectados durante el desarrollo del bioensayo se determinaron los siguientes parámetros zootécnicos e índices biológicos:

Ganancia de peso (GP):

$$\text{Ganancia de peso (g)} = \text{Peso promedio final (g)} - \text{Peso promedio inicial (g)}$$

Tasa de crecimiento específica (TCE):

$$TCE = \frac{\ln \text{Peso final (g)} - \ln \text{Peso inicial (g)}}{\text{Número de días}} * 100$$

Supervivencia (%):

$$S (\%) = \frac{\text{Número final de organismos}}{\text{Número inicial de organismos}} * 100$$

Factor de conversión alimenticia (FCA):

$$FCA = \frac{\text{Alimento consumido (g)}}{\text{Peso ganado (g)}}$$

Índice de eficiencia proteica (IEP):

$$IEF = \frac{\text{Incremento de peso (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

Factor de condición (FC):

$$FC = \frac{\text{Peso total del cuerpo (g)}}{[\text{Longitud total del cuerpo (cm)}]^3} * 100$$

Índice viscerosomático (IVS):

$$IVS = \frac{\text{Peso de vísceras (g)}}{\text{Peso total del cuerpo (g)}} * 100$$

Índice hepatosomático (IHS):

$$IHS = \frac{\text{Peso hígado (g)}}{\text{Peso total del cuerpo (g)}} * 100$$

Relación de grasa intraperitoneal (RGI):

$$RGI = \frac{\text{Peso húmedo de grasa (g)}}{\text{Peso total del cuerpo (g)}} * 100$$

7.9 Análisis de bioquímica sanguínea

7.9.1 Triglicéridos

La metodología para triglicéridos se basa en la determinación enzimática de la glicerina con el glicerol fosfato enzima oxidasa (GPO) después de la hidrólisis de la lipoproteína lipasa (Fossati *et al.*, 1982). El procedimiento se llevó a cabo siguiendo las indicaciones del Kit comercial (POINTE SCIENTIFIC, USA.) el cual consiste en tomar un 1mL del reactivo y precalentar a 37 °C, añadir 0.010 mL de muestra y agitar suavemente para dejar reposar por 5 min. Posterior a la incubación se realizó la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm, finalmente los valores de absorbancia se transformaron a valores de concentración a partir de la curva de calibración.

7.9.2 Glucosa

La concentración de glucosa se determinó por el método GOD-PAD utilizando un Kit comercial (POINTE SCIENTIFIC, USA.) el cual consiste en tomar 1 mL del reactivo y precalentar a 37 °C, agregar 0.01 mL de muestra al reactivo y se dejar incubar por un

periodo de 10 minutos a 37 °C. Posterior a esto se realizó la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm, finalmente los valores de absorbancia se transformaron a valores de concentración a partir de la curva de calibración.

7.9.3 Albúmina

La concentración de albúmina se realizó mediante colorimetría utilizando un Kit comercial (POINTE SCIENTIFIC, USA.) que tiene como principio el reactivo bromocresol verde (BCG) 0.15 g/L, buffer, pH 4.66 ± 0.1 , surfactante, para llevarlo a cabo se tomó 1 mL de este reactivo para después agregar 0.01 mL de muestra y dejar incubar por 1 minuto a temperatura ambiente. Posterior a esto, se pasaron las celdas por el espectrofotómetro a 630 nm y se leyó la absorbancia, finalmente los valores de absorbancia se transformaron a valores de concentración a partir de la curva de calibración.

7.9.4 Colesterol total

Para la determinación de colesterol total se utilizó un Kit comercial (POINTE SCIENTIFIC, USA.) el cual consiste en utilizar colesterol esterasa y oxidasa en un solo reactivo para obtener quinoneimina de tinte rojo. Para ello se tomó 1 mL del reactivo el cual fue precalentado a 37 °C durante 5 min, se añadió 0.1 mL de muestra para

mezclar e incubar durante 5 min a 37 °C. Posterior a esto, se pasaron las celdas por el espectrofotómetro a 510 nm y se leyó la absorbancia, finalmente los valores de absorbancia se transformaron a valores de concentración a partir de la curva de calibración.

7.9.5 Proteína total

Fue determinada mediante un Kit comercial (POINTE SCIENTIFIC, USA.), para ello se tomó 1 mL del reactivo ya listo para usar y se agregó 0.01 mL de la muestra para después precalentar a 37 °C durante un periodo de 5 min, posterior a esto, se pasaron las celdas por el espectrofotómetro a 405 nm y se leyó la absorbancia, finalmente los valores de absorbancia se transformaron a valores de concentración a partir de la curva de calibración.

7.10 Análisis estadísticos

Los datos en porcentaje se transformaron a arcoseno y se reportan las medias \pm desviación estándar de los valores obtenidos. Se realizó la prueba de Kolmogorov Smirnov para determinar la normalidad de los datos y Kruskal-Wallis para conjuntos de datos no paramétricos, así como la prueba de Levene para evaluar la igualdad de las varianzas para las variables y grupos ($p < 0.05$). Se aplicó un análisis ANOVA de dos vías comparando el tipo de subproducto (cáscara, semilla y pulpa) con el nivel de

inclusión (10% y 20%) para cada una de las variables, específicamente ganancia de peso, tasa de crecimiento específica, supervivencia, factor de conversión alimenticia, factor de condición, índice viscerosomático y hepatosomático, índice de eficiencia proteica y relación de grasa intraperitoneal, glucosa, colesterol, triglicéridos, proteína total, albúmina, globulinas y relación albúmina:globulina. Con base en los resultados obtenidos en el ANOVA de dos vías, a las variables que arrojaron significancia con respecto a uno o a los dos factores, se les aplicó un ANOVA de una vía para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las medias para finalmente aplicar la prueba de Tukey, todo con ayuda del Software SigmaPlot 12.0.

8. RESULTADOS

8.1 Parámetros de crecimiento y zootécnicos

Los análisis ANOVA de dos vías (Tabla VII) indican que tanto los niveles de inclusión (10 y 20 %) como los de tipo de subproducto (cáscara, semilla o pulpa) produjeron un efecto significativo, pero independiente entre sí, sobre la ganancia de peso.

Tabla VII. Parámetros zootécnicos de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentados con dietas experimentales con inclusión de subproductos de mango (*M. indica* L).

Sustitución	Subproducto	GP (g)	TCE(%/día)	S(%)	FCA
0	Control (CT)	22.9 ±5.7 ^{Aa}	3.8 ±0.4 ^{vw}	100 ±0.0	1.2 ±0.1 ^c
	Cáscara (C10)	18.7 ±6.8 ^{Bb}	3.5 ±0.5 ^{wx}	90 ±17	1.5 ±0.1 ^a
10	Semilla (S10)	15.8 ±4.7 ^{Bb}	3.2 ±0.5 ^{xyz}	90 ±0.0	1.4 ±0.1 ^a
	Pulpa (P10)	23.8 ±5.0 ^{Ba}	3.8 ±0.3 ^v	100 ±0.0	1.3 ±0.1 ^b
20	Cáscara (C20)	13.7 ±3.6 ^{Cb}	3.0 ±0.3 ^y	100 ±0.0	1.4 ±0.1 ^a
	Semilla (S20)	13.5 ±3.7 ^{Cb}	3.0 ±0.4 ^{yz}	93±12	1.4 ±0.1 ^a
	Pulpa (P20)	21.5 ±4.6 ^{Ca}	3.7 ±0.3 ^{vw}	100 ±0.0	1.3 ±0.1 ^b
Sustitución		<0.001	0.009	0.289	0.057
Subproducto		<0.001	0.001	0.270	0.017
Sustitución x subproducto		0.216	0.007	0.597	0.252

Los valores son medias ± SD. Diferentes letras mayúsculas en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas con respecto al nivel de sustitución (10 y 20%) diferentes letras minúsculas en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas con respecto al tipo de subproducto (Cáscara, semilla y pulpa); últimas letra del abecedario (v,w,x,y,z) en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas en la interacción de factores: nivel de sustitución x tipo subproducto, cuando (p<0.05). GP: Ganancia de peso; TCE: Tasa de crecimiento específico; %S: Supervivencia; FCA: Factor de conversión alimenticia.

Los organismos que tuvieron menor GP son los de S10 y S20 es decir, los tratamientos con sustitución de harina de pescado por harina de semilla de mango. Por nivel de sustitución las dietas con sustitución de 10% tuvieron un promedio una mayor ganancia de peso ($19.4 \text{ g} \pm 4.0$) que las dietas con sustitución de 20% ($16.2 \text{ g} \pm 4.5$)

Para el caso de la tasa de crecimiento específico (TCE), los análisis ANOVA de dos vías indican que el nivel de sustitución y el tipo de subproducto generaron un efecto significativo en los organismos, así como la interacción entre ambos factores. Los organismos que tuvieron mayor TCE fueron los alimentados con la dieta CT ($3.8 \text{ \%/día} \pm 0.4$), P10 ($3.8 \text{ \%/día} \pm 0.3$) y P20 ($3.7 \text{ \%/día} \pm 0.3$) mientras que los organismos alimentados con las dietas C20 ($3.0 \text{ \%/día} \pm 0.3$) y S20 ($3.0 \text{ \%/día} \pm 0.4$) presentaron los valores más bajos de TCE ($p < 0.05$). Por nivel de sustitución la dieta Control tuvo la mayor TCE ($3.8 \text{ \%/día} \pm 0.4$) seguido de dietas al 10 % ($3.5 \text{ \%/día} \pm 0.3$) y dietas al 20 % ($3.2 \text{ \%/día} \pm 0.4$) y por tipo de subproducto el mayor TCE se obtuvo en dietas de pulpa ($3.7 \text{ \%/día} \pm 0.7$) y el menor en dietas de semilla ($3.1 \text{ \%/día} \pm 0.1$).

En los cultivos acuícolas la supervivencia es fundamental para la rentabilidad, en este caso cuatro de los siete tratamientos presentaron un S (%) de 100% y tres de ellos alrededor del 90%, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$) ni por el nivel de sustitución ni por el tipo de subproducto. El factor de conversión alimenticia (FCA) presentó diferencias significativas en el análisis ANOVA de dos vías ($p < 0.05$) en relación al tipo de subproducto, el tratamiento CT tuvo el factor de conversión alimenticia más bajo con 1.27 ± 0.03 seguido de P20 (1.3 ± 0.1) y P10 (1.3 ± 0.1), que a pesar de que, si se presentaron diferencias entre estos, son

muy cercanos entre sí y siguen siendo rentables para los acuicultores. Los valores más altos de FCA los obtuvieron los tratamientos con harina de cáscara (1.43 ± 0.07).

8.2 Índices biológicos

Se determinaron cuatro índices biológicos (Tabla VIII), el factor de condición (FC) presentó diferencias significativas en el análisis ANOVA de dos vías ($p < 0.05$) en relación al nivel de sustitución, es decir, no afectó que fuera cáscara, semilla o pulpa, sino, la cantidad que se agregó en las dietas.

El tratamiento CT obtuvo el mayor FC que fue de 1.84 ± 0.05 siendo el más bajo el de S10 con 1.64 ± 0.13 ($p < 0.05$). En promedio los tratamientos con sustitución al 10 % y 20 % obtuvieron un FC de 1.8 ± 0.16 y 1.6 ± 0.03 sin presentar diferencias con CT ($p < 0.05$). El índice viscerosomático (IVS) presentó diferencias significativas en el análisis ANOVA de dos vías ($p < 0.05$) con relación al tipo de subproducto, es decir, no afecta si es 10 % o 20%, lo que afecta es si es cáscara, semilla o pulpa. Los organismos que se alimentaron con pulpa presentaron unas vísceras de mayor peso promedio (10.8 ± 0.1) seguido de CT (9.33 ± 1.3), cáscara (8.8 ± 0.5) y semilla (8.1 ± 0.0) sin presentar diferencias entre sí. Para el caso del IHS de acuerdo al ANOVA de dos vías no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), demostrando que los tratamientos experimentales no causan un incremento o decremento del tamaño del hígado. El valor más alto se encontró en los peces alimentados con P10 (2.37 ± 1.39) y el más bajo en los alimentados con CT (1.43 ± 0.23).

Tabla VIII. Índices biológicos de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentadas con dietas experimentales con inclusión de subproductos de mango (*M. indica* L).

Sustitución	Subproducto	FC	IVS	IHS	RGI	IEP
One-Way ANOVA						
0	Control (CT)	1.84 ±0.05 ^A	9.33 ±1.30 ^{ab}	1.43 ±0.23	0.43 ±0.64 ^A	1.7 ±0.1 ^B
	Cáscara (C10)	1.70 ±0.7 ^B	9.23 ±1.29 ^b	2.12 ± 0.44	0.06 ±0.11 ^B	1.8 ±0.1 ^B
10	Semilla (S10)	1.64 ±0.13 ^B	8.13 ±0.82 ^b	1.96 ±0.50	0.10 ±0.13 ^B	1.7 ±0.1 ^B
	Pulpa (P10)	1.69 ±0.18 ^B	10.97 ±0.73 ^a	2.37 ±1.39	0.11 ±0.12 ^B	1.9 ±0.2 ^B
	Cáscara (C20)	1.73 ±0.13 ^{AB}	8.43 ±1.37 ^b	2.16 ±0.43	0.00 ±0.00 ^B	2.0 ±0.1 ^A
20	Semilla (S20)	1.69 ±0.11 ^{AB}	8.12 ±1.83 ^b	1.94 ±0.19	0.06 ±0.02 ^B	2.1 ±0.1 ^A
	Pulpa (P20)	2.00 ±0.37 ^{AB}	10.77 ±2.23 ^a	1.90 ±0.22	0.06 ±0.2 ^B	2.1 ±0.1 ^A
Two-way ANOVA						
Sustitución		0.037	0.499	0.509	0.037	<0.001
Subproducto		0.077	<0.001	0.738	0.512	0.075
Sustitución x subproducto		0.169	0.749	0.595	0.979	0.473

Los valores son medias ± SD. Diferentes letras mayúsculas en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas con respecto al nivel de sustitución (10 y 20%) diferentes letras minúsculas en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas con respecto al tipo de subproducto (Cáscara, semilla y pulpa); últimas letra del abecedario (v,w,x,y,z) en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas en la interacción de factores: nivel de sustitución x tipo subproducto, cuando (p<0.05).FC: Factor de condición; IVS: Índice viscerosomático; IHS: Índice hepatosomático; RGI: Relación de grasa intraperitoneal; IEP: Índice de eficiencia proteica.

Se encontró grasa alrededor de tejidos en algunos organismos, por lo que la relación de grasa intraperitoneal (RGI), presentó diferencias significativas de acuerdo al análisis ANOVA de dos vías (p<0.05) con respecto al nivel de sustitución, lo interesante es que en promedio se encontró mayor grasa en los organismos pertenecientes a la dieta CT (0.43 ±0.64) seguido de las dietas con sustitución al 10 % (0.08 ±0.06) y sustitución al 20 % (0.04 ± 0.03) siendo estos últimos estadísticamente iguales pero diferentes al

control ($p < 0.05$). Finalmente, para el caso del índice de eficiencia proteica (IEP) los análisis ANOVA de dos vías indican que el nivel de sustitución generó un efecto significativo en los peces, los tratamientos con sustitución del 20 % tuvieron un IEP promedio de 2.0 ± 0.05 seguido de los de 10 % con 1.8 ± 0.1 y finalmente el Control con 1.7 ± 0.1 ($p < 0.05$).

8.3 Análisis químico proximal de peces

La Tabla IX muestra los resultados obtenidos referentes a la composición química proximal (% base húmeda) de los organismos utilizados para el bioensayo, en el caso de humedad y materia seca, el análisis ANOVA de dos vías indicó que ninguno de los dos factores (sustitución y tipo de subproducto) afectó su porcentaje en los organismos. El análisis ANOVA de dos vías mostró que, para el caso de las proteínas, solo genera un efecto la interacción entre ambos factores (sustitución x subproducto). El porcentaje de proteínas presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre C10 ($15 \% \pm 1.0$), P10 ($16 \% \pm 1.1$) y S20 ($16 \% \pm 1.9$), siendo C10 el porcentaje más bajo y P10 el porcentaje más alto, sin embargo, no hay diferencias entre P10 y P20 y el resto de los tratamientos incluido el CT.

Para el caso de lípidos se obtuvieron resultados sumamente interesantes, ya que CT obtuvo el porcentaje de lípidos más bajo ($2 \% \pm 0.4$) siendo estadísticamente diferente a todos los demás tratamientos quienes obtuvieron los valores más altos.

Tabla IX. Análisis químicos proximales (% base húmeda) de pez entero de juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentadas con dietas experimentales con inclusión de subproductos de mango (*M. indica* L).

Sustitución	Subproducto	Humedad	Materia Seca	Proteína Total	Lípidos Crudos	Ceniza	ELN
One-way Anova							
0	Control (CT)	73 ±1.4	26 ±1.4	15.1 ±3.1 ^{yz}	2.1±0.4 ^b	5.3±1.0 ^y	2.1±3.5 ^y
	Cáscara (C10)	74 ±2.2	26 ±2.3	15.2±1.0 ^z	3.0±0.5 ^a	4.1±1.4 ^{yz}	2.1±2.0 ^{yz}
	Semilla (S10)	74 ±2.2	26 ±2.3	16.1±2.8 ^{yz}	3.1 ±0.6 ^a	4.2±3.0 ^{yz}	2.2±5.0 ^{yz}
10	Pulpa (P10)	75 ±1.2	25 ±1.2	16.3±1.1 ^y	3.0±0.6 ^a	4.2±0.7 ^{yz}	1.3±1.8 ^z
	Cáscara (C20)	74 ±2.1	26 ±2.1	16.1±2.3 ^{yz}	3.0±1.3 ^a	4.0±1.0 ^{yz}	1.3±2.6 ^{yz}
	Semilla (S20)	74 ±2.0	26 ± 2.0	16.2±1.9 ^y	3.1±0.7 ^a	4.2±0.5 ^z	2.1±1.8 ^{yz}
20	Pulpa (P20)	73 ± 1.4	27± 1.4	16.3±1.1 ^{yz}	3.1±1.0 ^a	5.0±1.7 ^{yz}	2.2±2.0 ^{yz}
	Two-Way Anova						
Sustitución		0.447	0.221	0.204	0.888	0.624	0.589
Subproducto		0.311	0.245	0.118	0.859	0.167	0.210
Sustitución x subproducto		0.435	0.411	0.004	0.391	0.021	0.013

Los valores son medias ± SD. Diferentes letras mayúsculas en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas con respecto al nivel de sustitución (10 y 20%) diferentes letras minúsculas en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas con respecto al tipo de subproducto (Cáscara, semilla y pulpa); últimas letra del abecedario (v,w,x,y,z) en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas en la interacción de factores: nivel de sustitución x tipo subproducto, cuando (p<0.05). ELN = Extracto Libre de Nitrógeno = 100 - (% de proteína cruda + % lípidos totales + % ceniza + % humedad) (Hossain y Alam, 2015)

Para el caso de las cenizas el análisis ANOVA de dos vías indicó que el nivel de sustitución y el tipo de subproducto no generan un efecto en los organismos, pero si la interacción entre ambos factores (p<0.05). Se encontró un mayor porcentaje de cenizas en los peces de CT (5 % ±1.0) siendo estadísticamente diferente a los peces de S20 que fueron los que contenían un menor porcentaje con 4 % ±0.5, los demás tratamientos no presentaron diferencias con respecto a estos.

Finalmente, para el caso del Extracto Libre de Nitrógeno el análisis ANOVA de dos vías indicó que la interacción entre nivel de sustitución y subproducto generó un efecto en los organismos, la mayor diferencia se encontró entre CT y P10, donde CT alcanzó un porcentaje de ELN de $2\% \pm 3.5$ y P10 un porcentaje de $1\% \pm 1.8$, el resto de tratamientos no presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) con respecto a ambos tratamientos, es decir, C10, S10, C20, S20 y P20 son iguales a CT y P10.

8.4 Análisis de bioquímica sanguínea

La Tabla X muestra los resultados correspondientes a los análisis de bioquímica sanguínea de los peces alimentados con las dietas experimentales. El análisis ANOVA de dos vías indicó que para los niveles de glucosa en sangre tanto el nivel de sustitución como el tipo de subproducto generaron un efecto. Con respecto al nivel de sustitución no hubo diferencias significativas entre los valores promedio del tratamiento Control ($50.5 \text{ mg/dL} \pm 10.7$) y los de sustitución al 10 % ($51.8 \text{ mg/dL} \pm 2.27$) sin embargo, ambos fueron diferentes a los tratamientos de sustitución al 20 % ($44.8 \text{ mg/dL} \pm 9.0$). Para el tipo de subproducto no se presentaron diferencias entre el tratamiento Control ($50.5 \text{ mg/dL} \pm 10.7$) y los de pulpa ($54.1 \text{ mg/dL} \pm 1.0$), sin embargo, ambos son estadísticamente diferentes a los de cáscara ($45.2 \text{ mg/dL} \pm 10.7$) y semilla ($45.5 \text{ mg/dL} \pm 5.1$) y estos dos últimos iguales entre sí. Para el caso de triglicéridos (TGL) el análisis ANOVA de dos vías indicó que el tipo de subproducto (cáscara, semilla o pulpa) generó un efecto significativo en los organismos ($p < 0.05$).

Tabla X. Bioquímica sanguínea de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentadas con dietas experimentales con sustitución de harina de pescado por harinas de subproductos de mango (*M. indica* L.).

Sustitución	Subproducto	GLU (mg/dL)	TGL (mg/dL)	COL (mg/dL)	PT (g/dL)	AL (g/dL)	GLB (g/dL)	AL:GLB
One-Way ANOVA								
0	Control (CT)	50.5 ± 10.7 ^{Aa}	108.4 ± 31.9 ^a	122.5 ± 14.0 ^{Aa}	3.84 ± 0.61 ^B	3.05 ± 0.37 ^{ab}	0.78 ± 0.49 ^x	5.46 ± 3.48 ^x
	Cáscara (C10)	52.8 ± 15.0 ^{Ab}	61.3 ± 30.5 ^b	98.5 ± 11.3 ^{Bb}	4.70 ± 0.82 ^A	2.89 ± 0.29 ^b	1.80 ± 0.69 ^w	1.94 ± 1.10 ^z
10	Semilla (S10)	49.2 ± 12.7 ^{Ab}	42.9 ± 16.1 ^b	112.4 ± 19.0 ^{Bb}	4.69 ± 1.19 ^A	2.78 ± 0.18 ^b	1.03 ± 0.65 ^{xy}	4.03 ± 2.85 ^y
	Pulpa (P10)	53.4 ± 11.2 ^{Aa}	96.1 ± 45.3 ^a	127.7 ± 19.0 ^{Ba}	4.76 ± 0.96 ^A	3.24 ± 0.43 ^a	1.90 ± 1.23 ^w	1.96 ± 1.15 ^z
	Cáscara (C20)	37.6 ± 13.1 ^{Bb}	46.6 ± 22.8 ^b	119.7 ± 15.9 ^{Ab}	3.61 ± 0.74 ^B	2.78 ± 0.23 ^b	1.16 ± 0.52 ^{yz}	3.86 ± 4.27 ^y
20	Semilla (S20)	41.9 ± 13.8 ^{Bb}	56.4 ± 27.5 ^b	129.8 ± 22.7 ^{Ab}	3.99 ± 0.51 ^B	2.83 ± 0.38 ^b	1.90 ± 0.60 ^w	1.90 ± 0.89 ^z
	Pulpa (P20)	54.9 ± 14.6 ^{Ba}	96.7 ± 46.0 ^a	126.1 ± 29.2 ^{Aa}	4.20 ± 1.26 ^B	3.18 ± 0.62 ^a	1.12 ± 0.82 ^{yz}	5.2 ± 4.93 ^x
Two-Way ANOVA								
Sustitución		0.031	0.978	0.012	<0.001	0.632	0.348	0.176
Subproducto		0.040	<0.001	0.012	0.487	<0.001	0.984	0.707
Sustitución x subproducto		0.110	0.342	0.123	0.614	0.776	0.002	0.015

Los valores son medias ± SD. Diferentes letras mayúsculas en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas con respecto al nivel de sustitución, diferentes letras minúsculas en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas con respecto al tipo de subproducto, últimas letra (v,w,x,y,z) en superíndice en la misma columna indican diferencias significativas en la interacción sustitución x subproducto (p<0.05). TGL: Triglicéridos; COL: Colesterol; PT: Proteína total; AL: Albúmina; GLU: Glucosa; GLB: Globulina; AL:GLB: Relación albúmina-globulina.

Los valores promedio de TGL más altos los obtuvieron el tratamiento control (108.4 mg/dL \pm 31.9) y los de pulpa (96.4 mg/dL \pm 0.4) siendo estadísticamente iguales pero diferentes de los tratamientos de cáscara (53.95 mg/dL \pm 10.3) y semilla (49.65 mg/dL \pm 9.5) quienes obtuvieron los valores más bajos.

Con respecto al colesterol (COL) el análisis ANOVA de dos vías indicó que tanto el nivel de sustitución (10 % o 20 %) como el tipo de subproducto (cáscara, semilla o pulpa) generó un efecto en los organismos más no la interacción entre ambos factores ($p < 0.05$). Por nivel de sustitución los peces de los tratamientos de 20 % obtuvieron el valor promedio más elevado de COL (125.2 mg/dL \pm 5.1) seguido del tratamiento control (122.5 mg/dL \pm 14) no existiendo diferencias significativas entre ellos ($p < 0.05$), sin embargo, si hubo diferencias con los tratamientos de 10 % quienes presentaron el valor promedio más bajo (112.8 mg/dL \pm 14.6). Referente al tipo de subproducto el valor promedio más alto fue de los tratamientos de pulpa (126.9 mg/dL \pm 1.1) seguido del tratamiento control (122.5 mg/dL \pm 14) siendo estadísticamente iguales ($p < 0.05$) pero diferentes de los tratamientos de semilla (121.1 mg/dL \pm 12.3) y cáscara (109.1 mg/dL \pm 14.9) con los valores más bajos.

En los niveles proteína total (PT) se generó un efecto por el nivel de sustitución (10 % o 20 %) de acuerdo a los resultados del análisis ANOVA de dos vías ($p < 0.05$) en el nivel de sustitución, es decir, no importó el subproducto utilizado sino la cantidad. Los organismos alimentados con las dietas con sustitución al 10 % obtuvieron el valor promedio más alto (4.71 g/dL \pm 0.03) siendo estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) al

tratamiento control (3.84 g/dL \pm 0.61) y los de sustitución al 20 % (3.93 g/dL \pm 0.29) quienes obtuvieron los valores promedio más bajos.

Con respecto a la albúmina el análisis ANOVA de dos vías mostró que el tipo de subproducto generó un efecto significativo ($p < 0.05$) en los organismos independientemente del nivel de sustitución. El tratamiento control no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) con las dietas experimentales, sin embargo, las dietas de pulpa (P10 y P20) obtuvieron el valor promedio más alto (3.21 g/dL \pm 0.04) siendo estadísticamente diferentes a los valores obtenidos en las dietas de cáscara (3.8 g/dL \pm 0.07) y semilla (3.8 g/dL \pm 0.03) quienes mostraron los valores promedios más bajos.

Los resultados también muestran que los peces alimentados con las dietas con sustitución del 20 % tienen una menor cantidad de glucosa en sangre a diferencia de los peces alimentados con las dietas con sustitución del 10 % y la dieta control, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$). Así mismo, el alimento control y los alimentos con harina de pulpa generan mayor cantidad de glucosa en los organismos y sin presentar diferencias significativas entre ellos en comparación con los alimentos de cáscara y semilla con los que si son estadísticamente diferentes.

Para el contenido de globulina en sangre se encontraron diferencias ($p < 0.05$) en la interacción entre ambos factores por lo que cada tratamiento fue independiente, el valor más alto se encontró en los peces alimentados con S20 (1.90 g/dL \pm 0.60) sin presentar diferencias con C10 y P10, para el caso del tratamiento control (CT) presentó el valor

más bajo de globulina en sangre ($0.78 \text{ g/dL} \pm 0.49$) sin embargo, no hay diferencias entre CT y S10. Finalmente para la relación ALB:GBL el CT fue igual a P20 así como S10 y C10 con valores intermedios.

9. DISCUSIÓN

La acuicultura ha implementado, desde hace varios años, el uso de insumos agrícolas como fuente económica de energía en las dietas para diferentes especies de animales de interés acuícola obteniendo resultados positivos (Herath *et al.*, 2016; Han *et al.*, 2021; Cruz-García *et al.*, 2022). El mango y sus subproductos también se han utilizado en alimentos acuícolas siendo objeto de estudio sus efectos impacto sobre el crecimiento y salud de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), pez zebra (*Danio rerio*) y tambaquí (*Colossoma Macropomum*) por mencionar algunos (Souza *et al.*, 2013; El-Houseiny *et al.*, 2017; Lizárraga-Velázquez *et al.*, 2019; Khieokhajokhet, 2020; Niang *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2020; Outama *et al.*, 2022). Nuestra investigación evaluó los efectos del nivel de sustitución del 10 % y 20 % de harina de pescado por harina de subproductos de mango var. Ataulfo sobre el crecimiento y la salud de juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*)

Los peces alimentados con pulpa de mango (10% y 20%) obtuvieron los valores más elevados de ganancia de peso y tasa de crecimiento sin presentar diferencias con el tratamiento control. Este resultado difiere de lo reportado por Souza *et al.* (2020), quienes utilizaron pulpa de mango Tommy hasta en 16% para la alimentación de juveniles de tilapia del Nilo, donde se obtuvo un menor crecimiento en comparación con su dieta Control. La pulpa del mango Tommy presenta un menor porcentaje de proteína (4.5 %) que la pulpa del mango Ataulfo (5.1 %) y una composición diferente de aminoácidos esenciales. El porcentaje de fibra de la pulpa de ambas variedades de mango es muy similar ya que oscila entre 0.85-1.06 g/100 g (Maldonado-Celis *et al.*,

2019), mientras que la composición de azúcares es diferente, por ejemplo, el mango Ataulfo presenta mayor cantidad de carbohidratos simples como la fructosa (6.18 g/100 g) lo que facilita su metabolismo y aprovechamiento para la obtención de energía (Berto *et al.*, 2015; Palpandial *et al.*, 2019). Las dietas de Souza *et al.*, (2020) se formularon de forma isoproteica incluyendo la dieta Control (26%), nuestro control se formuló a 47% de proteína, disminuyendo hasta 33%, y aun así logramos igualar el crecimiento de la dieta Control debido a la alta capacidad de la tilapia del Nilo de metabolizar y aprovechar de manera eficiente los carbohidratos presentes en el mango Ataulfo, cuyas características nutricionales son distintas al mango Tommy utilizado por Souza *et al.*, (2020). Otras investigaciones con tilapia del Nilo como Lima *et al.* (2011) y Melo *et al.* (2012) reportan que la adición de harina de pulpa de mango no afecta el crecimiento de juveniles de tilapia.

Un punto a destacar es que las dietas que obtuvieron mayor ganancia de peso también reportaron los mejores valores de FCA, este relaciona la cantidad de alimento consumido y el peso ganado de los animales, donde a menores valores de FCA, mejor será la rentabilidad debido a un uso más eficiente del alimento y, por lo tanto, menor costo de producción (Guillaume *et al.*, 2003; Zafra-Trelles *et al.*, 2019). El FCA ideal es de 1:1 es decir, por cada gramo que el organismo consume, gana 1 g de peso (Hernández-Lozano y Fajardo-Delgado, 2019). En esta investigación, los valores de FCA fueron significativamente influenciados por el tipo de subproducto de mango. Los organismos alimentados con pulpa presentaron los valores más bajos de FCA (promedio de 1.3) muy similares al de la dieta Control (1.2) lo cual es sumamente

bueno, ya que, los peces alimentados con pulpa fueron los que más peso ganaron y aprovecharon de una manera más eficiente el alimento generando un ahorro en los costos de alimentación a diferencia de los demás tratamientos (cáscara y semilla), cuyos valores de FCA fueron más altos debido a la naturaleza de sus compuestos, principalmente fibra y almidón, siendo este último muy complejo de metabolizar y en el caso de la fibra no aporta ningún contenido energético ni nutricional.

Por otra parte, en esta investigación se observó que los peces alimentados con semilla de mango Ataulfo (10 y 20%) tuvieron la menor GP. Los resultados de esta investigación difieren de los reportados por El-Houseiny *et al.* (2017), quienes reportaron que la inclusión de 0.5 % de semilla de mango incrementó la GP en comparación con el tratamiento control sin semilla, sin embargo, la sustitución que ellos realizaron es inferior a la reportada en esta investigación. Con respecto al FCA las dietas con menor ganancia de peso (semilla y cáscara) obtuvieron valores promedio de 1.5 y 1.4 respectivamente, lo que indica que a diferencia del tratamiento de pulpa se necesitó mayor cantidad de alimento sin alcanzar resultados favorables. En general, los valores de FCA obtenidos en este estudio son bajos en comparación con lo reportado por otros autores, por ejemplo, de Niang *et al.* (2016), quienes reportan valores de FCA de 1.51 y 2.51 en organismos alimentados con la inclusión de 9 y 27 % de harina de mango respectivamente. El buen aprovechamiento de nutrientes depende mucho de la naturaleza del subproducto utilizado, por ejemplo, la semilla de mango en su mayoría está compuesta por carbohidratos complejos como el almidón el cual es lento de metabolizar lo que implica un mayor desgaste energético (Watts y Ristow, 2017).

La dieta Control y las de pulpa (10% y 20%) al obtener la mayor ganancia de peso, también obtuvieron los mayores valores de TCE. Estos valores al igual que los de ganancia de peso, también se encuentran por encima de los reportados por Souza *et al.* (2020) en un sistema estándar de cultivo ($1.33 \text{ g} \pm 0.04$) alcanzo casi el doble e incluso los reportados por Outama *et al.* (2022) en un sistema biofloc ($2.42 \text{ g} \pm 0.05$) para la misma especie. La diferencia entre estudios puede deberse a las diferencias en las etapas de desarrollo de los organismos, ya que, los utilizados en este estudio presentaron un peso promedio de $2.5 \text{ g} \pm 0.2$ y se sabe que en las primeras etapas del desarrollo la tasa de crecimiento es muy rápida, en cambio los pesos promedios de los organismos usados en los otros estudios fueron de $26.66 \text{ g} \pm 0.17$ y $14.78 \text{ g} \pm 0.05$ respectivamente.

En especies como bagre (*Clarias gariepinus*) (Adesina *et al.*, 2021) y carpa (*Cyprinus carpio*) (Cheng *et al.*, 2017) alimentados con altos niveles de mango y carbohidratos se ha mostrado disminución en sus valores de TCE, esto probablemente a sus hábitos alimenticios, ya que, muestran preferencia por alimento vivo, específicamente, pequeños peces, crustáceos e insectos. Otros autores que reportan valores similares a los nuestros en tilapia del Nilo alimentados con altos niveles de carbohidratos se encuentran Herath *et al.* (2016) y Ninag *et al.* (2020) utilizando peces de 4.5 g y 0.3 g respectivamente, pesos promedio que se acercan más a los utilizados en esta investigación. Así mismo reportamos valores de TCE similares a los valores estándar para tilapia en cultivo en condiciones normales de cultivo y alimentación (Salazar-Murillo *et al.*, 2023).

La acuicultura juega un papel muy importante para la alimentación del futuro (Anderson *et al.*, 2017) es por ello que la supervivencia de los organismos es un punto clave para el aumento de la producción y la rentabilidad de los cultivos (Wang *et al.*, 2019), una baja supervivencia se refleja en pérdidas económicas para los acuicultores y baja producción de alimento (Dauda *et al.*, 2019). La supervivencia reportada en este estudio coincide con los resultados obtenidos por Souza *et al.* (2013), Niang *et al.* (2020) y Outama *et al.* (2022), quienes reportan valores de supervivencia mayores al 90% en el cultivo de tilapia del Nilo alimentadas con dietas con inclusión de mango. Esto confirma que la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) es una especie con la característica de presentar elevadas tasas de supervivencia bajo diferentes condiciones de cultivo (Fitzsimmons, 2005; Ávila *et al.*, 2017).

Parte de los resultados pueden estar relacionado a que el mango, de manera general, contiene carbohidratos como la fructosa y sacarosa (Zhou *et al.*, 2022), que se digieren y metabolizan de manera más eficiente y rápida mejorando el aprovechamiento de la dieta (Kathane *et al.*, 2017). Por otro lado, altas cantidades de fibra en la dieta (como con el subproducto de cáscara) aumentan el FCA debido a que este compuesto no es digerido por la tilapia de manera nutricional, ni energética, además de que aumenta el movimiento intestinal evitando que otros nutrientes también sean aprovechados (Erfanullah-Jafri, 1995). Asimismo, la calidad de la proteína de la dieta es un factor a considerar en el incremento o disminución de los valores de FCA ya que la mayoría de la proteína se va a la generación de músculo (Montoya-Camacho *et al.*, 2019; Outama *et al.*, 2022), así como el suministro de aminoácidos esenciales, pues su déficit o

ausencia de estos limita el crecimiento de los animales (Rodrigues *et al.*, 2020). En este estudio, los niveles de proteína variaron de 47 % (dieta control) a 33 % (dieta con 20 % de pulpa de mango), sin embargo, los valores más elevados de FCA y menores de crecimiento fue con las dietas con cáscara y semilla de mango, contrario a las dietas con pulpa, lo que sugiere que las dietas con pulpa (menor proteína en dietas) proporcionaron no solo los niveles de energía requeridos por la tilapia del Nilo para crecer, sino que ese subproducto promovió un uso eficiente de la proteína de la dieta permitiendo su reducción hasta un 33% sin alterar su crecimiento y eficiencia alimenticia.

El mango Ataulfo contiene hasta un 35 % más de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante que otras variedades de mango como como Kent y Tommy (Norato *et al.*, 2010). Esto en conjunto con satisfacer los requerimientos proteicos y energéticos los cuales coinciden con Han *et al.* (2021) y Cruz-García *et al.* (2022) de *O. niloticus* contribuyó a que no se viera afectado su crecimiento y diversos parámetros productivos en contraste con otras investigaciones. Además, el uso de polisacáridos no amiláceos (celulosa, hemicelulosa, etc.) puede tener efectos inmunoestimuladores y prebióticos, por ello cada vez se agregan más a los alimentos acuícolas para promover la salud de los organismos y su crecimiento (Maas *et al.*, 2020). Los prebióticos contribuyen a la salud de los peces, ya que, mejoran la microbiota intestinal, lo cual ayuda a una mejor defensa contra los organismos patógenos que pudieran llegar a causar infecciones en el pez (Guerreiro *et al.*, 2018).

El factor de condición (FC) relaciona la talla del organismo (cm) con su peso (g) y denota en una primera instancia aspectos relacionados con su salud (Guillaume *et al.*, 2003). Un FC igual a 1 o menor para tilapia del Nilo (*O. niloticus*) podría ser un indicador de desnutrición (Paredes-Trujillo *et al.*, 2021), mientras que valores de FC mayor a 3 para esta misma especie, podría representar una acumulación de grasa en los tejidos (Zhu *et al.*, 2021). En ambientes naturales se ha registrado un factor de condición promedio de 2.0 en juveniles de tilapia (Agumassie, 2018) y en condiciones de cultivo se han registrado diversos valores que oscilan desde 1.5 a 3.2 (Nehemia *et al.*, 2012; Redondo *et al.*, 2023). Para el caso de este estudio, el valor promedio más alto (2 ± 0.37) de FC lo obtuvieron los peces alimentados con pulpa al 20%, aunque estos valores no resultaron significativos en comparación con los obtenidos en los peces alimentados con la dieta control (FCA promedio de 1.84 ± 0.5), esto es bueno, ya que, con base en lo antes mencionado, los organismos utilizados para este estudio no se encontraban en un estado de desnutrición ni con acumulación de grasa en sus tejidos, esto se confirma con los valores del IVS, ya que, los organismos alimentados con pulpa no presentaron un aumento de tamaño y peso significativo en sus vísceras con respecto al Control, sin embargo, si presentaron la mayor ganancia de peso, esto, indica que los organismos ganaron músculo y no grasa durante el periodo del bioensayo. Esto se observa claramente en la RGI ya que en la dieta Control presentó valores más altos que fueron significativamente diferentes a las dietas experimentales, de igual manera, el IEP fue mayor en las dietas de pulpa, lo cual muestra que se utilizaron de una manera más eficiente la proteína en ambos tratamientos (10% y 20%).

Los valores obtenidos de FC coinciden con los reportados por Herath *et al.* (2016), Alofa *et al.* (2020) y Han *et al.* (2021) para tilapia. Así mismo, coinciden con los presentados en un estudio llevado a cabo por Telles *et al.* (2019) quienes investigaron el FC de tilapias bajo diferentes condiciones y áreas de cultivo, reportando valores de FC entre 1.7 y 2.1. Por el contrario, los estudios de Zhu *et al.* (2021) reportaron resultados de FC más altos en sus tilapias, donde además se observó mayor acumulación de grasa en sus tejidos. Se reporta que a una inclusión mayor del 25% de carbohidratos en la dieta, se suprime la expresión de diversos genes relacionados a la gluconeogénesis y una inclusión entre 35-50% aumenta la expresión de genes relacionados con la lipogénesis (Zhu *et al.*, 2021), estos genes se expresan para transformar azúcares a lípidos que se almacenaran en hígado o serán transformados a triglicéridos (Cheng *et al.*, 2017). También se ha encontrado que una relación mayor a 6.40 entre carbohidratos y lípidos, suprime la transcripción *cd36*, proteína receptora de lipoproteínas de alta densidad (colesterol bueno) (Xie *et al.*, 2017). Con respecto a dicha transformación de azúcares por lípidos, estos últimos se almacenan principalmente en el hígado, lo que promueve un aumento de tamaño, sin embargo, el IHS no presentó diferencias entre los tratamientos, esto nos indica que no hubo azúcares en exceso que se transformaran en grasa y acumularan, por lo que podemos asumir que se aprovecharon directamente para la producción de energía.

Diferentes investigaciones, como las hechas por Herath *et al.* (2016), Xie *et al.* (2017), Han *et al.* (2021) y Zhu *et al.* (2022), reportan una clara tendencia de incremento de índice viscerosomático (IVS) en los peces alimentados con mayor cantidad de

carbohidratos en la dieta. En otros estudios como el de Xie *et al.* (2017) y Zhu *et al.* (2021), se observa que a mayor cantidad de carbohidratos mayor es el índice hepatosomático (IHS). Sin embargo, los resultados de esta investigación difieren completamente de los reportados previamente. Lo anterior puede en parte estar relacionado a que las dietas empleadas en este trabajo mantuvieron valores por debajo de la relación 6.40 entre carbohidratos y lípidos. Los resultados obtenidos de IVS e IHS también coinciden con los reportados por Salazar-Murillo *et al.* (2023) para *O. niloticus* en cultivo alimentadas con dietas comerciales. Por otro lado, Zhu *et al.* (2021) determinaron que, a mayor cantidad de carbohidratos en la dieta, mayor cantidad de lípidos en el cuerpo entero.

En esta investigación no se hicieron los análisis de tejidos por separado, pero se realizó análisis químico proximal de los peces completos. Los resultados indican que, el mayor porcentaje de lípidos se observó en los organismos alimentados con las dietas con subproductos de mango (3%) en comparación con el control (promedio de 2%) lo cual concuerda con los antes mencionado por Zhue *et al.*, (2021), a mayor cantidad de carbohidratos en dieta, mayor cantidad de lípidos en cuerpo entero. Parte de estos resultados de incremento de lípidos en el cuerpo entero de las tilapias puede estar relacionado al proceso de metabolismo de la glucosa derivada de la dieta, el cual consiste en transformar el excedente de glucosa en lípidos a través de la lipogénesis (Chandel, 2021). Así como en esta investigación, Han *et al.* (2021) y Zhu *et al.* (2022), reportaron menor cantidad de lípidos en pez entero de los peces alimentados con dietas control con menor contenido de carbohidratos, aunque en ambos estudios reportan que

sus valores de IVS e IHS aumentaron debido a que se acumuló mucha grasa. Además, los porcentajes de lípidos en el pez entero reportados en nuestra investigación se encuentran dentro de los reportados para esta especie (3-8%) (Izquierdo-Córser *et al.*, 200; Olopade *et al.*, 2016). Los peces son una buena fuente de ácidos grasos tanto omega-3 como omega-6 (Taşbozan y Gökçe, 2017) el hecho de que las tilapias alimentadas con las dietas experimentales tuvieran un mayor porcentaje de lípidos en el cuerpo pudiera ser bueno, sin embargo, faltaría realizar un análisis de perfil de ácidos grasos para determinar si esto podría ser sumamente bueno o no a nivel de salud en el organismos y calidad comercial.

Las cenizas comprenden a la materia inorgánica que incluyen a los macro y micro minerales (Desta *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos están relacionados a las propias características de la harina de pescado, elaborada con peces enteros que incluyen escamas y espinas, por lo que contiene un gran porcentaje de cenizas (Karapanagiotidis *et al.*, 2019), a diferencia de los subproductos del mango (cáscara, semilla y pulpa) que contiene cantidades bajas de ceniza (Wall *et al.*, 2015; Sánchez-Camargo *et al.*, 2019; Gutiérrez *et al.*, 2020). Los resultados de ceniza de este estudio son similares a los reportados por otros autores para tilapia del Nilo (*O. niloticus*) tanto de vida silvestre como en sistemas acuícolas (Kwikiriza *et al.*, 2017; Suwannatrai *et al.*, 2023).

Los resultados reflejan que los juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) metabolizaron de manera más eficiente la pulpa de mango que la cáscara y la semilla, tanto para la obtención de energía como para la producción de tejidos (Hemre *et al.*, 2002; Desta *et al.*, 2019). Esto se debe principalmente a la naturaleza del subproducto (cáscara, semilla

y pulpa) ya que, como se mencionó, la cáscara y semilla tienen altos contenidos de fibra y almidón, compuestos que son más difíciles de metabolizar a nivel energético y de crecimiento (Zhou *et al.*, 2022). Los peces alimentados con dietas de pulpa presentaron porcentajes elevados de proteína, sin diferencias con el Control, esto confirma lo antes mencionado, ya que, recordemos que fueron los organismos con mayor ganancia de peso, TCE y mayor IEP, esto pone en evidencia que la tilapia del Nilo tiene la capacidad de utilizar los carbohidratos de forma eficiente para su uso energético y generar un efecto ahorrador en el uso de las proteínas destinándolas a generación de músculo. Por otro lado, los resultados obtenidos coinciden con los reportados por otros autores como Souza *et al.* (2013) y Kaya *et al.* (2015) cuya composición de proteínas en pez entero de tilapia del Nilo fueron similares aún alimentados con dietas con diferentes niveles de proteína y carbohidratos.

El extracto libre de nitrógeno (ELN) incluye a todo tipo de carbohidrato presente en el organismo completo, principalmente glucógeno almacenado en hígado y músculo (Hardy y Barrows, 2002). En este estudio los peces alimentados con pulpa presentaron el menor porcentaje de ELN, esto vuelve a indicar que los carbohidratos de este subproducto (pulpa de mango) se aprovecharon más eficientemente por los juveniles de tilapia sin afectar su composición proximal corporal (Kamalam y Panserat, 2016). Se conoce que la tilapia puede metabolizar hasta el 70% de los carbohidratos presentes en la dieta, sin embargo, esto está en relación con la calidad y el tipo de carbohidrato (FAO, 2009). La pulpa de mango está compuesta principalmente por fructosa, carbohidrato más simple que el almidón o la fibra (la cual no se metaboliza), al estar

más biodisponible la fructosa, el organismo la puede aprovechar de una manera más eficiente como fuente de energía o transformado a grasa (Faeh *et al.*, 2005) destinando a macromoléculas como proteínas y lípidos a la producción de tejidos que se reflejan a un mayor crecimiento en peso (Kamalam y Panserat, 2017). Lo anterior se deduce a partir de los reportes de Zhu *et al.* (2021), quienes demostraron que el aumento de carbohidratos en la dieta, aumenta la expresión de genes relacionados al metabolismo de glucosa (glucolisis) de tilapia del Nilo (*O. niloticus*).

Por otra parte, es importante, además de medir los parámetros productivos, conocer el estado metabólico de los peces, por lo que algunos de los parámetros más utilizados para conocer los procesos fisiológicos de los animales es la medición de sus variables del plasma sanguíneo (Fazio, 2019). En el presente trabajo se observó que los valores de glucosa en el plasma de la sangre presentaron una disminución significativa en los peces alimentados con cáscara y semilla, ambos al 20 % (promedio de 37.6 mg/dL) respecto de los demás tratamientos, que mostraron valores de 49 a 54 mg/dL de glucosa, sin diferencias significativas entre sí. Lo cual coincide que las dietas con cáscara y semilla al 20 % de inclusión obtuvieron además los menores valores de crecimiento en peso respecto a los demás tratamientos. Los resultados obtenidos de glucosa coinciden con los reportados por Hrubec *et al.* (2000) como intervalos de referencia (30 – 69 mg/dL) para tilapia. La pulpa de mango se compone principalmente por carbohidratos simples (fructosa y sacarosa) a diferencia de la cáscara y semilla que se componen de carbohidratos complejos (fibra y almidón) (Wall *et al.*, 2015). Esto a nivel metabólico es sumamente importante, ya que, el almidón requiere mayor gasto

energético para ser metabolizado y la fibra no aporta energía ni valor nutricional, por lo que es más difícil que estos subproductos (cáscara y semilla) puedan ser aprovechados y esto se reflejó en un bajo crecimiento en peso (Chandel, 2021; Zhou *et al.*, 2022).

Por otra parte, cuando hay un exceso de energía, como los carbohidratos en las dietas, el metabolismo transforma dicha energía o nutrientes en triglicéridos (Grant, 2015), por lo que el incremento de triglicéridos en plasma sanguíneo puede ser un indicador de un incremento de azúcares en la dieta que no están siendo usados como energía lo que puede generar un desequilibrio provocando afectaciones en la salud de los peces provocando hipertrigliceridemia (Seibel *et al.*, 2021). Para el caso de los triglicéridos en sangre de tilapia se han reportado intervalos de referencia (Hrubec *et al.*, 2000) que oscilan entre 80-160 mg/dL, pero puede variar con relación al estadio de la especie y el tipo de alimentación (Burgos-Aceves *et al.*, 2019). En este estudio, los peces alimentados con CT, P10 y P20 fueron los que tuvieron mayor concentración de triglicéridos (entre 96-108 mg/dL) y mayor crecimiento. Valores por debajo de los reportados como intervalos de referencia pudieran indicar desnutrición, daño hepático o imposibilidad de absorción de nutrientes a nivel metabólico (Fazio, 2019).

En cuanto al colesterol total, se han reportado valores de referencia entre 110-290 mg/dL de colesterol total en plasma sanguíneo de tilapia (Hrubec *et al.*, 2000; Awad *et al.*, 2022), por lo que nuestros resultados se encuentran dentro de esos valores reportados, ya que en este trabajo se observaron valores de 98-129 mg/dL. Otros autores han reportado valores de apenas 80-90 mg/dL de colesterol total (Badrey *et al.*,

2019; Kesbiç *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2020), sin reportar daños a la salud de los peces, ya que niveles bajos de colesterol en sangre no se consideran un factor de riesgo, al menos que el valor sea sumamente bajo (Luo *et al.*, 2020). Ya que la principal fuente de colesterol es el alimento, la dieta es fundamental para su control en la sangre, la harina de pescado al ser de origen animal contiene colesterol mientras que el mango al ser un vegetal contiene 0 % (Domínguez-Ávila *et al.*, 2019). En nuestro trabajo hubo una relación significativa del tipo de subproducto con el aumento de colesterol en sangre, siendo mayor con la inclusión de pulpa, pero si que esto se reflejara en una tendencia significativa.

Los valores de proteína total en plasma sanguíneo reportados como intervalos de referencia para tilapias se encuentran entre 2.9 y 5.5 g/dL (Hrubec *et al.*, 2000; Souza *et al.*, 2020). En ese sentido, en nuestro estudio se presentaron valores de 3.8 a 4.9 g/dL, siendo menor en peces alimentados con C20, pero también con CT. No obstante, la información más relevante suele estar relacionado a la composición de proteínas del plasma sanguíneo, las cuales están principalmente representadas por la albúmina y las globulinas (Seibel *et al.*, 2021). La albúmina tiene un papel fundamental en los procesos metabólicos de los peces, contribuye a transportar metabolitos y mantener la presión osmótica (Kovyrshina y Rudneva 2012). Asimismo, niveles bajos de albúmina en sangre pueden representar un daño hepático y procesos de desnutrición, mientras que niveles altos de albúmina pueden indicar un estado de deshidratación (Haris *et al.*, 2023). Estudios previos reportan para tilapia del Nilo valores de albúmina de entre 1.3 y 2.6 g/dL (Hrubec *et al.*, 2000). Por su parte, Souza *et al.* (2020), reportaron niveles

muy bajos de albúmina (0.31 – 0.80 g/dL) cuyo origen representa un daño hepático ya que ahí se sintetiza dicha proteína, aunque no reporta dicho daño. En nuestro estudio, los resultados se encuentran por arriba de esos los valores antes mencionado, sin embargo, autores como Oluwalola *et al.* (2020) reportan valores de 3.25 g/dL sin verse afectada la salud de las tilapias.

Las globulinas son proteínas que se encuentran en el plasma sanguíneo las cuales se sintetizan en el hígado, están relacionadas con la coagulación de la sangre, combate contra patógenos e incluso transportan hormonas sexuales en peces (Bobe *et al.*, 2010; Chernyavskikh *et al.*, 2019) una disminución en su concentración en sangre podría indicar daño hepático, niveles muy bajos podrían indicar anemia en los organismos, de ahí la importancia de medir sus valores en sangre. Para la tilapia se han reportado valores de referencia que van de 1 – 4.2 g/dL (Hrubec *et al.*, 2000), los valores obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de dicho intervalo, por lo que podemos considerar que los organismos poseían un buen estado de salud. La relación albúmina/globulina ayuda a identificar posibles problemas de salud en los peces (Haris *et al.*, 2023), ayudan a identificar si el organismo estaba combatiendo algún tipo de infección o tiene un daño permanente a nivel hepático (Seibel *et al.*, 2021). Para esta investigación los peces alimentados con dietas experimentales no presentaron valores inferiores a uno, lo cual difiere de otros autores como Said y Taha (2022), en base a esto podemos asumir que las tilapias se encontraban en un buen estado de salud a nivel de proteico en sangre.

10. CONCLUSIONES

La sustitución de harina de pescado con harina de pulpa de mango (*M. indica* L.) var. Ataulfo hasta en un 20% no afecta el crecimiento ni altera la bioquímica sanguínea y composición proximal de juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) durante el tiempo. Para el caso de la cáscara y semilla se recomienda realizar nuevas investigaciones por debajo de una sustitución del 10% ya que dicha sustitución no presentó resultados favorables. Consideramos que pulpa de mango Ataulfo representa una alternativa económica y viable de disminución de costos en la elaboración de alimentos para la producción de tilapia del Nilo. Tomando en cuenta que para el año 2022 se produjeron 32 millones de toneladas de mango y que entre el 25-32% del fruto se convierte en un residuo agroindustrial, estamos hablando de más de 9 millones de toneladas que pueden ser transformadas en alimento acuícola. Por otro lado, se requieren estudios más precisos sobre los aportes y/o deficiencias que puede ocasionar esta sustitución e incluso mayores, en términos de composición de ácidos grasos, aminoácidos y a nivel metabólico y antioxidante, así como de las repercusiones del uso de estas dietas a nivel de escala comercial para determinar la viabilidad de esta sustitución a través del tiempo.

11. REFERENCIAS

- Abu, O., Gabriel, U. & Akinrotimi, O. 2010. Performance and survival of hybrid catfish (*Heteroclaris*) fed with whole cassava root meal as a replacement for maize. *AJOL*, 9 (3): 176 -183. DOI: [10.4314/as.v9i3.65752](https://doi.org/10.4314/as.v9i3.65752)
- Adesina, S. & Adesuya, G. 2021. Dietary effect of substituting differently processed MANGO (*Mangifera indica*) seed meal for maize on growth, feed utilization and body composition in *Clarias gariepinus*. *Journal of Agriculture*, 33(3), 39-54.
- Agumassie, T. 2018. Overview of length-weight relationship, condition factor and size at first maturity of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) in different water bodies of Ethiopia: a review. *Greener Journal of Biological Sciences*, 8(3), 021-028. DOI: [10.15580/GJBS.2018.3.060618077](https://doi.org/10.15580/GJBS.2018.3.060618077)
- Alenghat, F., & Davis, A. 2019. Management of blood cholesterol. *Jama*, 321(8), 800-801. DOI: [10.1001/jama.2019.0015](https://doi.org/10.1001/jama.2019.0015)
- Aliansa-Fontana®. 2023. Sitio oficial (Consultado 21 junio 2023: <http://concentradosaliansa.com/productos/tilapia>)
- Alimentos NutriPec®. 2023. Sitio oficial, México (Consultado 21 junio 2023: <https://www.webscomercio.com/pyme-313397103/alimentos-nutripec>)
- Alofa, C., Adite, A., & Abou, Y. 2020. Evaluation of Spirulina (*Spirulina platensis*) wastes and live housefly (*Musca domestica*) larvae as dietary protein sources in

- diets of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) fingerlings. Aquatic Research, 3(1), 24-35. DOI: [10.3153/AR20003](https://doi.org/10.3153/AR20003)
- Alonso, J., Domínguez, H., Garrote, G., González, M., Gullón, B., Moure, A., Santos, V., Vila, C. & Yáñez, R. 2011. Biorefinery processes for the integral valorization of agroindustrial and forestal wastes. CyTA-Journal of Food, 9(4):282-289. DOI: [10.1080/19476337.2011.598949](https://doi.org/10.1080/19476337.2011.598949)
- Anand, G., Kumari, P., Varghese, T., & Dar, S. 2024. Feeding Carbohydrates to Fish: Utilization and Looking Beyond Energy Nutrition. In Coldwater Fisheries and Aquaculture Management, Apple Academic Press, 279-289
- Anderson, J., Asche, F., Garlock, T., & Chu, J. 2017. Aquaculture: Its role in the future of food. In World Agricultural Resources and Food Security: International Food Security, Emerald Publishing Limited, 159-173. DOI: [10.1108/S1574-871520170000017011](https://doi.org/10.1108/S1574-871520170000017011)
- Animal Nutrition. 2023. GrowthFish® Tilapia. Sitio oficial, México (Consultado 21 junio 2023: <https://acuacultura.com.mx/Home/GrowfishTilapia>)
- AOAC. 2002. Association official analytical chemists. Official Methods of Analysis. Gaithersburg, MD, U.S.A. Chapt. 4, 20-27
- Aparicio, B. 2004. Importancia de los lípidos en la reproducción y ontogenia del pez blanco de Pátzcuaro (*Chirostoma estor estor*). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Programa de Estudios de Posgrado.

- Avila, E. J. F., Guerrero, R. M. M., & Serna, F. N. M. (2017). Estrategias para la prevención y control de las enfermedades parasitarias de la tilapia. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 3(2), 25-31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6201370>
- Ayyat, M., Ayyat, A., Abdel-Rahman, M., & Al-Sagheer, A. 2024. Appraisal of leaf protein concentrate derived from sugar beet and carrot as a novel fish meal substitute for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Feed Science and Technology*, 307, 115833. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2023.115833](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115833)
- Azaza, M., Mensi, F., Kammoun, W., Abdelouaheb, A., Brini, B., & Kraiem, M. 2009. Nutritional evaluation of waste date fruit as partial substitute for soybean meal in practical diets of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Nutrition*, 15(3), 262-272. DOI: [10.1111/j.1365-2095.2008.00591.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00591.x)
- Azaza, M., Saidi, S., Dhraief, M., & El-Feki, A. 2020. Growth performance, nutrient digestibility, hematological parameters, and hepatic oxidative stress response in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed carbohydrates of different complexities. *Animals*, 10(10), 1913. DOI: [10.3390/ani10101913](https://doi.org/10.3390/ani10101913)
- Barragán, A., Zanazzi, N., Gorosito, A., Cecchi, F., Prario, M., Imeroni, Julio. y Mallo, J. 2017. Utilización de harinas vegetales para el desarrollo de dietas de pre-engorde y engorde de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. electron. vet.*, 18 (9): 1-15.

- Berto, A., da Silva, A., Visentainer, J., Matsushita, M., & de Souza, N. 2015. Proximate compositions, mineral contents and fatty acid compositions of native Amazonian fruits. *Food Research International*, 77, 441-449. DOI: [10.1016/j.foodres.2015.08.018](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.018)
- Bobe, J., Guiguen, Y., & Fostier, A. 2010. Diversity and biological significance of sex hormone-binding globulin in fish, an evolutionary perspective. *Molecular and cellular endocrinology*, 316(1), 66-78. DOI: [10.1016/j.mce.2009.09.017](https://doi.org/10.1016/j.mce.2009.09.017)
- Bonilla-Lizarazo, R., Quintero-Virguez, M., Gómez-Ramírez, E., Rodríguez-Caicedo, D., & Hurtado-Giraldo, H. 2008. Histología y morfometría de piel del pez *Eremophilus mutisii* (Trychomecteridae, Siluriformes). *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 885-893.
- Boonanuntanasarn, S., Kumkhong, S., Yoohat, K., Plagnes-Juan, E., Burel, C., Marandel, L., & Panserat, S. 2018. Molecular responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates. *Aquaculture*, 482, 117-123. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2017.09.032](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.032)
- Burgos-Aceves, M., Lionetti, L., & Faggio, C. 2019. Multidisciplinary haematology as prognostic device in environmental and xenobiotic stress-induced response in fish. *Science of the total environment*, 670, 1170-1183. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.03.275](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.275)

- Castañer, O., Pintó, X., Subirana, I., Amor, A., Ros, E., Hernández, Á., & Fitó, M. 2020. Remnant cholesterol, not LDL cholesterol, is associated with incident cardiovascular disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 76(23), 2712-2724.
- Castillo, S. & Gatlin, D. 2015. Dietary supplementation of exogenous carbohydrase enzymes in fish nutrition: A review. *Aquaculture*, 435, 286- 292. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2014.10.011](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.011)
- Chandel, N. 2021. Carbohydrate metabolism. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13 (1), 264-270.
- Chavez, P., & Bolivar, R. 2018. *Spirulina platensis* as an alternative protein source for the African catfish *Clarias gariepinus*. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 11(2), 481-494.
- Chaves, R., de Paula, R., Gücker, B., Marriel, I., Teixeira, A., & Boëchat, I. 2015. An alternative fish feed based on earthworm and fruit meals for tilapia and carp postlarvae. *Revista Brasileira de Biociências*, 13(1).
- Cheng, Z., Li, J., Zhang, B., Fang, Z., Sun, J., Bai, D., Sun, J., & Qiao, X. 2017. Verification of protein sparing by feeding carbohydrate to common carp *Cyprinus carpio*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 35(2), 251–257. DOI: [10.1007/s00343-016-5332-6](https://doi.org/10.1007/s00343-016-5332-6)

- Chernyavskikh, S., Borodaeva, Z., Borisovskiy, I., Ostapenko, S., & Galtseva, O. 2019. Blood protein spectrum in representatives of the fish superclass. *EurAsian Journal of BioSciences*, 13(2), 979-981.
- Chotolli, A., da Fonseca, V., Bermejo-Poza, R., Ferraz, I., de Souza, L., Brasil, M., & Ponsano, E. 2023. Dietary Fruit By-Products Improve the Physiological Status of Nile Tilapias (*Oreochromis niloticus*) and the Quality of Their Meat. *Antioxidants*, 12(8), 1607. DOI: [10.3390/antiox12081607](https://doi.org/10.3390/antiox12081607)
- Chou, B. & Shiau, S. 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. *Aquaculture*, 143, 185-195. DOI: [10.1016/0044-8486\(96\)01266-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(96)01266-5)
- CONAPESCA. 2021. Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2021. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Ficha estadística mojarra, 2012-2021. (Consultado 17 mayo 2023, https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2021.pdf).
- Cruz-García, L., Ponce-Palafox, J., Hernández-Hernández, L., Tello-Salgado, I., Hernández-Ocampo, D., & Benítez-Mandujano, M. 2022. Effect of mushroom (*Pleurotus djamor* var. *roseus*) meal as feed supplemented on the hematological responses and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Latin american journal of aquatic research*, 50(1), 13-21. DOI: [10.3856/vol50-issue1-fulltext-2700](https://doi.org/10.3856/vol50-issue1-fulltext-2700)

- Dauda, A., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A., & Akinwale, A. 2019. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4(3), 81-88. DOI: [10.1016/j.aaf.2018.10.002](https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002)
- Del Pilar Sánchez-Camargo, A., Gutiérrez, L., Vargas, S., Martínez-Correa, H., Parada-Alfonso, F., & Narváez-Cuenca, C. 2019. Valorisation of mango peel: Proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. *The Journal of Supercritical Fluids*, 152, 104574. DOI: [10.1016/j.supflu.2019.104574](https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574)
- Desta, D., Zello, G., Alemayehu, F., Estfanos, T., Zatti, K., & Drew, M. 2019. Proximate analysis of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), Fish fillet harvested from farmers pond and Lake Hawassa, Southern Ethiopia. *International Journal for research and development in technology*, 11(1), 94-99.
- Diallo, I., Snoeks, J., Freyhof, J., Geelhand, D. & Hughes, A. 2020. *Oreochromis niloticus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020.
- Ding, X., Zhang, W., Li, S., & Yang, H. 2019. The role of cholesterol metabolism in cancer. *American journal of cancer research*, 9(2), 219.
- DOF. 2003. Declaración general de protección de la denominación de origen Mango Atulfo del Soconusco Chiapas. *Diario Oficial de la Federación* (Consultado 19 mayo 2023):

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=692301&fecha=27/08/2003#gsc.tab=0)

Domínguez-Avila, J., Astiazaran-Garcia, H., Wall-Medrano, A., de la Rosa, L., Alvarez-Parrilla, E., & González-Aguilar, G. 2019. Mango phenolics increase the serum apolipoprotein A1/B ratio in rats fed high cholesterol and sodium cholate diets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1604-1612. DOI: [10.1002/jsfa.9340](https://doi.org/10.1002/jsfa.9340)

Durigan, M., Mattiuz, B. & Durigan, J. 2005. Injúrias mecânicas na qualidade pós-colheita de lima ácida'Tahiti'armazenada sob condição ambiente. *Rev. bras. fruti.*, 27(3), 369-372. DOI: [10.1590/S0100-29452005000300008](https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000300008)

Eccles, D. 1992. FAO species identification sheets for fishery purposes. Field guide to the freshwater fishes of Tanzania. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 145.

El-Houseiny, W., El-Mur, A. & El-Sayed, M. 2017. Evaluation of dietary inclusion of mango Kernel meal oat extract on performance and immunity of *Oreochromis niloticus*. *Zagazig vet. j.*, 45 (1), 118-125. DOI: [10.21608/ZVJZ.2019.28656](https://doi.org/10.21608/ZVJZ.2019.28656)

El-Sayed, A. 2006. *Tilapia Culture*. Oxfordshire, CABI Publishing, 277.

Enes, P., Panserat, S., Kaushik, S. & Oliva-Teles, A. 2006. Rapid metabolic adaptation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles fed different

carbohydrate sources after heat shock stress. *Comp. Biochem. Phys.* 145, 73–81. DOI: [10.1016/j.cbpa.2006.05.002](https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.05.002)

Erfanullah-Jafri, A. 1995. Protein-sparing effect of dietary carbohydrate in diets for fingerling *Labeo rohita*. *Aquaculture*, 136, 331-339. DOI: [10.1016/0044-8486\(95\)00056-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)00056-9)

Faeh, D., Minehira, K., Schwarz, J., Periasamy, R., Park, S., & Tappy, L. 2005. Effect of fructose overfeeding and fish oil administration on hepatic de novo lipogenesis and insulin sensitivity in healthy men. *Diabetes*, 54(7), 1907-1913. DOI: [10.2337/diabetes.54.7.1907](https://doi.org/10.2337/diabetes.54.7.1907)

FAO. 1999. Biología de *Tilapia nilotica*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (Consultado 18 mayo 2023: <http://www.fao.org/docrep/t8655f/t8655f03.htm>).

FAO. 2007. Pesca y Acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Hojas de especies *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). 5 pp. (Consultado 18 mayo 2023: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es).

FAO. 2009. *Oreochromis niloticus*. En Fichas técnicas de especies acuáticas cultivadas. (Consultado 18 mayo 2023: https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletlapia.htm).

- FAO. 2010. Perspectivas de la acuicultura mundial en los próximos decenios: Análisis de los pronósticos para 2030 de la producción acuícola de los principales países. FAO, Circular de pesca: 1001. ISSN.1020-1467
- FAO. 2014. Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture. Agriculture and environmental services discussion. International Bank for Reconstruction and Development/international Development Association or The World Bank. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. ISBN 978-92-52 09185-1.
- FAO. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Contribuir a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. ISBN 978-92-52 09185-1.
- FAO. 2023. Principales frutas tropicales: Análisis del mercado, resultados preliminares 2022. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Consultado 19 mayo 2023: <https://www.fao.org/3/cc3939es/cc3939es.pdf>).
- Fernández, V., Caamal, I. & Caamal, Z. 2020. Comportamiento y competitividad del mango de México en el mercado mundial. Centro de Investigación y Servicio en Economía y Comercio Agropecuario. Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo: 77-89.

- Figueiredo, A., Saravanan, S., Schrama, J., Panserat, S., Kaushik, S. & Geurden, I. 2013. A comparative study of the metabolic response in rainbow trout and Nile tilapia to changes in dietary macronutrient composition. *Br. J. Nutr.*, 109(5), 816–826. DOI: [10.1017/S000711451200205X](https://doi.org/10.1017/S000711451200205X)
- Fitzsimmons, K. 2005. Tilapia culture. *Aquaculture in the 21 Century*. American Fisheries Society, Maryland, 643.
- Folch, J., Lees, G. & Sloane, S. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226, 497-209.
- Furuya, W., Cruz, T., & Gatlin, D. 2023. Amino acid requirements for Nile tilapia: An update. *Animals*, 13(5), 900. DOI: [10.3390/ani13050900](https://doi.org/10.3390/ani13050900)
- Galeana, J., Gómez, G., Hernández, C., Leyva, N., Lizárraga, C. & Zenteno, T. 2021. Use of corn husk meal in the development of a functional diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): fingerlings: Effect on growth, performance, antioxidant status and intestinal microbiota. *Waste and biomass valorization*, 12, 4355-4365. DOI: [10.1007/s12649-020-01314-9](https://doi.org/10.1007/s12649-020-01314-9)
- García, M., García, S., Bello, A., Sayago, G. & Mata, M. 2013. Functional Properties and Dietary Fiber Characterization of Mango Processing By-products (*Mangifera indica* L., cv Ataulfo and Tommy Atkins). *Plant Foods Hum Nutr*, 68(3), 254–258. DOI: [10.1007/s11130-013-0364-y](https://doi.org/10.1007/s11130-013-0364-y)

- Guerreiro, I., Oliva-Teles, A., & Enes, P. (2018). Prebiotics as functional ingredients: focus on Mediterranean fish aquaculture. *Reviews in aquaculture*, 10(4), 800-832. DOI: [10.1111/raq.12201](https://doi.org/10.1111/raq.12201)
- Grant, K. 2015. Fish hematology and associated disorders. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 18(1), 83-103. DOI: [10.1016/j.cvex.2014.09.007](https://doi.org/10.1016/j.cvex.2014.09.007)
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., & Metailler, R. 2003. *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Ediciones Mundial-Prensa.
- Gutiérrez, D., Ramos, Y. & González, J. 2020. Propuesta para el procesamiento industrial de la almendra de la semilla de mango. *Revista Cubana de Ingeniería*, 11 (2), 30-37.
- Gutiérrez, F. & Lasso, C. 2012. *Oreochromis niloticus*. En: *Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y transplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. 1 Ed. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia: VI.
- Han, H., Wang, Z., Wang, J., Wang, T., Li, Y., Guan, D., & Sun, H. 2021. Impact of high dietary cornstarch level on growth, antioxidant response, and immune status in GIFT tilapia *Oreochromis niloticus*. *Scientific Reports*, 11(1), 6678. DOI: [10.1038/s41598-021-86172-8](https://doi.org/10.1038/s41598-021-86172-8)

- Hardy, R., & Barrows, F. 2002. Diet formulation and manufacture. In Fish Nutrition, ed. J. E. Halver and R. W. Hardy, 505–600. San Diego: Academic Press.
- Hemre, G., Mommsen, T. & Krogh, A. 2002. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. *Aquac. Nutr.* 8, 175–194.
DOC: [10.1046/j.1365-2095.2002.00200.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00200.x)
- Herath, S., Haga, Y. & Satoh, S. 2016. Potential use of corn co-products in fishmeal-free diets for juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Fisheries science*, 82, 811-818. DOI: [10.1007/s12562-016-1008-6](https://doi.org/10.1007/s12562-016-1008-6)
- Hernández-Lozano, E., & Fajardo-Delgado, H. 2019. Evaluación de la productividad de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con tres pesos iniciales y tres densidades de siembra en un sistema de recirculación. (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).
- Hossain, U. & Alam, A. 2015. Production of powder fish silage from fish market wastes. *Journal of Agriculture*, 13, 13-25. DOI: [10.3329/SJA.V13I2.26565](https://doi.org/10.3329/SJA.V13I2.26565)
- Houjun, H., Zhen, W., Jiting, W., Tingting, W., Yang, L., Dongyan, G. & Huiwen, S. 2021. Impact of high dietary cornstarch level on growth, antioxidant response, and immune status in GIFT tilapia *Oreochromis niloticus*. *Scientific reports*, 11, 128-159. DOI: [10.1038/s41598-021-86172-8](https://doi.org/10.1038/s41598-021-86172-8)

- Hrubec, T., Cardinale, J., & Smith, S. 2000. Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured tilapia (*Oreochromis hybrid*). *Veterinary clinical pathology*, 29(1), 7-12. DOI: [10.1111/j.1939-165X.2000.tb00389.x](https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2000.tb00389.x)
- Izquierdo-Córser, P., Torres-Ferrari, G., Barboza-de Martínez, Y., Márquez-Salas, E., & Allara-Cagnasso, M. 2000. Análisis proximal, perfil de ácidos grasos, aminoácidos esenciales y contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(2), 187-194.
- Justi, K., Hayashi, C., Visentainer, J., De Souza, N., & Matsushita, M. 2003. The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. *Food chemistry*, 80(4), 489-493. DOI: [10.1016/S0308-8146\(02\)00317-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00317-5)
- Kamalam, B., Medale, F. & Panserat, S. 2017. Utilisation of dietary carbohydrates in farmed fishes: new insights on influencing factors, biological limitations and future strategies. *Aquaculture* 467, 3–27. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2016.02.007](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.007)
- Kamalam, B., & Panserat, S. 2016. Carbohydrates in fish nutrition. *International aquafeed*, 20-23.
- Karapanagiotidis, I., Psfakis, P., Mente, E., Malandrakis, E., & Golomazou, E. 2019. Effect of fishmeal replacement by poultry by-product meal on growth performance, proximate composition, digestive enzyme activity,

- haematological parameters and gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Nutrition*, 25(1), 3-14. DOI: [10.1111/anu.12824](https://doi.org/10.1111/anu.12824)
- Kathane, Y., Sahu, B., Mohanta, K., Nanda, S., Patra, S., & Samantaray, K. 2017. Protein sparing capability of carbohydrate in fringed-lipped carp *Labeo fimbriatus* (Bloch, 1795). *Cellulose*, 256 (248), 239. DOI: [10.21077/ijf.2017.64.special-issue.76271-30](https://doi.org/10.21077/ijf.2017.64.special-issue.76271-30)
- Kaya, G., & Bilgüven, M. 2015. The effects of feeding frequency on growth performance and proximate composition of young Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(1), 11-18.
- Khieokhajonkhet, A. 2020. Mango seed meal as partial replacement in diet for red hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*): Growth performance, feed utilization and economic efficiency. *International Journal of Agricultural Technology*, 16(4), 831-844.
- Kim, H., Moon, J., Kim, H., Lee, S., Cho, M., Choi, K., Kim, S., Mosaddik, A. & Cho, K. 2010. Antioxidant and antiproliferative activities of mango (*Mangifera indica* L.) flesh and peel. *Food Chem*, 121(2), 429-436. DOI: [10.1016/j.foodchem.2009.12.060](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.060)
- Kumkhong, S., Marandel, L., Plagnes-Juan, E., Veron, V., Panserat, S. & Boonanuntanasarn, S. 2020. La alimentación temprana con una dieta hiperglucídica durante la etapa de alevines ejerce efectos positivos a largo plazo sobre el metabolismo de los nutrientes y el rendimiento del crecimiento en

tilapias adultas (*Oreochromis niloticus*). Journal of Nutritional Science, 9,41,

DOI: [10.1017/jns.2020.34](https://doi.org/10.1017/jns.2020.34)

Kwikiriza, G., Barekye, A., Aheisibwe, A., Byakora, E., & Tibihika, P. 2017.

Comparative growth performance and proximate nutrient composition of three

local strains of Nile tilapia (*Oreochromis Niloticus* L.) collected from different

locations in Uganda. Fisheries and Aquaculture Journal, 8(3), 1-5. DOI:

[10.4172/2150-3508.1000226](https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000226)

Lazzari, R., Uczay, J., Rodríguez, R., Pianesso, D., Adorian, T. & Mombach, P. 2015.

Utilização de resíduos de frutas em dietas para piava. Boletim do Instituto de

Pesca, 41 (2), 227-237.

Lauzon, Q., Canillo, S., Tumbokon, B. & Serrano, A. 2019. Effects of high

carbohydrate and benfotiamine on the growth and feed efficiency of juvenile

Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh,

71, 1635.

Leung, L. & Norman, Y. 2012. Influence of dietary carbohydrate level on endocrine

status and hepatic carbohydrate metabolism in the marine fish *Sparus sarba*.

Fish Physiol. Biochem. 38, 543–554. DOI: [10.1007/s10695-011-9534-8](https://doi.org/10.1007/s10695-011-9534-8)

Lima, M., Ludke, M., Porto-Neto, F., Pinto, B., Torres, T., & Souza, E. 2011. Farelo

de resíduo de manga para tilápia do Nilo. Acta Scientiarum. Animal Sciences,

33 (1), 65-71. DOI: [10.4025/actascianimsci.v33i1.10247](https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i1.10247)

- Lizárraga-Velázquez, C., Hernández, C., González-Aguilar, G. & Heredia, J. 2019. Effect of dietary intake of phenolic compounds from mango peel extract on growth, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in zebrafish (*Danio rerio*). Latin american journal of aquatic research, 47(4), 602-611. DOI: [10.3856/vol47-issue4-fulltext-3](https://doi.org/10.3856/vol47-issue4-fulltext-3)
- Llanes, J., & Ramírez, A. 2023. Productive performance of *Clarias gariepinus* young fish fed with spiny lobster by-products. Technical note. Cuban Journal of Agricultural Science, 57.
- Luo, J., Yang, H., & Song, B. 2020. Mechanisms and regulation of cholesterol homeostasis. Nature reviews Molecular cell biology, 21(4), 225-245. DOI: [10.1038/s41580-019-0190-7](https://doi.org/10.1038/s41580-019-0190-7)
- Maas, R., Verdegem, M., Wiegertjes, G., & Schrama, J. 2020. Carbohydrate utilisation by tilapia: a meta-analytical approach. Reviews in Aquaculture, 12(3), 1851-1866. DOI: [10.1111/raq.12413](https://doi.org/10.1111/raq.12413)
- Magbanua, T., & Ragaza, J. 2023. Growth and whole-body proximate composition of *Oreochromis niloticus* Nile tilapia fed pea meal: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7, 1103263. DOI: [10.3389/fsufs.2023.1103263](https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1103263)
- Maldonado-Celis, M., Yahia, E., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., & Guerrero Ospina, J. 2019. Chemical composition of mango (*Mangifera*

indica L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds. *Frontiers in plant science*, 10, 450160. DOI: [10.3389/fpls.2019.01073](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073)

Maldonado-Astudillo, Y., Cantú-Guzmán, Á., Salazar, R., & Jiménez-Hernández, J. 2019. Análisis de perfil de textura de frutos partenocarpicos de mango cv. 'Ataúlfo'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(5), 1175-1181. DOI: [10.29312/remexca.v10i5.1784](https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1784)

Mathews, K., Holde E. & Aher G. 2004. *Bioquímica*. 3 th Edición. Pearson Addison Wesley, España.

Melo, J., Seabra, A., Souza, S., Souza, R., & Figueiredo, R. 2012. Replacement of corn meal by mango in the dietary in performance of fingerlings of Nile-tilapia. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 64 (1), 177-182. DOI: [10.1590/S0102-09352012000100025](https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000100025)

Monge-Ortiz, R., Tomás-Vidal, A., Rodríguez-Barreto, D., Martínez-Llorens, S., Pérez, J., Jover-Cerdá, M., & Lorenzo, A. 2018. Replacement of fish oil with vegetable oil blends in feeds for greater amberjack (*Seriola dumerili*) juveniles: Effect on growth performance, feed efficiency, tissue fatty acid composition and flesh nutritional value. *Aquaculture Nutrition*, 24(1), 605-615. DOI: [10.1111/anu.12595](https://doi.org/10.1111/anu.12595)

Montoya, N., Marquez, E., Castillo, F., Cardenas, J., Lopez, J., Ruiz, S., Jimenez, E., Rivas, M. & Ocaño, V. 2019. Advances in the use of alternative protein sources

for tilapia feeding. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 515-526. DOI: [10.1111/raq.12243](https://doi.org/10.1111/raq.12243)

Mu, H., Wei, C., Zhang, Y., Zhou, H., Pan, Y., Chen, J., & Mai, K. 2020. Impacts of replacement of dietary fish oil by vegetable oils on growth performance, anti-oxidative capacity, and inflammatory response in large yellow croaker *Larimichthys crocea*. *Fish physiology and biochemistry*, 46, 231-245. DOI: [10.1007/s10695-019-00712-8](https://doi.org/10.1007/s10695-019-00712-8)

Nehemia, A., Maganira, J. D., & Rumisha, C. 2012. Length-Weight relationship and condition factor of tilapia species grown in marine and fresh water ponds. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3(3), 117-124. DOI: [10.5251/abjna.2012.3.3.117.124](https://doi.org/10.5251/abjna.2012.3.3.117.124)

Ng, W. & Chong C. 2004. An overview of lipid nutrition with emphasis on alternative lipid sources in tilapia feeds. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 241-248.

Niang, T., Fall, J., Loum, A., Sagne, M., Jatta, S., Ndong, D. & Sheen, S. 2020. Effects of substituting processed mango seed meal for tomato waste meal on the growth performance and body composition of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fry. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 8 (2). DOI: [10.15739/IJAPR.20.004](https://doi.org/10.15739/IJAPR.20.004)

Ning, L., Zhang, H., Chen, X., Zhen, J., Chen, S., Guang, J. & Li, Y. 2023. A comparative study on the tolerance of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to high

- carbohydrate and high lipid diets. *Animal Nutrition*, 13, 160-172. DOI: [10.1016/j.aninu.2023.01.007](https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.01.007)
- Noel, W. 2003. Formulación y elaboración de dietas para peces y crustáceos. Tesis doctoral, Universidad Nacional Jorge Basadre Groghmann. Perú. 106.
- Norato, G., Bertoldi, M., Krenek, K., Talcott, S., Stringheta, P., & Mertens-Talcott, S. 2010. Anticarcinogenic effects of polyphenolics from mango (*Mangifera indica*) varieties. *J Agric Food Chem*, 58(7), 4104–4112. DOI: [10.1021/jf903161g](https://doi.org/10.1021/jf903161g)
- Ogunji, J., Ozibo, J., Osai, A. & Ochang, S. 2016. Response of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) to diets of African yam bean, *Sphenostylis stenocarpa*, subjected to two processing methods. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 31, 74 – 82. DOI: [10.4314/njb.v31i1.10](https://doi.org/10.4314/njb.v31i1.10)
- Olivas, F. 2014. Capacidad antioxidante, antiproliferativa y bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos del mango (*Mangifera indica* L. var. “Ataulfo”): Estudios in vitro. Tesis Profesional. Maestría en Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.
- Oliveira, K., da Conceição, M., de Oliveira, S., Lima, M., de Sousa-Galvão, M., Madruga, M., & de Souza, E. 2020. Postharvest quality improvements in mango cultivar Tommy Atkins by chitosan coating with *Mentha piperita* L. essential oil. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 95(2), 260-272. DOI: [10.1080/14620316.2019.1664338](https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1664338)

- Olopade, O., Taiwo, I., Lamidi, A., & Awonaike, O. 2016. Proximate composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Linnaeus, 1758) and tilapia hybrid (red tilapia) from Oyan Lake, Nigeria. *Food Science and Technology*, 73(1), 0-4. DOI: [10.15835/buasvmcn-fst:11973](https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:11973)
- Ornelas, R., Aguilar, B., Hernández, A., Hinojosa, J. & Godínez, D. 2020. Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5), 19-25. DOI: [10.15174/au.2017.1231](https://doi.org/10.15174/au.2017.1231)
- Outama, P., Xuan, C., Wannavijit, S., Lumsangkul, C., Linh, N., Montha, N., & Van Doan, H. 2022. Modulation of growth, immune response, and immune-antioxidant related gene expression of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under biofloc system using mango peel powder. *Fish & Shellfish Immunology*, 131, 1136-1143. DOI: [10.1016/j.fsi.2022.09.031](https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.09.031)
- Palpandian, P., Shanmugam, H., Rani, E., & Prabu, G. 2019. Determination of fruit quality of calcium carbide induced ripening in mango (*Mangifera indica* L. cv. Alphonso) by physiological, biochemical, bio-enzymatic and elemental composition analysis (EDX). *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 56(3), 205-213. DOI: [10.56042/ijbb.v56i3.27640](https://doi.org/10.56042/ijbb.v56i3.27640)
- Paredes-Trujillo, A., Velazquez-Abunader, I., Papiol, V., del Rio-Rodriguez, R., & Vidal-Martínez, V. 2021. Negative effect of ectoparasite burdens on the condition factor from farmed tilapia *Oreochromis niloticus* in the Yucatan,

Mexico. *Veterinary Parasitology*, 292, 109393. DOI:

[10.1016/j.vetpar.2021.109393](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109393)

Paugy, D., Léveque, C. & Teugels, G. 2004. Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. IRD Editions, Publications Scientifiques du Museum, MARC. Paris.

Pokniak, R. 1997. Nutrición de peces. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile. *TecnoVet*, 3 (2).

Pontes, T., Brito, J., Wernick, B., Urbich, A., Panaczevicz, P., Miranda, J., & Furuya, W. 2021. Top-sprayed phytase enhances the digestibility of energy, protein, amino acids and minerals, and reduces phosphorus output in Nile tilapia fed all-vegetable diets. *Aquaculture Research*, 52(12), 6562-6570. DOI: [10.1111/are.15527](https://doi.org/10.1111/are.15527)

Poot, G., Gasca, E. & Olvera, A. 2012. Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) utilizando hojas de chaya (*Cnidocolus chayamansa McVaugh*) como sustituto parcial del alimento balanceado. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40 (4), 835-846. DOI: [10.3856/vol40-issue4-fulltext-2](https://doi.org/10.3856/vol40-issue4-fulltext-2)

Putra, A., Sofia, F., Syamsunarno, M., Hermawan, D., & Herjayanto, M. 2019. The utilization of vegetable waste silage as feed ingredient in diets for tilapia *Oreochromis niloticus*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 383 (1), IOP Publishing.

- Quintana, E., San Martín, C., Muy, M. & Vargas, M. 2019. Valorización de polvos de pericarpio de mango (*Mangifera indica* L.) como alternativa para la generación de alimentos funcionales. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 22 (1), 1-5.
- Redondo, A., Tovar, C., Rojas, Y., Ditta, C., Hernandez, Y., & Redondo, I. 2023. Relation of length, weight and condition factor of nilotic tilapia in high density crops. Remittances Review, 8(4), 2575-2583. DOI: [10.33182/rr.v8i4.178](https://doi.org/10.33182/rr.v8i4.178)
- Reyes-Trigueros, L., Monroy-Dosta, M. D. C., Torres-Ochoa, E., Cortés-Sánchez, A. D. J., & Espinosa-Chaurand, L. D. (2023). Parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia *Oreochromis niloticus*: revisión. La granja. Revista de Ciencias de la Vida, 38(2), 124-137. DOI: [10.17163/lgr.n38.2023.09](https://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.09)
- Rodrigues, A., Mansano, C., Khan, K., Nascimento, T., Boaratti, A., Sakomura, N., & Fernandes, J. 2020. Ideal profile of essential amino acids for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the finishing growth phase. Aquaculture Research, 51(11), 4724-4735. DOI: [10.1111/are.14819](https://doi.org/10.1111/are.14819)
- SADER. 2022. Mango, un deleite dulce y refrescante. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (Consultado 19 mayo 2023: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mango-un-deleite-dulce-y-refrescante>).
- Sáez-Royuela, M., García, T., Carral, J., & Celada, J. 2022. Fish oil replacement by a blend of vegetable oils in diets for juvenile tench (*Tinca tinca* Linnaeus, 1758):

- Effects on growth performance and whole-body composition. *Animals*, 12(9), 1113. DOI: [10.3390/ani12091113](https://doi.org/10.3390/ani12091113)
- Said, M., & Taha, E. 2022. Biofloc effects on body composition, plasma protein, lipid profile, zooplankton community, and economics of Nile Tilapia fingerlings reared under different stocking densities. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 26(4), 593-611. DOI: [10.21608/ejabf.2022.252927](https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.252927)
- Salazar-Murillo, L., Chacón-Villalobos, A., & Herrera-Muñoz, J. 2023. Growth, efficiency, and composition of Tilapia (*Oreochromis aureus*) fed with red earth worm (*Eisenia fetida*). *International System for Agricultural Science and Technology*.
- Sánchez, W., Murillo, E., & Méndez, J. 2010. Potencial antioxidante de residuos agroindustriales de tres frutas de alto consumo en el Tolima. *Scientia et Technica*, 17(46), 138-143.
- Sargent, J., Henderson, R., & Tocher, D. 1989. The lipids. In: *Fish Nutrition*, 2nd ed. (Halver, J. E., Ed.). New York: Academic Press, 153–218.
- Saval, S. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Bio-Tecnología*, 16(2), 14-16.
- Seibel, H., Baßmann, B., & Rebl, A. 2021. Blood will tell: what hematological analyses can reveal about fish welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 616955.

- Serrat, M., Ussemane, C., Camacho, M., Méndez, A. & Bermúdez, R. 2016. Valorización de residuos agroindustriales ricos en pectinas por fermentación. *Tecnología química*, 36(1), 5-19.
- Silva, A., Melo, J., Souza, A., Melo, F., & Pereira, G. 2022. Different Concentrations of Protein and Fresh Mango as a Carbohydrate Source in the Tambaqui Diet (*Colossoma Macropomum*). *J Aquac Fisheries*, 6 (45), 2. DOI: [10.24966/AAF-5523/100045](https://doi.org/10.24966/AAF-5523/100045)
- Soltanzadeh, S., Ouraji, H., Fereidouni, A., Ahmadi, H. & Khalesi, M. 2017. Growth, feed utilization, apparent digestibility and fatty acid composition of Beluga (*Huso huso*) juveniles to different inclusion levels of whole seed meal of Faba bean (*Vicia faba*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17, 1415-1424.
- Souza, R., Melo, J., NogueiraFilho, R., Campeche, D. & Figueiredo, R. 2013. Influence of mango meal on growth and body composition of Nile tilapia. *Archivos de Zootecnia*, 62 (238), 217- 225. DOI: [10.4321/S0004-05922013000200007](https://doi.org/10.4321/S0004-05922013000200007)
- Souza, S., Souza, A., Souza, R., Melo, J. & Vidal, L. 2020. Mango pulp meal in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Digestibility, growth performance, biochemical analysis, digestive enzyme activity, hematological variables. *Rev. Bras. Saúde. Prod. Anim, Salvador*, 6 (21), 01-21. DOI: [10.1590/S1519-99402121402020](https://doi.org/10.1590/S1519-99402121402020)

- Soza-Chí, U., Peralta-González, F., Rodríguez-Flores, F., Vera-Quiñones, F., Alpuche-Palma, A., & Mendiola-Campuzano, J. (2020). Estimación del contenido nutrimental, inocuidad y costos en cuatro ensilados químicos. <http://www.reibci.org/publicados/2020/oct/3900103.pdf>
- Srisakultiew, N., Kumkhong, S., Marandel, L., Plagnes-Juan, E., Panserat, S. & Boonanuntanasarn, S. 2022. Short initial period of high carbohydrate feeding improves nutrient utilisation in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed a high carbohydrate diet. *Aquaculture*, 561, 738661. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2022.738661](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738661)
- Steinberg, C., & Steinberg, C. 2022. Carbohydrate Preference and Metabolism—‘Life’s Little Luxury Digested’. *Aquatic Animal Nutrition: Organic Macro-and Micro-Nutrients*, 393-434. DOI: [10.1007/978-3-030-87227-4_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-87227-4_18)
- Suwannatrai, K., Namwongsa, K., Phanomkhet, N., Tawil, S., & Roschat, W. 2023. Analysis of the Nile Tilapia fish's (*Oreochromis niloticus* L.) proximate composition in Sakon Nakhon province, Thailand: The proximate composition of Nile Tilapia fish (*Oreochromis niloticus* L.). *Creative Science*, 15(2), 251073-251073. DOI: [10.55674/cs.v15i2.251073](https://doi.org/10.55674/cs.v15i2.251073)
- Taşbozan, O., & Gökçe, M. 2017. Fatty acids in fish. *Fatty acids*, 1, 143-159.
- Telles, F., Romero, J., Galindo, C., & Pulido, H. 2019. Relaciones talla-peso y factor de condición de la tilapia *Oreochromis niloticus* en cinco cuerpos de agua del

- estado de Jalisco, México. CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 8 (16), 82-105. DOI: [10.23913/ciba.v8i16.92](https://doi.org/10.23913/ciba.v8i16.92)
- Tiamiyu, O., Okomoda, T. & Agbese, E. 2015. Rendimiento del crecimiento de alevines de *Clarias gariepinus* alimentados con harina de semillas de *Citrullus lanatus* como reemplazo de la harina de soya. Revista de Ingeniería Acuícola e Investigación Pesquera, 1, 49 - 56.
- Tiamiyu, L., Okomoda, V. & Agbese, V. 2015. Growth performance of *Clarias gariepinus* fingerlings fed *Citrullus lanatus* seed meal as a replacement for soybean meal. Journal of Aquaculture engineering and Fisheries research, 1(1), 49-56. DOI: [10.3153/JAEFR15005](https://doi.org/10.3153/JAEFR15005)
- TopFish®. 2023. Sitio oficial (Consultado 21 junio 2023: <https://top-fish.com.mx/>)
- Torres, D. & Hurtado, V. 2012. Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Orinoquia – Universidad de los Llanos.
- Triana, P., Gutiérrez, M. & Eslava, P. 2013 Rendimiento productivo e hígado graso en tilapia híbrida (*Oreochromis spp*): Influencia de dos fuentes de lípidos. Orinoquia, 17(2), 183-196.
- Wall, A., Olivas, F., Velderrain, G., González, A., De la Rosa, L., López, J. & Álvarez, E. 2015. El mango: Aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. Nutrición Hospitalaria, 31, 67-75. DOI: [10.3305/nh.2015.31.1.7701](https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7701)

- Wang, J., Beusen, A., Liu, X., & Bouwman, A. 2019. Aquaculture production is a large, spatially concentrated source of nutrients in Chinese freshwater and coastal seas. *Environmental Science & Technology*, 54(3), 1464-1474. DOI: [10.1021/acs.est.9b03340](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03340)
- Wang, K., Chen, J., Liu, Q., Deng, X., Luo, L., Lin, S. & Chen, Y. 2022. Una comparación entre la recepción de dietas altas en carbohidratos y altas en lípidos sobre el crecimiento, la utilización del alimento y la homeostasis de la glucosa de la tilapia *Oreochromis niloticus* cultivada genéticamente mejorada. *Informes de acuicultura*, 24, 101119. DOI: [10.1016/j.aqrep.2022.101119](https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101119)
- Watts, J., & Ristow, M. 2017. Lipid and carbohydrate metabolism in *Caenorhabditis elegans*. *Genetics*, 207(2), 413-446. DOI: [10.1534/genetics.117.300106](https://doi.org/10.1534/genetics.117.300106)
- Wright, I. 2014. Salmon by-products. *Aqua Feeds: Formulation y Beyond*, 1, 10-12.
- Wu, H., Li, W., Shan, C., Zhang, Z., Lv, H., Qiao, F. & Zhang, M. 2021. Oligosaccharides improve the flesh quality and nutrition value of Nile tilapia fed with high carbohydrate diet. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 3, 100040. DOI: [10.1016/j.fochms.2021.100040](https://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100040)
- Xie, D., Yang, L., Yu, R., Chen, F., Lu, R., Qin, C., & Nie, G. 2017. Effects of dietary carbohydrate and lipid levels on growth and hepatic lipid deposition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 479, 696-703. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2017.07.013](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.013)

- Yang, P., Li, X., Song, B., He, M., Wu, C., & Leng, X. 2023. The potential of *Clostridium autoethanogenum*, a new single cell protein, in substituting fish meal in the diet of largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Growth, feed utilization and intestinal histology. *Aquaculture and Fisheries*, 8(1), 67-75. DOI: [10.1016/j.aaf.2021.03.003](https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.03.003)
- Yıldız, M., Eroldoğan, T., Ofori-Mensah, S., Engin, K., & Baltacı, M. 2018. The effects of fish oil replacement by vegetable oils on growth performance and fatty acid profile of rainbow trout: Re-feeding with fish oil finishing diet improved the fatty acid composition. *Aquaculture*, 488, 123-133. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2017.12.030](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.030)
- Yusuf, A., Umar, R., Micah, D. & Akpotu, J. 2016. Growth response and feed utilization of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) juveniles fed graded levels of boiled *Senna obtusifolia* L. seed meal as a replacement for soybean meal. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 3 (4), 345-352. DOI: [10.5455/javar.2016.c171](https://doi.org/10.5455/javar.2016.c171)
- Zafra-Trelles, A., Díaz-Barboza, M., Dávila-Gil, F., Fernández-Chumbe, R., Vela-Alva, K., & Guzmán-Santiago, H. 2019. Conversión y eficiencia alimenticia de *Oreochromis aureus* var. *suprema* (Cichlidae) con diferente alimento balanceado en sistema cerrado, Trujillo, La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 815-826. DOI: [10.22497/arnaldoa.262.26219](https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26219)

- Zhang, Q., Liang, XF, Zhang, Y. y Feng, H. 2024. Adaptation of Chinese perch (*Siniperca chuatsi*) to different levels of dietary carbohydrates. *Aquaculture Reports*, 36, 102044. DOI: [10.1016/j.aqrep.2024.102044](https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102044)
- Zhou, W., Wu, C., Limbu, S., Li, R., Chen, L., Qiao, F., & Du, Z. 2022. More simple more worse: simple carbohydrate diets cause alterations in glucose and lipid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 550, 737857. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2021.737857](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737857)
- Zhu, J., Feng, J., Chen, J., Du, R., Luo, L., Lin, S., & Chen, Y. 2021. An evaluation of the growth, blood biochemistry, hepatic glucose metabolism and hepatocyte apoptosis in the genetically improved farmed tilapia *Oreochromis niloticus* fed diets with distinct protein to corn starch ratios. *Aquaculture Research*, 52(12), 6514-6524. DOI: [10.1111/are.15521](https://doi.org/10.1111/are.15521)