

**EFFECTO DE ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS EN EL METABOLISMO
DE TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*) ALIMENTADOS CON DIETAS
SUPLEMENTADAS CON DIFERENTES FUENTES DE ACEITE VEGETAL**

ANA PAOLA MÉNDEZ PÁEZ



**SISTEMA DE UNIVERSIDADES ESTATALES DEL CARIBE COLOMBIANO
SUE- CARIBE
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
2022**

**EFFECTO DE ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS EN EL METABOLISMO
DE TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*) ALIMENTADOS CON DIETAS
SUPLEMENTADAS CON DIFERENTES FUENTES DE ACEITE VEGETAL**

ANA PAOLA MÉNDEZ PÁEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Magíster en Ciencias Ambientales**

**Dirigido por:
MARTHA JANETH PRIETO GUEVARA, PhD.**

**Coodirigido por:
JONNY ANDRÉS YEPES BLANDÓN, PhD. (c).**

**SISTEMA DE UNIVERSIDADES ESTATALES DEL CARIBE COLOMBIANO
SUE- CARIBE
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
2022**

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados expresados en el proyecto son responsabilidad del autor.
Artículo 17, acuerdo No. 039 de junio de 2005 del Consejo Superior de la
Universidad de Córdoba.**

**Ficha catalográfica elaborada para la división de procesos
técnicos de la biblioteca de la Universidad de Córdoba.**

Ana Paola Méndez Páez

Efecto de ácidos grasos poliinsaturados en el metabolismo de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) alimentados con dietas suplementadas con diferentes fuentes de aceite vegetal, 2022. Xxx p

Trabajo de grado (Maestría) – Universidad de Córdoba

Orientadora: Martha Janeth Prieto Guevara.

Co-orientador: Jonny Andrés Yepes Blandón

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado:

EFECTO DE ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS EN EL METABOLISMO DE TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*) ALIMENTADOS CON DIETAS SUPLEMENTADAS CON DIFERENTES FUENTES DE ACEITE VEGETAL.

Realizado por la estudiante:

ANA PAOLA MÉNDEZ PÁEZ

Cumple con los requisitos exigidos por el Sistema Universitario del Caribe colombiano (SUE) para optar el título de Magíster en Ciencias Ambientales.

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Montería, 2022

DEDICATORIA

A Dios

Por ser mi guía, mi luz y mi protector.

A mis Padres

Pedro Méndez Arteaga y Ana Páez Hernández a ustedes por ser mi motivación.

En este logro se refleja la dedicación, el sacrificio, el amor y la confianza que invirtieron en mí.

*A mis hijos **José Alejandro e Isabella Páez Méndez**, por ser mi motor y mi impulso a ser mejor cada día. ¡Los amo!*

AGRADECIMIENTOS

A la doctora Martha Janeth Prieto Guevara, por la oportunidad y la confianza al aceptarme dentro de su equipo de trabajo.

A el doctor Jonny Andrés Yepes Blandón, por el apoyo, dedicación y confianza

A la Universidad de Córdoba y al sindicato de trabajadores SINTRAUNICOL Subdirectiva montería, por el apoyo financiero y la oportunidad de seguir fortaleciendo mis conocimientos.

A cada uno de los compañeros de cohorte por las motivaciones y acompañamiento, a los docentes que contribuyeron en esta formación.

A todo el equipo del grupo del centro de investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC) y al Semillero de Alimento Vivo ALIMVI.

A Pedro Luis Méndez y Carolina Morales, por apoyarme siempre cuando lo necesité.

A mis amigas (os), compañeras y familiares, Janny Alarcón, Heidy Saab, Yadith Causil, Denia Padilla, Jazmith Villegas, Fiorella Salamanca, Katy Cuestas, Andrea Espitia, Eunices Tapia, Ana Carolina Gonzalez, Keyra Salazar, Estefan Romero, Jamir Alvarez, Luis, Florez, Holman Anaya, Brillyt Guerrero, y Sara Méndez por alentarme a no desfallecer.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
2. OBJETIVOS	21
2.1. OBJETIVO GENERAL	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	22
3.1. MARCO TEÓRICO.....	22
3.1.1. Implicación ambiental y socioeconómica del uso de harina y aceite de pescado en la acuicultura.	22
3.1.2. Impacto de la dieta tradicional sobre el ambiente, sustitución de la dieta en peces de cultivo.	25
3.1.3. Calidad del agua, sistemas RAS y ambiente.....	28
3.1.4. Bioecología, morfología y cultivo de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).	30
3.1.5. Composición de la dieta de tilapia en cultivo.	34
3.1.6. Ácidos grasos, biosíntesis e importancia en la nutrición de tilapia y la seguridad alimentaria.	37
3.1.7. Parámetros metabólicos y su importancia en la nutrición de peces. 42	
3.2. ANTECEDENTES	45
4. METODOLOGÍA	55
4.1. LOCALIZACIÓN	55
4.2. DIETAS EXPERIMENTALES	56
4.3. SISTEMA DE CULTIVO Y UNIDADES EXPERIMENTALES	58

4.4. MATERIAL BIOLÓGICO	58
4.5. COLECTA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS.....	59
4.6. PARÁMETROS DE DESEMPEÑO	60
4.7. GLUCOSA, TRIGLICÉRIDOS Y PROTEÍNAS.....	61
4.8. PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS.....	62
4.9. COMPOSICIÓN PROXIMAL.....	63
4.10. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	63
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
5.1. RESULTADOS.....	64
5.1.1. Parámetros de desempeño de tilapia nilótica.	64
5.1.2. Índice gonadosomático e índice hepatosomático.	65
5.1.3. Parámetros metabólicos en sangre.	66
5.1.4. Parámetros metabólicos en hígado.	66
5.1.5. Parámetros metabólicos en músculo.....	67
5.1.6. Perfil de ácidos grasos en hígado.....	68
5.1.7. Perfil de ácidos grasos en músculo.	70
5.1.8. Perfiles lipídicos en gónada.....	72
5.1.9. Composición proximal del filete.	74
5.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN:.....	76
5. CONCLUSIONES.....	85
6. RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS.....	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rangos óptimos de los parámetros físicos y químicos de calidad de agua para el cultivo de Tilapia nilótica.....	29
Tabla 2. Requerimientos de proteínas, carbohidratos y lípidos en dietas para tilapia.....	36
Tabla 3. Requerimiento de vitaminas y minerales en la dieta de tilapia...	36
Tabla 4. Formulación y composición proximal de cuatro dietas suplementadas con aceites de Palma (AP), Sacha inchi (AS), Maíz (AM) y Sacha inchi – Maíz (ASM) en reproductores de Tilapia nilótica <i>O. niloticus</i> en un sistema RAS.....	57
Tabla 5. Perfil de ácidos grasos en dietas suplementadas con aceites de Palma (AP), Sacha inchi (AS), Maíz (AM) y Sacha inchi – Maíz (ASM)...	57
Tabla 6. Parámetros de desempeño en reproductores de Tilapia nilótica (<i>O. niloticus</i>) en sistema RAS. Peso inicial (PI), Peso final (PF), Talla final (TF), Ganancia en peso (GP), Ganancia en longitud (GL), Factor de crecimiento específico (TCE %), Porcentaje de sobrevivencia (% S) y Tasa de conversión alimentaria (FCA).	64
Tabla 7. Parámetros de desempeño en reproductores de Tilapia nilótica (<i>O. niloticus</i>) en sistema RAS por tratamientos. Peso inicial (PI), Peso final (PF), Talla final (TF), Ganancia en peso (GP), Ganancia en longitud (GL), Tasa de crecimiento específico (TCE %), Porcentaje de sobrevivencia (% S) y Factor de conversión alimentaria (FCA).....	65
Tabla 8. Índice hepatosomático y gonadosomático en reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS. Índice hepatosomático (IHS), Índice gonadosomático (IGS)	66
Tabla 9. Concentración de glucosa en sangre en reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS.....	66

Tabla 10. Parámetros metabólicos en el hígado de reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS.....	67
Tabla 11. Parámetros metabólicos en músculo de reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS.....	68
Tabla 12. Perfil de ácidos grasos en el hígado de reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS.....	69
Tabla 13. Perfil de ácidos grasos en músculo de reproductores de Tilapia nilótica en sistema de RAS.....	71
Tabla 14. Perfil de ácidos grasos en gónada por sexo en reproductores de Tilapia nilótica en un sistema RAS.	73
Tabla 15. Composición proximal del filete de reproductores de Tilapia nilótica en sistema de RAS.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Adulto de tilapia nilótica <i>Oreochromis niloticus</i> . Fotografía Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba CINPIC, 2018.	31
Figura 2. Fórmula estructural de algunos ácidos grasos (C18). Fuente: Bioquímica Ed 3 (Voet y Voet, 2004).	38
Figura 3. Ruta de biosíntesis de ácidos grasos en vertebrados. Elo: Elongacion, β -ox: beta oxidación, Δn : Δn desaturasa. Fuente: Kabeya <i>et al.</i> (2018).....	39
Figura 4. Ubicación del Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC). Imagen satelital tomada de Google Earth (2019).	55

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Tabla ANOVA, parametros de desempeño- tratamientos.....	113
Anexo B: Tabla ANOVA parametros de desempeño en machos.	114
Anexo C: Tabla ANOVA parametros de desempeño en hembras.....	115
Anexo D: Tabla ANOVA indices gonadosomatico y hepatosomatico.....	116
Anexo E: Tabla ANOVA indices gonadosomaticos y hepatosomaticos en machos.....	116
Anexo F: Tabla ANOVA indices gonadosomaticos y hepatosomaticos en hembras.	117

RESUMEN

El cultivo de peces es una economía creciente que requiere grandes cantidades de harina y aceite de pescado, incrementando la extracción de peces pelágico, impactando negativamente los ecosistemas marinos, haciendo insustentable ambiental y económicamente la producción piscícola. Es necesaria la búsqueda de nuevas dietas que disminuyan la contaminación y el uso de peces como alimento en sistemas piscícolas. El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de diferentes fuentes vegetales de ácidos grasos (AG) en la dieta, sobre el metabolismo de reproductores de tilapia cultivados en sistema de recirculación de agua (RAS). Se usaron 32 unidades experimentales de 250 L, con 20 peces cada una, distribuidos en 16 taques para macho, 16 para hembras; 4 tratamientos suplementados con 4 fuentes de AG (aceite de palma (AP), aceite de maíz (AM), aceite de sacha (AS) y aceite de sacha-maíz (AMS)), cada tratamiento contó con cuatro replicas. Se analizaron los efectos de fuentes AG, en perfiles de AG en hígado, músculo y gónada; composición proximal del filete, parámetros de desempeño en los peces (Peso inicial (PI), Peso final (PF), Talla final (TF), Ganancia en peso (GP), Ganancia en longitud (GL), Factor de crecimiento específico (TCE %), Porcentaje de sobrevivencia (% S) y Tasa de conversión alimentaria (FCA)) y parámetros metabólicos. A nivel general, los machos presentaron mayor incremento en peso, talla, y consumo; índices gonadosomático y hepatosomático fueron más altos en hembras. Los perfiles de AG sugieren síntesis de *novo* de AG, a partir de AG de 16 y 18 carbonos. En hígado, músculo y gónada los contenidos AG C18:2n-6 y C18:3n-3 disminuyeron con relación al contenido en dieta, mientras que C18:0 incrementó su contenido en los tejidos. La composición proximal del filete no mostró valores atípicos. En conclusión, la inclusión de aceites vegetales en la dieta de tilapia modifica los perfiles lipídicos, pero no afecta negativamente la composición proximal del filete.

Palabras clave: Desempeño productivo, Metabolismo de lípidos, Nutrición de peces, Sostenibilidad.

ABSTRACT

Fish farming is a growing economy that requires large quantities of fishmeal and fish oil, increasing the extraction of pelagic fish, negatively impacting marine ecosystems, making fish production environmentally and economically unsustainable. It is necessary to search for new diets that reduce pollution and the use of fish as food in fish farming systems. The objective of this research was to evaluate the effects of different vegetable sources of fatty acids (FA) in the diet on the metabolism of tilapia broodstock cultured in a recirculating water system (RAS). Thirty-two 250 L experimental units were used, with 20 fish each, distributed in 16 tanks for males, 16 for females; 4 treatments supplemented with 4 sources of FA (palm oil (PA), corn oil (MA), sacha oil (SA) and sacha-maize oil (SAM)), each treatment had four replicates. The effects of AG sources were analyzed in AG profiles in liver, muscle and gonad; fillet proximal composition, fish performance parameters (initial weight (IP), final weight (FP), final size (TF), weight gain (WG), length gain (GL), specific growth factor (SGR %), survival percentage (% S) and feed conversion ratio (FCR)) and metabolic parameters. In general, males presented greater increases in weight, length, and consumption; gonadosomatic and hepatosomatic indices were higher in females. The GA profiles suggest de novo synthesis of GA from 16- and 18-carbon GA. In liver, muscle and gonad, C18:2n-6 and C18:3n-3 FA content decreased in relation to dietary content, while C18:0 increased in tissues. The proximal composition of the fillet did not show outliers. In conclusion, the inclusion of vegetable oils in the tilapia diet modifies lipid profiles, but does not negatively affect fillet proximal composition.

Keywords: Productive performance, Fish nutrition, Lipid metabolism, Sustainability

INTRODUCCIÓN

Los peces y mariscos como fuente de nutrientes esenciales cumplen un papel fundamental en la seguridad alimentaria del planeta (Kok *et al.*, 2020). El consumo *per cápita* de peces a nivel mundial pasó de 9,0 kg a 20,3 kg entre 1961 y 2017. Los principales consumidores de peces son Norte América, Europa y Asia, mientras que, en Latinoamérica a excepción de Perú, Chile y las Guyanas, el consumo *per cápita* es inferior a 10 kg/año. Este incremento en el consumo de peces revela un cambio en las preferencias alimentaria ligado a múltiples factores. Lo que ha propiciado el aumento de la producción acuícola cultivada, que representó el 62,5% de la producción total de peces a nivel mundial (FAO, 2020).

En Colombia, el consumo *per capital* de pescado es de 8,0 kg anuales se ha reflejado en el incremento de las importaciones. El país importa el 70% del pescado consumido, esto debido a factores como el precio de insumos y alimentos, redes de pesca, combustibles y la escasa aplicación de paquetes tecnológicos en la producción de múltiples especies, que encarecen los costos de producción y hacen de la pesca un renglón económico difícil de estructurar (González *et al.*, 2019).

La producción acuícola requiere condiciones específicas, alimentos ricos en nutrientes y proteínas, que deben ser proporcionado en una dieta equilibrada, cuyos componentes principales son harina y aceites de pescado. No obstante, los informes de la relación FIFO (Fish In -Fish Out) publicados entre 2008 y 2010 revelaron que se requieren entre 0,2 a 7,5 ton de peces salvajes para producir una tonelada de pez cultivado (Tacon y Metian, 2008; Jackson, 2010). Aunque si se consideran parámetros de rendimiento, aprovechamiento y cambios en la composición de la dieta, esta puede reducirse a una relación 0,78:1,0 en el caso de los salmónidos (Byelashov y Griffin, 2014).

Se estima que el 75% de las especies de peces marinos son explotados o sobreexplotados, a causa de la creciente demanda de peces para el consumo. Junto con la presión ejercida por la acuicultura de alto valor de truchas, lubinas, doradas y salmónidos; que, de acuerdo con la especie, talla y temperatura del agua, deben ser alimentados de una a cuatro veces al día. Por lo cual requieren grandes cantidades de alimento, que a largo plazo generaran la reducción de la producción piscícola mundial y disminución de los valiosos servicios ecosistémicos prestados por los peces marinos (Merino *et al.*, 2010; Konar *et al.*, 2019).

La principal razón del uso de la harina y el aceite de pescado en la acuicultura radica en que son fuente de aminoácidos esenciales y ácidos grasos insaturados (HUFA n-3) (Tacon y Metian, 2008; Hardy, 2010). Los peces al igual que otros vertebrados requieren de fuentes de ácidos grasos poliinsaturados esenciales (Oboh *et al.*, 2016), estos ácido grasos deben ser suministrados en la dieta, pues de manera natural son adquiridos a partir del alimento consumido por los animales es sus respectivos ecosistemas.

Sin embargo, la producción de harina y aceite de pescado usada en la nutrición animal acuícola resulta insuficiente y altamente costosa, debido a la disminución de captura, por la reducción, desplazamiento de las poblaciones y el incremento en la demanda de estos insumos por parte de otras industrias (Bell y Waagbø, 2008; Turchini *et al.*, 2009). Por tanto, es ambientalmente insostenible seguir extrayendo peces del mar para alimentar peces de producción acuícola (Hardy, 2006). Esta situación resulta ser un problema en el equilibrio de las poblaciones de peces en la naturaleza y en los sistemas de cultivo a causa de la sobreexplotación del recurso pesquero marino, y la posterior eliminación de residuos propios del alimento suministrado y no asimilado por los peces en cultivo, porque solo el 25% del alimento es aprovechado por los peces (Buschmann y Fortt, 2005).

De esta forma, la implementación de dietas de origen vegetal resulta un aporte importante para los pequeños y grandes productores acuícolas dentro de la industria pesquera, porque son de bajo costos, con relación a los de origen animal, dado que

la alimentación balanceada representa el 50 al 75% de los costos de producción (Niño y Aguilar, 2014). En este sentido, la acuicultura mundial en la última década se ha enfocado en realizar investigaciones sobre las dietas suministrada a los peces, y en la necesidad de reducir el uso de harina y aceite de pescado, por fuentes alternativas para garantizar la sostenibilidad de la acuicultura como fuente de suministro de pescado para el ser humano (Bell y Waagbø, 2008; Turchini *et al.*, 2009), direccionado al estudio del desarrollo de soluciones sustentables para la formulación de dietas, y la evaluación de diferentes fuentes alternativas sobre los parámetros metabólicos en estos organismos.

Estos requerimientos dietarios están ligados a la demanda específica de algunas especies de peces. De acuerdo con Tacon (2020), el 53,1% de la producción piscícola total está dominada por el cultivo de diversos peces de agua dulce (19,5%) tilapia (11%), salmónidos (6,5%) y diversos peces costeros (2,8%). De esta forma Tilapia nilótica, especie introducida en Colombia es una de las pocas con los paquetes tecnológicos necesarios para su producción a gran escala, se ha convertido en una alternativa rentable para la producción piscícola a nivel mundial.

Aunque la alimentación balanceada y a bajo costo, para la especie es un problema de preocupación creciente que requiere manejo adecuado e investigación profunda, con el fin de garantizar su producción constante y de buena calidad. Por ende, la importancia de este estudio radica en la búsqueda de alternativas económicas y sustentable de dietas de remplazo para tilapia nilótica, con el fin de encontrar alternativas de remplazo de alto valor nutricional y bajo costo de producción con las fuentes de harina y lípidos de origen vegetal.

A demás que establecer la viabilidad en el uso de fuentes de ácidos grasos de origen vegetal se justifica en virtud de la aplicación de estrategias ambientales como la producción más limpia, con beneficios directos sobre el ambiente, mejora el desempeño ambiental en el sector y contribuye positivamente sobre la imagen del sector piscícola ante los diversos grupos de interés. Por lo cual el objetivo de esta investigación se enfocó en evaluar el efecto de diferentes fuentes vegetales de

ácidos grasos en la dieta sobre el metabolismo de reproductores de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* cultivados en sistema de recirculación de agua RAS, en aras de establecer la viabilidad de la sustitución en el sistema productivo de esta especie de alto interés en la seguridad alimentaria y con ello disponibilizar una alternativa ambiental para la elaboración de dietas comerciales en acuicultura, esto contribuye a sustentabilidad en el proceso al disminuir la presión por extracción y generar alternativas productivas ambientalmente amigables

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de diferentes fuentes vegetales de ácidos grasos en la dieta sobre el metabolismo de reproductores de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* cultivados en sistema de recirculación de agua RAS.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los parámetros de desempeño en reproductores de tilapia alimentados con las dietas experimentales.
- Analizar parámetros metabólicos en plasma, hígado y músculo de los reproductores de tilapia alimentados con las dietas experimentales.
- Determinar el efecto de las diferentes fuentes de ácidos grasos sobre valor nutritivo, metabolitos y el perfil lipídico en hígado, músculos y gónadas de reproductores de tilapia.

3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

3.1. MARCO TEÓRICO

3.1.1. Implicación ambiental y socioeconómica del uso de harina y aceite de pescado en la acuicultura.

La pesca es un renglón fundamental de la economía, contribuye a la seguridad alimentaria y el bienestar socioeconómico de las poblaciones costeras más vulnerables (Escamilla *et al.*, 2021). Se estima que en el 2018 brindó empleo en el sector primario a 59,51 millones de personas, lo que representa un ligero aumento del personal empleado con respecto al 2016 (FAO, 2020). En Colombia el sector pesca y acuicultura aportó 629 mil millones de pesos al producto interno bruto del año 2020 (Agronet, 2021) y el cultivo de tilapia representó el 20,57% de la producción acuícola nacional (Hernández *et al.*, 2019).

El incremento de la extracción del recurso pesquero genera consecuencias ambientales y los esfuerzos de regulación de la pesca se centran en la sostenibilidad del sistema. No obstante, el 21,3% de los desembarques de peces provienen de poblaciones biológicas acuáticas insostenibles o sobreexplotadas, el 12% de las 179 millones de toneladas de producción pesquera a nivel mundial, se destinó en el 2018 a fines no alimenticios directos para consumo humano, es decir, una porción importante de la producción pesquera sigue transformándose en harina, aceite de pescado y otros complementos nutricionales utilizados en la producción de alimentos para producción zootécnica, por considerarse el alimento más nutritivo para la producción acuícola (FAO, 2020).

La acuicultura es una actividad fortalecida que, frente a la escasez por extracción en la pesquería, responde al incremento en la demanda de pescado, como fuente esencial de proteínas y ácidos grasos en la dieta humana. Esta demanda en la seguridad alimentaria mundial ha llevado al aumento del cultivo de peces, actividad

productiva que debe cumplir con los requerimientos nutricionales de las especies en cultivo y el requerimiento nutricional humano al ser el consumidor final. Dado que la materia prima más utilizada en la acuicultura es la harina y aceite de pescado, y las capturas pesqueras en medio natural son un recurso finito, el incremento de la demanda desencadena sobrepesca y a futuro escasez de recursos (Bell *et al.*, 2001). De acuerdo con Jannathulla *et al.* (2019) los peces pelágicos anchoas, capelán, lanzón y sardinas son las principales fuentes de harina de pescado, su productividad se redujo en un 50% en el atlántico norte y 20% en el resto del mundo, disminuyendo la disponibilidad de materia prima para la elaboración de harina de pescado.

La comercialización de productos pesqueros ha aumentado en un 245 % desde 1976 y el consumo humano de peces en más del 500% (Gebremedhin *et al.*, 2021). Desde el 2014 trece de los 25 países pesqueros incrementaron sus capturas en más de 100.000 toneladas en relación con las capturas del año anterior, China, Indonesia, Myanmar, Noruega, Chile y Perú, tuvieron los mayores incrementos de captura en sus respectivos continentes. Los reportes indican que algunas capturas se llevaron a cabo fuera de las áreas tradicionales de pesca (FAO, 2016).

La sobreexplotación de peces varía según la zona geográfica, desde el 20% en el pacifico nororiental, el atlántico y el océano indico, hasta más del 40% en el pacifico suroriental, incluyendo el 59% en el mediterráneo y mar negro, en otras localidades el nivel de extracción pesquera es difícil de estimar (Blanchard *et al.*, 2017). Esta explotación desmedida de los recursos pequeros trae como consecuencia el deterioro de los ecosistemas, alteración de los servicios ecosistémicos de provisión, regulación, culturales, soporte y sustento (Mariño y Alcalá, 2020). Cambios en la estructura y tamaño de las poblaciones piscícolas (Tu *et al.*, 2018). La pesca de fondo causa mortalidad de la biota, cambio en la composición de los sedimentos marinos, así como en la topografía y biogeoquímica, que a su vez altera a las comunidades biológicas del fondo marino (Sciberras *et al.*, 2018). La presión pesquera también puede tener efectos genéticos sobre la maduración sexual de

algunas poblaciones de peces (Czorlich *et al.*, 2021), además de efectos evolutivos sobre las comunidades marinas (Worm y Branch, 2012). La pesca influye en la dinámica poblacional, procesos del ciclo vital, altera el equilibrio entre las interacciones tróficas y la composición de especies (Zhang *et al.*, 2018).

A parte de los efectos ambientales la creciente expansión de las zonas de pesca, a causa de la demanda demográfica. La producción piscícola requiere la producción de alimentos balanceados. De acuerdo con el documento técnico de Pesca y Acuicultura de la FAO (Demand and Supply of Feed Ingredients for Farmed Fish and Crustaceans. Trends and Prospects), tilapia acapara el 5,3% de los alimentos fabricados a nivel mundial, mientras que la demanda de aceite de pescado es de 122 mil toneladas aproximadamente (Tacon *et al.*, 2011). Informes más recientes indican que la producción de tilapia requiere 184 millones de toneladas de alimento (Hua *et al.*, 2019), el cual se fabrica a base de harina y aceite de pescado. No obstante, para el 2025 la principal materia prima de los alimentos serán oleaginosas (FAO, 2016). Lo que conlleva a analizar la relación de la extracción piscícola y la producción de peces.

De acuerdo con Tacon y Metian (2008), aunque la relación FIFO ha mostrado una relativa disminución desde 1995, la demanda de peces ha incrementado sustancialmente con una tasa de conversión de 0,7 (relación extracción de peces/ alimentación de peces) que puede llegar a 2,0; lo que representa una relación FIFO de 5,0:1 que puede disminuir entre 3,9:1 y 1,04:1 o menos, con la sustitución de la harina y aceite de pescado por fuente vegetales u otras alternativas (Naylor *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2018; Jannathulla *et al.*, 2019; Rawski *et al.*, 2021; Savonitto *et al.*, 2021). Correcciones más recientes de la relación FIFO, denominada eFIFO, mostraron que los requerimientos de aceite y harina de pescado en la producción de alimentos para tilapia se mantienen similares a las previamente reportadas (Kok *et al.*, 2020). Estudios previos han demostrado que la sustitución de harina de pescado en dietas de salmónidos puede dar como resultado una relación FIFO 0,7:1 (Liland *et al.*, 2012). Demostrando las ventajas de la sustitución de harina de

pescado por fuentes vegetales, al reducir la presión pesquera sobre los peces y permitiendo la recuperación de las poblaciones, disminuyendo los efectos tanto ecológicos como genéticos.

Otro factor a considerar en la sustitución de la harina de pescado, es la demanda de peces para alimentar otros peces en un escenario de cambio climático. La industria pesquera aporta el 1,5% de los gases de invernadero, que contribuyen al calentamiento, acidificación de los océanos, alteración de redes tróficas e incremento del estrés fisiológico marino (Vázquez, 2020). Teniendo en cuenta que en el 2016 el fenómeno del niño afectó al 64% de los 25 países pesqueros más importante con bajas importantes en las toneladas de captura (FAO, 2018), a pesar de ello, la captura de peces representó el 37,5% de la producción mundial pesquera en el 2018. Por lo que existe una presión constante sobre las especies marinas, desde 1974 a 2017 que ha conducido a la insostenibilidad y sobreexplotación de especies pesqueras (FAO, 2020). Es así como la pesca con métodos tradicionales es cada vez menos eficiente y la disminución de las capturas repercute de forma negativa sobre las condiciones económicas, sociales y ambientales de áreas pesqueras en desarrollo, menguando los ingresos familiares y alterando la dieta tradicional de las poblaciones (Wongbusarakum *et al.*, 2021).

3.1.2. Impacto de la dieta tradicional sobre el ambiente, sustitución de la dieta en peces de cultivo.

La presión de la actividad pesquera en el medio, se refleja en los cambios de las áreas habituales de pesca, la dinámica y la disminución de los recursos pesqueros (FAO, 2020). La pesca de anchoas y sardinas conforman el primer renglón en la producción de harina y aceite de pescado. La producción de harina y aceite de pescado es un complejo proceso en el que intervienen múltiples factores comerciales que incrementan los costos de producción (Mullon *et al.*, 2009). En este sentido la producción de harina y aceite de pescado es un proceso simultáneo. Su

uso recurrente en las dietas piscícolas está ligado a la alta digestibilidad y sus propiedades nutricionales (Shepherd y Jackson, 2013).

Satisfacer la demanda anual de harina de pescado (6,0 a 6,5 millones de toneladas), equivale a cuadruplicar dicha cifra en pesca de arrastre. Se requieren 4 a 5 toneladas de pescado para fabricar una tonelada de harina de pescado (Hodar *et al.*, 2020). Un kilogramo de harina de pescado requiere 4,4 a 6 kilogramos de pescado crudo, mientras que producir un 1 kg de aceite requiere de 10 a 50 kg de pescado (Shepherd y Jackson, 2013), sin incluir los costos comerciales y de fabricación, que se relacionan con el incremento anual de la harina de pescado en razón de 8,94% (Mitra, 2020).

Los altos costos de la harina y aceite de pescado, ha obligado a los productores e investigadores a buscar alternativas alimenticias para peces de cultivo, que permitan sustituir las fuentes de ácidos grasos de origen animal por fuentes de ácidos grasos de origen vegetal, que ofrezcan valores nutricionales similares a los proporcionados por el aceite de pescado, con rendimientos similares o mejores y menor presión de los ecosistemas. En los últimos años el aceite de pescado ha sido reemplazado por mezclas de aceites vegetales (Kok *et al.*, 2020). Consecuencia de la presión pesquera, la competencia de la industria nutracéutica y farmacéutica, que han propiciado el cambio en la formulación de los alimentos piscícolas (Sprague *et al.*, 2016).

Algunas de las alternativas no convencionales analizadas son las harinas de origen animal, sangre, huesos y plumas, proteínas de organismos celulares, levaduras, algas, bacterias y hongos, tortas y harinas desengrasadas de origen vegetal, soya, girasol, maíz, entre otros; concentrados proteicos, gluten de maíz, gluten de trigo, entre otros; y mezclas vegetales, mezclas de harinas vegetales con harinas de origen animal (Torres, 2019).

La sustitución de harina de pescado por harinas de origen vegetal afecta mínimamente los parámetros fisiológicos del músculo de tilapia en comparación con

harinas de pescado (Montoya *et al.*, 2019), la sustitución de las harinas de pescado por otras alternativas ofrece múltiples ventajas comerciales (menores costos de producción) y nutricionales, pues alteran mínimamente la composición morfológica y fisiológica de los peces, sin embargo, la presencia de algunos carbohidratos dificulta la inclusión de la fuente alternativa de proteína, además que las dietas de origen presentan déficit de aminoácidos esenciales como lisina y metionina que deben ser agregados a las dietas a través de suplemento, en estos casos se recomienda que cada dieta sea analizada antes de ser suministradas con el fin de garantizar los requerimientos nutricionales del pez (Ayadi *et al.*, 2012).

En el caso del aceite de pescado, la industria acuícola consume el 70% del aceite de pescado producido a nivel mundial, y de este, el 90% proviene de la pesca de arrastre (Blomqvist *et al.*, 2018). De acuerdo con la organización internacional de alimentos marinos IFFO los alimentos estandarizados contienen cerca del 22% de harina de pescado y 4,8% de aceite de pescado (IFFO, 2017). Lo que representa una alta dependencia de la acuicultura del aceite de pescado como recurso finito (Betancor *et al.*, 2017). Dado que los peces cultivados requieren fuentes ricas en AG omega 3, ARA, EPA y DHA. La dependencia del aceite de pescado ha impulsado la búsqueda de nuevas fuentes AG renovables (Beheshti *et al.*, 2018).

En el marco de una acuicultura moderna y sostenible, la fabricación de alimentos debe incluir la sustitución de ingredientes marinos, por ingredientes ambientalmente sostenibles de origen vegetal, de alto valor nutricional que limiten la dependencia de los recursos marinos (Malcorps *et al.*, 2019). El problema radica en encontrar la fuente idónea de aceite para alimentos, sin alterar la composición nutricional de músculos y peces (Sprague *et al.*, 2016). Los principales aceites vegetales usados en la nutrición de peces son aceite de canola, soja, palma, girasol y oliva, en sustitución parcial del aceite de pescado (Shepherd *et al.*, 2017; Hodar *et al.*, 2020). No obstante, fuentes de aceite no tradicionales han sido investigadas, como el aceite de coco (Dawood *et al.*, 2021) y sacha (Lima *et al.*, 2019).

Las ventajas de los aceites vegetales en la nutrición piscícola radican en su bajo costo de producción y disponibilidad (Shepherd y Bachis, 2014). Su inclusión puede contribuir en las investigaciones sobre biosíntesis del colesterol en peces (Boonanuntanasarn *et al.*, 2019). En cuanto a los efectos de la inclusión del aceite vegetal en la dieta de tilapia, estos deben ser analizados de forma independiente.

Análisis previos indican que es posible sustituir hasta un 70% del aceite de pescado en dietas piscícolas por mezclas vegetales, sin alterar el rendimiento y desarrollo, siempre y cuando se garanticen las concentraciones adecuadas de ácidos grasos esenciales y el consumo equilibrado de n3 y n6 (Torrecillas *et al.*, 2017a). Sin embargo, la sustitución del aceite vegetal viene acompañada de la creciente preocupación de trasladar la presión sobre el ambiente marino al terrestre y afectar la producción de alimento humano (Shepherd *et al.*, 2017), e incrementar la huella hídrica asociada a la acuicultura terrestre (Fry *et al.*, 2016).

3.1.3. Calidad del agua, sistemas RAS y ambiente.

El desarrollo de los peces en sistemas de producción depende en gran medida de la calidad del agua suministrada, en este sentido los factores más importantes que deben ser considerados en cualquier sistema de producción son: temperatura, oxígeno disuelto (OD), pH, transparencia, conductividad, materia orgánica, alcalinidad, amonio, nitritos, nitratos y cloro (FAO, 2011). La calidad del agua determina sus características físicas y químicas, para el desarrollo de tilapia estas deben mantenerse en el rango óptimo descrito en la tabla 1. El estado óptimo de los indicadores de calidad de agua garantiza el desarrollo adecuado de los individuos en los sistemas productivos, además disminuir la aparición de enfermedades.

Tabla 1. Rangos óptimos de los parámetros físicos y químicos de calidad de agua para el cultivo de Tilapia nilótica.

Parámetros	Rango
Temperatura	25,0-32,0°C
Oxígeno Disuelto	5,0-9,0 mg/L
pH	6,0-9,0
Alcalinidad Total	50-150 mg/L
Dureza Total	80-110 mg/L
Calcio	60-120 mg/L
Nitritos	0,1 mg/L
Nitratos	1,05-1,2 mg/L
Amonio total	0,1 mg/L
Hierro	0,05-0,2 mg/L
Fosfatos	0,15-0,2 mg/L
Dióxido de Carbono	5,0-10 mg/L
Sulfuro de Hidrógeno	0,01 mg/L

Fuente. Tomado de Saavedra (2006)

Los sistemas de recirculación de agua RAS en acuicultura son sistemas que integran tratamiento y reutilización de agua, donde se renueva menos del 10% del volumen total del estanque (Huerta, 2017). Los sistemas RAS son una alternativa de producción de bajo costo, se construyen con materiales de fácil acceso en cuatro etapas, sedimentación, filtración mecánica, biofiltración, aclaramiento con carbón activado y esterilización ultravioleta (Soto, 2018). Este sistema se caracteriza por reciclar el agua de los estanques, reducir la descarga de agua a los afluentes de abastecimiento, optimizar el uso del agua, además de la conversión de nitrógeno a amoníaco y nitratos (Hernández *et al.*, 2016), por su fácil funcionamiento e infraestructura son adecuados para la producción comercial piscícola.

Tilapia se cultiva tradicionalmente en sistemas terrestres poco sustentables que generan problemas ambientales a mediano y largo plazo. Los sistemas cultivo de recirculación, al reutilizar el agua, generan descargas mínimas a afluentes, conservando y optimizando el agua usada. Para mantener el estado óptimo del agua esta pasa por procesos de tratamiento sucesivos que eliminan los desechos (amonio y fosfatos). El sistema RAS se basa en el cultivo de altas densidades de tilapia en espacios reducidos, incluso a bajas temperatura (menores a 19 °C), durante todo el año. La densidad de siembra dependerá del tamaño del tanque (Owatari *et al.*, 2018; El-Sayed, 2020).

Los sistemas RAS son instalables en interiores, requieren menor tiempo de cultivo y mano de obra en alimentación o cosecha (Riche y Garling, 2003). A parte de los beneficios ambientales, el sistema puede implementarse en zonas con pocas fuentes de agua. Su mayor desventaja es el costo de implementación inicial (DeLong *et al.*, 2009). Produce altos rendimientos en espacios pequeños. El rendimiento esperado es de 2 ton/Ha a 7 ton/Ha por ciclo, e individuos con peso promedio de 500 g (Ornelas *et al.*, 2017).

3.1.4. Bioecología, morfología y cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

La tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus* es un pez teleósteo, del orden *Perciforme* perteneciente a la familia *Cichlidae*, habita en la mayor parte de las regiones tropicales del mundo (Botello *et al.*, 2011). Introducido en prácticamente todas las regiones del planeta, gracias a su fácil adaptabilidad a diferentes condiciones ecológicas y ambientales, desde aguas salobres, marinas, hasta estuarinas y continentales puede encontrarse en todos los ecosistemas acuáticos tropicales (FAO, 2009; FAO, 2020).

Las tilapias son herbívoros, detritívoros, cuyas funciones ecológicas principales son: circulación de metabolitos de nutrientes en la producción primaria y apoyar a los piscívoros en los ecosistemas, por tanto, son importantes como fuente de alimentos para otros peces tropicales en sus ecosistemas nativos (Lowe, 2000). Tilapia es una especie endémica de África, se encuentra en las cuencas de los ríos Nilo, Níger, Chad y en los lagos de oriente medio. La especie fue introducida a América a través de instalaciones piscícolas y pesca recreativa, además de estar presente en más de 100 países tropicales y subtropicales. En su medio natural, los adultos se alimentan de material vegetal, detritos vegetales, algas bentónicas, micrófitos y perifiton (Beveridge y Baird, 2000).

El género *Oreochromis* se clasifica como omnívoro, y su requerimiento alimentario varía según la edad de tilapia. Los juveniles se alimentan de fitoplancton,

zooplancton y pequeños crustáceos; además es una especie que acepta fácilmente los alimentos suministrados artificialmente (Saavedra, 2006). Tilapia hace parte de la cadena trófica de diversos predadores, en Mozambique es parte fundamental de la dieta de *Clarias gariepinus* (pez gato africano). La mayor tasa de depredación de tilapia la registran las hembras a causa de los peces piscívoros. Es susceptible a la depredación durante la reproducción y el cuidado de los huevos, dado que sus hábitos alimenticios incluyen de forma preferencial invertebrados acuáticos, no suele considerarse un pez piscívoro, y los reportes de canibalismo se limitan a estadios juveniles en condiciones de cultivo (Webster y Lim, 2006).

Reino: Animalia

Phylum: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Perciformes

Familia: Cichlidae

Género: *Oreochromis*

Especie: *Oreochromis niloticus* Huet, (1978)

Variedad: Chitralada

Nombres Comunes: Tilapia del Nilo, Tilapia plateada, tilapia, mojarra lora, mojarra plateada.



Figura 1. Adulto de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus*. Fotografía Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba CINPIC, 2018.

En su morfología externa la tilapia nilótica presenta un cuerpo comprimido (Figura 1); la profundidad del pedúnculo caudal es igual a su longitud, tiene escamas cicloideas, protuberancia ausente en la superficie dorsal del hocico, la longitud de la quijada superior no muestra dimorfismo sexual, el primer arco branquial tiene entre 27 y 33 filamentos branquiales; la línea lateral se interrumpe, presenta 16 o 17 espinas rígidas y blandas continuas en aleta dorsal (entre XI y XV radios); la aleta anal tiene 3 espinas y X u XI radios, la aleta caudal es truncada y las aletas pectoral, dorsal y caudal adquieren una coloración rojiza en temporada de desove; así mismo la aleta dorsal presenta numerosas líneas negras (FAO, 2009).

Posee dimorfismo sexual, el macho presenta dos orificios en la cavidad abdominal: el ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres: el ano, el poro genital y el orificio urinario. En ambos sexos, el ano es visible; es un agujero redondo; el orificio urogenital del macho es un pequeño punto y en la hembra es microscópico, aunque visible, el poro genital se encuentra en una hendidura perpendicular al eje del cuerpo (Saavedra, 2006; Hsien y Quintanilla, 2008).

Por facilidad reproductiva, bajo costo de producción, altos rangos de tolerancia ambiental, la tilapia es una opción rentable para incrementar la producción pesquera (Vicente y Fonseca, 2013). Para cultivar tilapia se debe considerar: el contenido de energía en la dieta, fisiología del pez, edad, peso y madurez; factores ambientales, temperatura, salinidad, OD; calidad de la proteína suministrada y tasa de alimentación (Zambrano, 2013). Los sistemas empleados para su cultivo van desde los más rudimentarios (extensivos) hasta las granjas tecnificadas (intensivos y súper-intensivos) (Vega *et al.*, 2010).

El desarrollo óptimo de tilapia requiere un rango de temperatura entre 20 a 30 °C, aunque puede tolerar temperaturas mayores o menores, no crece a temperaturas inferiores a 15 °C, la temperatura de reproducción óptima es de 26-30 °C. Tilapia puede tolerar temperaturas máximas por periodos prolongados entre 40 a 42 °C. El desove de tilapia se produce entre los 20 a 23 °C, en regiones frías con disponibilidad de aguas cálidas puede darse desove continuo (Xie *et al.*, 2011; Santo *et al.*, 2013; Stickney, 2017). La concentración de OD ideal es 2 o 3 mg/L, aunque el rango de tolerancia de tilapia puede alcanzar 1 mg/L, concentraciones inferiores de OD reducen el consumo de alimento, retrasan el crecimiento. Niveles de OD de 0,3 a 0,8 ppm son letales para tilapia, por lo que se recomienda evitar la fertilización excesiva del sistema (Makori *et al.*, 2017).

El pH óptimo para la cría de tilapia es entre 7 y 8. La especie no tolera pH muy ácidos (menores a 5), aunque reportes previos indican que los juveniles se pueden criar en pH de 5 a 8. La especie puede sobrevivir a pH ligeramente alcalinos (pH 11) (Mustapha y Atolagbe, 2018). Tilapia se puede desarrollar en una altura de hasta

2000 msnm y los periodos de luminosidad influyen sobre el desarrollo de las plantas acuáticas y otros organismos que hacen parte de su dieta primaria (Saavedra, 2006).

Tilapia nilótica puede ser cultivada en estanques, corrales y jaulas, en cada una de estas estructuras se debe garantizar una fuente de proteína adecuada, profundidad no menor a 1 m, aguas limpias, no fangosas, además de los requerimientos ambientales de la especie. Los sistemas cultivo de tilapia pueden clasificarse como extensivos, semi-intensivos, intensivos y súper-intensivos (Meyer, 2004). En los sistemas extensivos se aplican modificaciones mínimas del ambiente y se emplea poco control el sistema, la calidad, cantidad de insumos empleados en la producción, el estanque puede ser de 10 a 20 Ha y se emplea una tasa de siembra de 10,000 a 20,000 peces/Ha (Saavedra, 2006).

Los sistemas semi-intensivos han sido ampliamente utilizados en Asia, África y América Latina, es común en ambientes de agua salobre. Este tipo de sistemas requiere modificaciones del medio. Los estanques construidos en tierra tienen profundidades entre 0,7 y 1,5 m; se suelen drenar para la cosecha. En el sistema semi-intensivo se controlan todos los aspectos de producción. Se usa fertilización orgánica o inorgánica, alimentos y otros insumos (El- Sayed, 2016). La tasa de siembra varía de 50,000 a 100,000 peces/Ha o de 50 a 250 peces/m³, en ciclos de cuatro a seis meses desde la siembra de alevines hasta la cosecha (Romana *et al.*, 2013). En este sistema se puede llevar a cabo el policultivo de tilapia con otras especies de peces y crustáceos, además de combinar el cultivo de tilapia con sistemas agrícolas como el arroz (Saavedra, 2006; Wang y Lu, 2015; El- Sayed, 2020).

En los sistemas intensivos de estanques y canales de flujo rápido, las dimensiones varían de 10 a 1000 m³. Son de forma circular, rectangular, cuadrada u ovalada, la cual debe facilitar la remoción de residuos. El recambio de agua corresponde al 5% del volumen total por día. La densidad de siembra en canales de flujo oscila entre 160 a 185 kg/m³ (FAO, 2021). En este tipo de sistemas se controlan todos los

parámetros de producción y calidad de agua, se suministra alimento complementario de calidad con 25 a 30% de proteína, en estos casos el alimento se suministra en razón de 2-4% de biomasa y no debe superar 80 a 120 Kg/Ha/día, para estanques (Saavedra, 2006).

Otras formas de cultivo súper-intensivo son estanques de tierra, sembrados en proporciones de 50.000 a 150.000 peces/ha, con peces de peso promedio entre 5 y 30 g/pez, mantenidos en los estanques hasta que alcanzan los 200 a 250 g en ciclos de 5 a 8 meses (El-Sayed, 2015). Tilapia también suele cultivarse en jaulas flotantes, con densidad de siembra de 600 tilapias/m³ (jaulas de volumen alto, mayor a 5 m³) o de 60 a 100 tilapias/m³ en jaulas de volumen bajo. Los tanques de hormigón son otra forma de cultivo súper-intensivo, de forma redonda o rectangular, la densidad de cría oscila entre 25 a 100 peces/m³, según el tamaño de la población inicial. La aireación del tanque se realiza con compresores de aire y el agua se sustituye parcialmente de acuerdo a nivel de deterioro (El-Sayed, 2016).

Un mecanismo de cultivo en auge usado en los sistemas productivos de tilapia es BFT (Biofloc Technology). El principio fundamental de esta tecnología es la generación de ciclos de nitrógeno en sistemas acuícolas estancados, a través de la estimulación del crecimiento de microorganismos asimiladores de nitrógeno que puedan usarse como alimento piscícola (Ekasari *et al.*, 2015; Malpartida *et al.*, 2018). BFT ha sido aplicado en sistemas de estanque, jaula y sistemas de recirculación, donde se busca hacer uso eficiente de nutrientes e intercambiar mínima o nulamente el agua (Ogello *et al.*, 2014). Es ecológicamente sustentable y propicia la reducción de cerca del 50% del alimento y hasta el 67% de agua en comparación con los sistemas tradicionales de cultivo (García *et al.*, 2019).

3.1.5. Composición de la dieta de tilapia en cultivo.

Bajo condiciones de cultivo a los organismos se les debe proporcionar una dieta de buena calidad, que supla sus necesidades nutricionales. La tilapia además de las condiciones idóneas de cálida de agua tiene requerimientos nutricionales

específicos. La alimentación de los alevines es similar a la de los adultos, sin embargo, a los alevines se les debe suministrar entre un 30 y 45% de proteína cruda (CP), dependiendo del peso del alevín. Alevines con peso de 0,5 a 10,0 g deben consumir entre 40 y 45% de CP, mayores de 10 g, de 30 a 35% de CP y peces con peso promedio superior a 30 g deben consumir entre 25 y 30% de CP (Jauncey, 2000). Tilapia requiere por lo menos diez aminoácidos esenciales (arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina), y dos semiesenciales (cisteína y tirosina) que deben garantizarse en la dieta y pueden suministrarse con el uso de proteína vegetal o animal, e incluso con la suplementación de aminoácidos sintéticos (Ng y Romano, 2013).

La proporción de lípidos óptima es de 8 a 12% para tilapias con pesos inferiores a 25 g y entre 6 a 8% para adultos. Otros informes sugieren que los requerimientos lipídicos diarios pueden ser de hasta 15% en alevines de 1,6 g; híbridos de tilapia requieren hasta 18% de lípidos en la dieta. No obstante niveles altos de lípidos limitan el crecimiento de tilapia, por lo que se recomienda 6% de lípidos en dietas estandarizadas (Mjoun *et al.*, 2010; El-Sayed, 2020).

Las proporciones alimenticias de tilapia nilótica dependen en gran medida del sistema de producción. En un sistema RAS con temperatura promedio de 28 °C, peces con peso inferior a 5 g la alimentación diaria debe equivaler de 10 al 30% de su peso, peces con peso entre 5 y 20 g del 6 al 4% de su peso, peces entre 20 y 100 g del 4 al 3% de su peso y peces de peso superior a 100 g entre el 3 y 1,5% de su peso (Riche, 2003). El contenido de proteína en dietas de engorde para el sistema RAS debe oscilar entre el 30 y el 32% (Radwan, 2010; El-Sayed, 2020). Se debe garantizar la demanda mínima de proteínas, lípidos y carbohidratos durante el desarrollo y engorde, dietas con 34 a 36% de proteína cruda proporcionan crecimientos de 1 a 5 g por talla, por costos el suministro de proteína puede reducirse hasta un 25% de proteína cruda en la dieta. Además, tilapia nilótica posee otros requerimientos nutricionales como ácidos grasos omegas (Tabla 2) y algunas

vitaminas y minerales (Tabla 3), dependiendo del agua que se utilice en el sistema de producción (Bhujel, 2002; Rathore *et al.*, 2017).

Tabla 2. Requerimientos de proteínas, carbohidratos y lípidos en dietas para tilapia.

Nutrientes esenciales	Estadio	Requerimiento dietario
Proteína	Alevino/juvenil	45 - 60 / 35 - 45 %
	Engorde	25 - 35 %
	Reproductor	25 - 35 %
Carbohidratos	Alevino/juvenil	< 25 %
	Engorde	25 - 30 %
	Reproductor	No conocido
Proteína: Relación energética	Alevino/juvenil	120 / 110 mg/kg
	Engorde	103 mg/kg
	Reproductor	No conocido
Lípidos: Totales	Alevino	5 - 8 %
	Adulto	8 - 10 %
Ω-6 EFA	Todos los estadios	0,5 - 1,0 %
Ω-3 EFA	Todos los estadios	0,5 - 1,0 %

Fuente. Manejo alimentario de tilapia (Bhujel, 2002), Citado por Rathore *et al.*, 2017.

Tabla 3. Requerimiento de vitaminas y minerales en la dieta de tilapia.

Vitaminas esenciales	Requerimiento dietario	Minerales esenciales	Requerimiento dietario
A	2.000 – 5.000 UI	Ca	0,3 – 0,7 %
B1	2 – 60 mg/kg	P	0,5 – 1,0 %
B2	5 – 60 mg/kg	I	0,6-1,1 mg/kg dieta
B6	2 – 20 mg/kg	Mg	0,5 – 0,8 g/kg dieta
C	50 – 1.250 mg/kg	Zn	20 – 30 mg/kg dieta
D	375 UI	Fe	< 17,05 mg/L
E	100 – 500 UI o 50 – 100 mg/kg	Cu	< 1,27 mg/L
		Cr	2 mg/kg

Fuente. Manejo alimentario de tilapia (Bhujel, 2002)

La principal fuente de proteína en la alimentación comercial de tilapia nilótica es la harina de pescado, por su alto contenido proteico y perfil de ácidos grasos esenciales (AGE), esta suele ser costosa y de difícil acceso para los productores con recursos económicos limitados, en estos casos la harina de pescado puede ser remplazada por proteína de origen vegetal, subproductos animales, harinas de oleaginosas, subproductos de leguminosas, cereales y plantas acuáticas, aunque se debe considerar la adición de suplementos o complementos con AGE, por el déficit de estos en las dietas de remplazo, otros aspectos a tener en cuenta es la escasez de algunos aminoácidos, para ellos se debe elegir una dieta que pueda suplir todas las necesidades nutricionales de tilapia nilótica.

La formulación de dietas comerciales para tilapia varía con el país de producción, los ingredientes más comunes son: harina de pescado, harina de soya, salvado de arroz, arroz como subproducto, mezcla de vitaminas y minerales, otras formulaciones incluyen harina de carne, harina de cacahuete, salvado de trigo, maíz o arroz, aceite vegetal o de pescado y fosfato de calcio, las proporciones de la mezcla dependen del fabricante (FAO, 2020), estas fórmulas alimenticias pueden ser en forma de alimento seco, húmedo, sumergible y flotante (Bouvier y Brisset, 2006; FAO,2020).

Dado que tilapia nilótica puede consumir una amplia gama de alimentos, se puede afirmar que posee gran capacidad de digerir y asimilar carbohidratos, dependiendo de la cantidad de fibra, frecuencia de alimentación, etapa fisiológica del individuo, tipo y origen del carbohidrato (Poot *et al.*, 2012). El procesamiento previo de las dietas no afecta los parámetros de desempeño y por el contrario pueden favorecer las tasas de crecimiento (Aguilar *et al.*, 2010). La digestibilidad de una dieta puede variar en función de los ingredientes, otros factores que afectan la digestibilidad son, la edad, estado fisiológico, temperatura del agua, la frecuencia de alimentación y el origen de las materias primas que componen la dieta, las fuentes proteicas de origen animal diferentes a la harina de pescado, como fuente primaria de proteína tienen buena aceptación y digestibilidad por parte de tilapia nilótica (Gutiérrez *et al.*, 2011).

3.1.6. Ácidos grasos, biosíntesis e importancia en la nutrición de tilapia y la seguridad alimentaria.

Los ácidos grasos (AG) son ácidos carboxílicos con cadenas de hidrocarburos largas, de 4 a 24 carbonos, no ramificadas, presentes en todos los organismos como parte de las grasas y lípidos de la membrana plasmática (bicapa lipídica). Por lo general se encuentran en forma esterificada (unidos a un alcohol, en forma de glicerol, esfingosina y colesterol), y en forma menos frecuente no esterificados o de forma libre unidos a una proteína, en las plantas y animales superiores se encuentran en forma no ramificada (cadena larga) con 16 o 18 carbonos, los ácidos

grasos con uno o más doble enlace en algún carbono se le conoce como insaturado. Los AG esenciales son aquellos que deben suministrarse en la dieta, estos son poliinsaturados y son utilizados por el organismo para sintetizar otras sustancias fundamentales (Koolman y Röhm, 2005).

Las propiedades físicas de los AG varían según el grado de insaturación, el doble enlace aparece por lo general en el carbono 9, para los AG poliinsaturados el doble enlace se presenta cada tres carbonos hacia el metilo de la molécula, los triples enlaces no son frecuentes en la naturaleza. Los AG más importantes son la omega 3 y 6, esta nomenclatura indica el último carbono con doble enlace, los AG más comunes son palmítico, oleico y linoleico (Figura 2). Los AG biológicos más comunes son: láurico, mirístico, palmítico, esteárico, araquídico, behénico, lignocérico, en el grupo de los saturados (sin doble enlace), palmitoleico, oleico linoleico, alfa linoleico, linolénico, araquidónico, eicosapentaenoico EPA, docosahexaenoico DHA y nervónico, del conjunto de AG insaturados todos con enlaces cis (Voet y Voet, 2004)

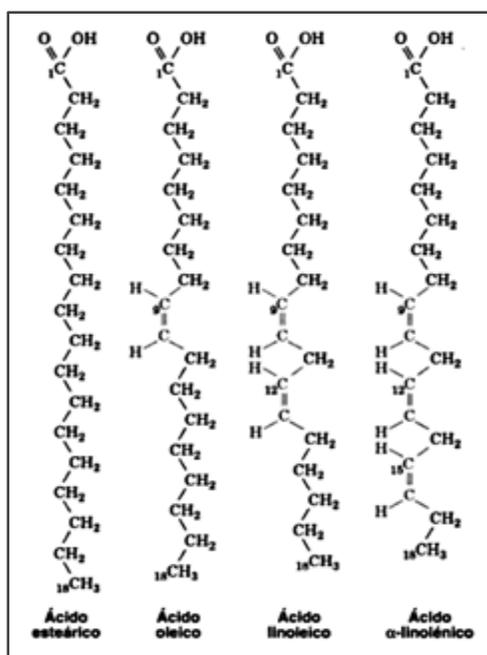


Figura 2. Fórmula estructural de algunos ácidos grasos (C18). Fuente: Bioquímica Ed 3 (Voet y Voet, 2004).

Existen dos mecanismos de biosíntesis de AG poliinsaturados (AGPI), aeróbico, que ocurre en animales y algunos microorganismos y otro anaeróbico que ocurre en bacterias. Los AGPI se sintetizan a partir de AG monoinsaturados como el oleico. El proceso inicia con la elongación de la cadena, al pasar dos átomos de carbono desde el donador, que puede ser acetil CoA o malonil CoA, a la cadena de AG, el primer doble enlace aparecerá entre los carbonos 12 y 13, dando lugar al AG linoleico a partir de oleico, el segundo doble enlace se introduce entre los carbonos 15 y 16 dando lugar a la formación de ácido alfa linolénico a partir de AG linoleico, procesos secuenciales de naturalización y desnaturalización dan lugar a AG más complejos (Figura 3). Otro mecanismo de biosíntesis se denomina PKS (paso anaeróbico de la policétido sintasa), es un proceso anaeróbico y requiere un gran número de enzimas (Hinzpeter *et al.*, 2006).

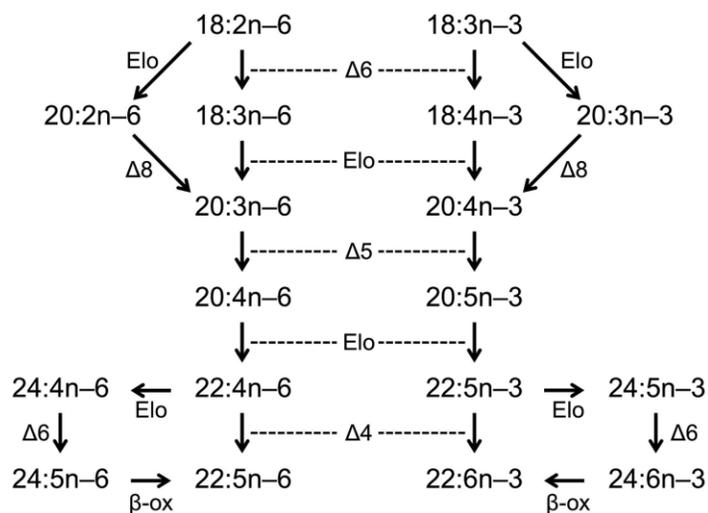


Figura 3. Ruta de biosíntesis de ácidos grasos en vertebrados. Elo: Elongación, $\beta\text{-ox}$: beta oxidación, Δn : Δn desaturasa. Fuente: Kabeya *et al.* (2018).

Las principales funciones de los lípidos en los organismos son: ser componente de la membrana plasmática, almacenamiento de carbono y energía, precursor de otras sustancias químicas importantes, aislante contra choque térmico, eléctrico y físico, recubrimiento, protector contra infecciones y pérdida excesiva de agua, vitaminas y hormonas y transporte de AG. Al ser catalogados como lípidos los AG tienen como

función principal servir como combustible metabólico y materia prima para la construcción de otros lípidos (Melo y Cuamatzi, 2020).

En el ser humano los AGPI cumplen otras funciones esenciales, el DHA constituye el 25% de los AG presentes en la corteza cerebral, contribuye al desarrollo cognitivo y visual de los infantes (Valenzuela *et al.*, 2013). El AG EPA participa en la respuesta inflamatoria, el ácido araquidónico influye en la prostaglandina y en factores activadores de plaquetas (Waitzberg y Garla, 2014). El valor nutricional que ofrecerá la tilapia y sus filetes para la seguridad alimentaria es un aspecto importante por contemplar en la formulación de dietas para su cultivo. De acuerdo con Liu *et al.* (2019a) los AG oleico, linoleico, linolénico, EPA y DHA tiene efecto sobre la composición lipídica del músculo, los AG 16: 0 y 18: 1n-9 pueden usarse como fuente promotora de AG en la dieta para tilapia nilótica.

La composición de ácidos grasos de los teleósteos es afectada por la constitución de los ácidos grasos en la dieta, además afecta la composición lipídica de las partes consumibles y calidad nutricional final (Bell *et al.*, 2002; O'Neal y Kohler, 2008; Arslan *et al.*, 2008; Lewis y Kohler, 2008; Xu *et al.*, 2010). El grado de retención o el catabolismo de los ácidos grasos es dependiente del tipo de ácido graso, de su nivel dietético y del tipo de tejido. Existe un interés creciente en los efectos benéficos del consumo de peces debido al gran número de evidencias que asocian el consumo de n3 HUFA (ácidos grasos altamente poliinsaturados) a la reducción de enfermedades cardiovasculares (Calder, 2004). Esto hace, entre otros, que el pescado sea una de las fuentes más importantes de HUFA n3 en la nutrición humana.

Actualmente el mercado consumidor procura alimentos con menor contenido de grasas y mejor perfil de ácidos grasos. Eso puede ser manipulado por las fuentes de aceites utilizados en las formulaciones de la dieta usada en el cultivo, produciendo pescado con menor deposición lipídica y perfil de ácidos grasos deseable. Los n3 del aceite de pescado tiene incidencia en el decrecimiento de la

concentración de triglicéridos séricos en compañía del incremento de lipoproteínas de alta densidad (LDL) y lipoproteínas de baja densidad (HDL) (Kris-Etherton *et al.*, 2002). De este modo, diversos autores relatan el efecto del tipo de lípidos de la dieta y las lipoproteínas plasmáticas en algunas especies de peces, como el sea bass europeo (*Dicentrarchus labrax*), trucha (*Oncorhynchus mykiss*), salmón atlántico (*Salmo salar*) (Richard *et al.*, 2006a; Richard *et al.*, 2006b; Jordal *et al.*, 2007).

Los diferentes tipos de aceites presentan variadas composiciones de ácidos grasos, estos pueden ser divididos en aceites vegetales, como maíz, linaza, sacha, palma, o en aceites animales como el aceite de pescado. Los aceites vegetales están disponibles en el mercado a un precio accesible en comparación con los aceites de origen animal, además presentan mayor estabilidad de oxidación, preservándose por un periodo mayor. El aceite de pescado representa una rica fuente de HUFA, como EPA (ácido eicosapentaenoico) y DHA (ácido docosahexaenoico), mientras que la mayoría de los aceites vegetales son ricos en ácidos grasos insaturados con 18 carbonos, como α -linolénico (C18:3n3), el linoleico (C18:2n6) y el oleico (C18:1n9). Sin embargo, son fuentes pobres n3 HUFA. Esos ácidos grasos con 18 carbonos son nutricionalmente esenciales ya que son precursores de HUFAs como EPA, DHA y ARA (ácido araquidónico).

La sustitución del aceite de pescado por aceites vegetales puede causar un detrimento de EPA y DHA en los tejidos de los peces, consecuentemente, de su estado fisiológico, esto también puede alterar su valor nutricional para el consumidor (Turchini *et al.*, 2009). Tomando en consideración que la composición lipídica del músculo del pez generalmente refleja la formulación de las dietas, es un desafío incluir nutrientes dietéticos de promoción a la fisiología del animal. Estos se pueden transformar en productos benéficos a la salud humana. En contexto, la modificación de ácidos grasos y la maximización en la deposición de ácidos grasos de cadena larga n3 (EPA y DHA) están atrayendo cada vez más interés para el consumidor. Así, mediante la determinación de la composición lipídica se puede inferir sobre la

capacidad de la especie para usar diversas fuentes lipídicas y la disposición de estos ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga en los tejidos.

3.1.7. Parámetros metabólicos y su importancia en la nutrición de peces.

El hígado es un órgano clave que controla muchas funciones vitales y tiene un papel importante en la fisiología del animal. En teleósteos está bien desarrollado y su peso equivale al 2% del peso total del individuo (Álvarez *et al.*, 2009). Es un órgano con muchas actividades metabólicas y cualquier evaluación de su estatus funcional depende de la habilidad para realizar una función metabólica específica (Guillaume *et al.*, 2004). En peces se puede comportar como el complejo hepatopáncreas, siendo que esta estructura está en el parénquima hepático, alrededor de la vena porta, característica que lo distingue de mamíferos (Álvarez *et al.*, 2009). Así, el hígado realiza tanto funciones hepáticas como pancreáticas.

El hígado órgano metabolizador por excelencia de todas las sustancias que llegan por vía sanguínea, por tanto, sirve como referencia histológica, paramétrica y funcional, para el análisis de la actividad o daño de tejido causado por factores ambientales, nutricionales, entre otros (Amaral *et al.*, 2002). Su uso como órgano indicador del estado nutricional y fisiológico en peces es bien conocido (Bolla *et al.*, 2011). En teleósteos es un órgano multifuncional responsable por el metabolismo de los nutrientes, al tiempo produce bilis, participa en la digestión y absorción de lípidos, participa en la producción de colesterol y vitelogenina durante el crecimiento gonadal y desintoxicación de compuestos extraños, entre otras funciones (Flores y Malabarba, 2007).

La mayoría de los efectos regulatorios de la utilización y metabolización de nutrientes inicialmente ocurre en el hígado, así consecuentemente afecta una cascada de otros eventos en otros tejidos y órganos (Enes *et al.*, 2009). De tal modo, el deterioro de la estructura y función hepática puede afectar la homeostasis y llevar a la muerte del organismo, pues desempeña papel central en la regulación del

metabolismo en respuesta al estado nutricional, y proporciona a los demás órganos una mezcla adecuada de nutrientes (Torres *et al.*, 2010).

Las modificaciones en el hígado referentes a cambios de peso y volumen, relativos a reservas de energía, son evaluadas usando el índice hepatosomático (IHS) (Schulz *et al.*, 2005; Chatzifotis *et al.*, 2010; Crouse *et al.*, 2013). Este parámetro acostumbra a ser un indicador de la condición del pez, para expresar la dinámica en el uso de la energía endógena del organismo a través del hígado (Nagel *et al.*, 2012). También se emplea para evaluar los efectos de la sustitución del aceite de pescado por fuentes de origen vegetal en la dieta, proporcionar información sobre el metabolismo, calidad de la dieta y es indicador del estado nutricional del pez (Figueiredo *et al.*, 2005).

En vista de lo anterior, es necesario considerar que el hígado precisa ser analizado, pues desempeña un papel fundamental en el metabolismo y regulación de nutrientes, ya que sufre alteraciones en parámetros y morfología que ocurren con algunas condiciones nutricionales específicas. Así, el monitoreo de este órgano es una forma sensible y precisa para evaluar los efectos de los nutrientes de la dieta en el metabolismo del animal. Por otro lado, el sitio de deposición lipídica tiene importancia relativa y varía notablemente. Los principales lugares son hígado, tejido adiposo previsceral, gónadas y músculo (Bandarra *et al.*, 2006; Bell *et al.*, 2010; Bórquez *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2012; Messina *et al.*, 2013; Norambuena *et al.*, 2013). Los lípidos alimentares desempeñan un importante papel, no solo como fuente de energía, ácidos grasos esenciales y vitaminas liposolubles, también por tener funciones fisiológicas importantes (Luo *et al.*, 2008).

El perfil lipídico en la carcasa de los peces depende de diversos factores que van más allá de los niveles de ácido graso en la dieta (Ribeiro *et al.*, 2008). La digestibilidad, los procesos de absorción, transporte, alargamiento, desaturación (Bell *et al.*, 2001; Bell *et al.*, 2002) y β -oxidación de los ácidos grasos también irán afectar la composición lipídica final y, por tanto, deben ser considerados (Torstensen *et al.*, 2000; Menoyo *et al.*, 2004; Leaver *et al.*, 2008). La cantidad de energía en las

dietas de peces con el incremento del porcentaje de lípidos induce una mejoría en la conversión alimentaria y un aumento en la ganancia de peso. Entre tanto, eso determina un aumento de lípidos en los tejidos y cambios en las concentraciones de lipoproteínas plasmáticas, triglicéridos y colesterol sérico (Hsieh *et al.*, 2007; Ferreira *et al.*, 2011).

Otro parámetro importante es el índice gonadosomático (IGS). Este consiste en el peso de la gónada expresado como porcentaje del peso corporal eviscerado o eviscerado y sin ovario (Murray *et al.*, 2014). En la mayoría de las especies con puesta estacional este índice cambia muy notoriamente en las sucesivas etapas del desarrollo gonadal. En cambio, en peces sin estacionalidad en la puesta este índice apenas varía a nivel poblacional.

Los índices gonadales pueden ser una herramienta útil para la identificación del momento de la puesta, pero no suele permitir la clasificación en estados de madurez, por lo que tienen que usarse junto con otros métodos de diagnóstico. Es un método práctico, sin embargo, es necesario evaluar su idoneidad para el caso concreto de cada especie (De Vlaming, 1983), comprobando previamente que la correlación entre peso del ovario y peso del pez sea significativa; así mismo que, el coeficiente de variación del peso gonadal sea constante en todas las tallas del rango; adicionalmente que la regresión entre el peso gonadal y el peso corporal/talla no sea significativamente diferente en los distintos estados de desarrollo. Estas limitaciones son inherentes al uso de proporciones de cualquier tipo. Cuando se analiza el IGS en una especie se debe conocer si los peces van a mantener la misma proporción peso corporal- peso gonadal sea cual sea su talla, edad, área o época. Si esto no se cumple, el IGS no es válido para la clasificación en estados de desarrollo y solo sirve para delimitar la época de puesta.

3.2. ANTECEDENTES

Las investigaciones sobre la sustitución de fuentes alimenticias no se limitan a la composición corporal, Tocher (2003) y Glencross (2009), han afirmado que los requerimientos lipídicos son diferentes entre peces de agua dulce y marinos. Es por ello por lo que en los últimos años se han incluido en las dietas de peces de cultivo nuevas fuentes de ácidos grasos (AG) de origen vegetal y animal, con el fin de hacer mejor aprovechamiento de los recursos pesqueros y mejorar la sostenibilidad de las especies (FAO, 2011). Como fuentes de origen vegetal ricos en ácido linoleico podemos señalar el uso de aceite de maíz, girasol, soya y palma. A diferencia del ácido linolénico que solo se puede encontrar en el aceite de linaza (Turchini *et al.*, 2009).

Reportes previos han establecido que la sustitución del aceite de pescado por aceites de origen vegetal no tiene efecto sobre el crecimiento y desarrollo peces cultivados *Cyprinus carpio* (Steffens *et al.*, 1995) y *Chanos chanos* (Alava, 1998) siempre y cuando la dieta cumpla con los requerimientos de lípidos y proteínas. Al-Owafeir y Belal (1996), reportaron que el aceite de palma puede reemplazar al aceite de soya en alimento para la Tilapia del Nilo, con rendimientos similares en la composición corporal (proteína cruda entre el 75 y 76%, para las dietas de soya y palma), sin presentar efectos negativos en crecimiento o composición corporal, con efectos similares a los aceites de pescado.

Tocher *et al.* (2001), analizaron la regulación nutricional de la desaturación de AG en pez cebra y tilapia nilótica alimentados con aceite de pescado y una dieta experimental con contenido de aceite vegetal, mezcla de aceitunas, semilla de lino y aceite de girasol, durante 10 semanas, la dieta de origen vegetal fue formulada para proporcionar altos contenido de AG oleico y linolénico (precursores de AG poliinsaturados). Los resultados mostraron que la actividad metabólica de AG es mayor en peces alimentados con dieta de origen vegetal. El principal producto de desaturación de 18: 3n-3 al inicio de la dieta en hepatocitos de tilapia fue 20: 5n-3

(dieta origen vegetal). El efecto principal de la dieta de origen vegetal sobre el metabolismo de tilapia fue el aumento de la deposición de triacilglicerol en músculo y cerebro (aumento no significativo), que ocasionó la reducción de otros AG libres y ésteres, en hígado también se presente una reducción de AG libres, e incremento de lípidos polares, en general los investigadores observaron aumento de 18: 1n-9, n9 PUFA y 18: 3n-3, y la reducción de PUFA n3 (20: 5n-3 y 22: 6n-3), en comparación con peces alimentados con aceite de pescado.

Una conclusión similar a la anterior fue obtenida por Karapanagiotidis *et al.* (2007), que al alimentar ejemplares de tilapia nilótica con diferentes combinaciones aceite vegetales a base de palma, linaza y maíz, ricas en AG 18: 3n-3 comparadas con aceite de pescado, obtuvieron un incremento en PUFA n3 y disminución de PUFA n6 en tejidos musculares, estos resultados sugieren dificultades en la biosíntesis de 20: 5n-3 y 22: 6n-3 a partir de la dieta suministrada, lo cual podría ser un inconveniente en dietas de reemplazo.

En torno al metabolismo de ácidos grasos en peces se han elaborado múltiples investigaciones. Tocher (2003), analizó el metabolismo y la función de los lípidos en el organismo de peces teleósteos, describió los procesos de digestión, absorción, y transporte de AG, la producción *de novo*, y funciones, a nivel general, reproductiva, estructural, entre otros. Por su parte El-Saidy y Gaber (2003) evaluaron la sustitución de harina de pescado por fuentes de proteína vegetal en juveniles de tilapia nilótica, mediante el uso de cinco dietas isonitrógenas e isocalóricas (33,6% proteína bruta) formuladas con harina de pescado, soya, girasol, linaza, algodón y mezcla de proteína vegetal, en proporciones 0, 25, 50, 75 y 100 harina de pescado/mezcla vegetal. Los parámetros de desempeño peso inicial, peso, ganancia de peso, tasa de crecimiento, conversión alimenticia, eficiencia proteica, proteína por valor ductivo y valor biológico aparente no presentaron diferencias significativas entre dietas, por ende, las dietas de origen vegetal pueden sustituir a harina de pescado sin afectar parámetros de desempeño.

El efecto de la inclusión progresiva de ácidos grasos de origen vegetal en la dieta de tilapia nilótica fue evaluado por Visentainer *et al.* (2005), que sustituyeron de forma progresiva (0%; 1,25%; 2,50%; 3,75% y 5%) el aceite de girasol, por aceite de linaza cuyos contenidos de 18:3 n-3, EPA y DHA son más elevados. Los resultados muestran que no existen diferencia entre la concentración de lípidos totales en filete de tilapia por tratamiento, sin embargo, el porcentaje de sustitución de aceite de girasol por linaza influencia la concentración de AG linolénico, EPA y DHA, en filete de tilapia, en los tratamientos con mayor porcentaje de sustitución el contenido de estos AG fue significativamente más elevado ($p < 0,05$), $26,1 \pm 2,0$ mg/g de DHA en filete, tratamiento 5% de sustitución con aceite de linaza.

Ng y Wang (2011), evaluaron el efecto de la fuente de lípidos sobre tilapias alimentadas con dietas suplementadas con aceites vegetales. Los investigadores exploraron la sustitución parcial de aceite de pescado a través de cuatro dietas a base de caseína isonitrógena (35% de proteína), e isolipídica, en combinaciones de aceite de pescado, aceite de pescado y aceite de palma crudo, aceite de pescado y aceite de linaza. Los resultados indican que las hembras alimentadas con aceite de palma presentaron gónadas más grandes y desoves tempranos ($p < 0,05$), en comparación con las hembras alimentadas con aceite de pescado o linaza. El aceite de palma favoreció el incremento del número de huevos en el desove y la reducción del intervalo entre desoves, la dieta también afectó la composición lipídica (perfil de AG) de músculo, gónada, huevo y larvas recién eclosionadas.

La suplementación parcial del aceite de pescado con aceite vegetal fue analizada en tilapia y tilapia roja mejorada genéticamente, a través de dos dietas experimentales isonitrogenadas e isoenergéticas, una con composición lipídica del 10% aceite de pescado y otra con composición lipídica 10% mezcla de aceites vegetales. La mezcla de aceites vegetales contenía: aceite de oliva (15%), aceite de girasol (15%), aceite de linaza (30%) y oleína de palma refinada, blanqueada y desodorizada (40%); formulada para emular los contenidos de AG del aceite de pescado. La mezcla de aceites vegetales no afecta el crecimiento de tilapia nilótica

o tilapia roja. Los efectos en la digestibilidad de AG a causa de la fuente, solo fueron evidentes en 14: 0 y 16: 1n-7 donde la digestibilidad en peces alimentados con aceite de pescado fue mayor, la ingesta de AG no fue influenciada por el genotipo de tilapia si no por la fuente de AG. La actividad metabólica: neogénesis de AG ($0,637 \pm 0,172$), alargamiento de SFA y MUFA ($1,177 \pm 0,304$ alargamiento de PUFA n-3), desaturación ($\Delta 9$) ($0,386 \pm 0,107$), β -oxidación de AG ($0,145 \pm 0,077$; $0,400 \pm 0,049$; $0,429 \pm 0,038$; oxidación total de SFA y MUFA, PUFA n3 y PUFA n6 respectivamente) y desaturación $\Delta 5$ ($0,142 \pm 0,016$) y $\Delta 6$ ($0,288 \pm 0,030$) fue mayor en tilapia nilótica alimentada con la mezcla de aceite vegetal (Teoh *et al.*, 2011).

Moreno *et al.* (2013) usaron ejemplares de tilapia nilótica de peso promedio de $557 \pm 16,87$ g en un sistema de cultivo en jaula, evaluaron el efecto de la inclusión de diferentes fuentes de lípidos sobre el comportamiento productivo y la composición proximal del filete de tilapia nilótica. Las fuentes de aceite utilizadas fueron: aceite de pescado, aceite de palma, aceite de chía y aceite de lino. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el factor de conversión alimenticia (FCA) entre aceite de palma (1,19) y lino (1,54) y en la tasa de eficiencia proteica (TEP) para aceite de palma (3,64) al comparar con las demás dietas. En la composición proximal de los filetes, únicamente se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de proteína cruda entre aceite de palma (18,23%) al compararlo con lino (19,17%). De esta forma los autores concluyeron que los aceites vegetales de p alma, semilla de chía y lino se pueden utilizar en la elaboración de dietas para tilapia nilótica, sin afectar la sobrevivencia, biomasa final, ganancia diaria de peso, consumo aparente de alimento, tasa específica de crecimiento e índice viscerosomático (IVS).

Triana *et al.* (2013), usaron aceites de pescado y soya, con niveles de inclusión de 5%, 9% y 13% de cada uno, en un tiempo de 60 días para evaluar el efecto de ácidos grasos de origen animal y vegetal sobre la integridad hepática de tilapia híbrida (*Oreochromis* spp). Para ello determinaron parámetros de rendimiento productivo, índices corporales (índice hepatosomático IHS y IVS) e integridad

hepática. Los autores registraron aumento significativo de peso ($p < 0,05$) en los tratamientos con niveles de inclusión del 5%, 9% y 13% de aceite de soya respecto a los tratamientos con aceite de pescado con niveles de inclusión del 9% y 13%. Con la fuente de lípidos de origen vegetal observaron una disminución significativa ($p < 0,05$) en el IHS para el tratamiento con un nivel de inclusión del 13%, con respecto a los tratamientos con un nivel de inclusión del 5 y 9% de la fuente de lípidos de origen animal. El IVS no presentó diferencias significativas entre tratamientos. La severidad de la infiltración grasa en el hígado fue menor en los tratamientos del 5%, 9% y 13% de aceite de soya. Concluyendo que los ácidos grasos $n6$ presentes en el aceite de soya ayudan a disminuir los daños en el tejido hepático a diferencia del aceite de pescado.

Con fin de modificar el perfil de ácidos grasos de *Tilapia nilótica* Moreno (2013), incluyó a la dieta de *O. niloticus*, durante 45 días en 20 jaulas flotantes, aceite de pescado (AP), aceite de palma (APL), semilla de chía (SC) o semilla de lino (SL). Al finalizar el periodo experimental se evaluaron parámetros productivos, en los filetes se determinó: perfil de AG, composición proximal y análisis de peroxidación lipídica, adicionalmente se realizó un análisis de presupuesto parcial teniendo en cuenta el costo de alimentación y la biomasa ganada durante la fase experimental y realizó un análisis sensorial de los filetes provenientes de las dietas de SL y SC, por presentar las menores relaciones $n6/n3$. No se registró diferencia significativa ($p < 0,05$) en la mayoría de los parámetros productivos evaluados, a excepción del FCA y TEP. El estudio de presupuesto parcial mostró que la dieta SC fue la que generó el menor margen bruto de ingreso parcial, seguido de SL, APL y AP. El contenido de proteína cruda del filete de SL (19,17%) presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a AP (18,23%). Adicionalmente, se afectaron algunos parámetros sensoriales como la apariencia general y el sabor, presentándose una mayor preferencia por el filete control, seguido de SL y SC y sin diferencias significativas entre los dos últimos ($p > 0,05$). En conclusión, el autor sugiere que por medio del manejo nutricional y dependiendo de la fuente de lípidos

incluida en la dieta, es posible modificar el perfil de AG del filete de tilapia nilótica, obteniendo un producto con valor agregado, cuando se compara con filetes comerciales.

Teoh y Ng (2016), determinaron los efectos del aceite vegetal sobre el crecimiento, composición de ácidos grasos y metabolismo de ácidos grasos en tilapia híbrida roja, como alternativa de alimentación al aceite de pescado. Durante 75 días los individuos fueron alimentados dos veces al día hasta la saciedad. Par el análisis se utilizaron cinco dietas isonitrógenas e isolipídicas, con la misma composición a excepción de la fuente lipídica, dieta control (aceite de pescado), CO (alto en MUFA), PeO (alto en n3 PUFA), SFO (alto en n6 PUFA) y oleína de palma desodorizada, blanqueada y refinada (RBDPO) (alto en SFA y MUFA). Los resultados de biometría y crecimiento mostraron que los peces alimentados con la dieta control presentaron mayor peso final, la tasa de crecimiento no fue influenciada por la dieta, la digestibilidad de las dietas no varió entre tratamientos, sin embargo la digestibilidad de lípidos fue más baja en los peces alimentados con aceite de pescado ($88,1 \pm 1,7 \%$), digestibilidad de otras dietas mayor a 94 %, en cuanto a la composición del filete, los peces alimentados con aceite de pescado y RBDPO presentaron mayores concentración de SFA y AG totales, mientras que la concentración más baja de PUFA se presentó en la dieta CO (15,1%). A nivel metabólico la neogénesis de AG fue influenciada por la dieta, la actividad de las desaturasas varía en los AG de acuerdo con la composición de la dieta.

Por su parte Yupanqui (2016), evaluó el efecto de los ácidos grasos poliinsaturados sobre la expresión genética de tilapia nilótica (fuente de ácido grasos: aceite de lino, girasol, aceite de pescado, aceite de girasol con alto contenido de AG oleico). Los resultados indican que la dieta tiene efecto sobre la expresión de genes relacionado con la biosíntesis de AG. El aceite de lino tiene efecto sobre la expresión de FAS (Sintetasa de AG), SCD (delta 9 estearil-CoA desaturasa) (significancia del 95%), APOA1 (apolipoproteína A-I), SREBP1 (Proteína de Unión al Elemento de Respuesta a Esteroles) y USF1 (upstream stimulatory factor 1) (significancia del

99%) en tejido hepático en comparación con los peces alimentados con aceite de pescado. La dieta aceite de girasol tuvo efecto sobre la expresión de ACLY (ATP citrato liasa), FAS, SDC, FAD6 (delta-6 desaturasa), ACSL1 (Acil coA sintetasa para ácidos grasos de cadena larga), ECH1 (enoil-CoA hidratasa), APOA1 y SREBP1 en tejido hepático en comparación con los peces alimentados con aceite de pescado con un nivel de significancia del 95%; y la dieta aceite de girasol con alto contenido de AG oleico presentó efecto sobre la expresión de los mismos genes de aceite de girasol a excepción de ACSL1. El efecto de la dieta de aceite vegetal sobre la expresión de genes relacionados con la síntesis *de novo* de AG, permitió a los investigadores afirmar, que es posible reemplazar el aceite de pescado por aceites vegetales (aceite de lino, aceite de girasol y aceite de girasol alto-oleico) sin afectar la biosíntesis de PUFA en tilapia nilótica.

Otras fuentes de ácidos grasos incluidas es la dieta de Tilapia nilótica han sido el aceite de coco virgen (VCO), en combinación con proteína de pescado y aceite de pescado, mediante cinco dietas experimentales con 32% de proteína cruda, formuladas para ser isolípídicas con 3% de aceite de pescado (FO) y aceite de coco virgen, con única fuente de lípidos o en mezclas de FO + VCO en proporciones de 75: 25% (0,75 VCO), 50: 50% (1,5 VCO) y 25: 75% (2,25 VCO). Ejemplares de Tilapia nilótica fueron alimentados con una de las cinco dietas a saciedad, dos veces al día durante 8 semanas. En los peces alimentados con la dieta VCO se observó mejor rendimiento con respecto a la ingesta de alimento (492,1 g), peso final (214,60 g) y aumento de peso (154,90 g). El efecto de las dietas fue significativo en el perfil de ácidos grasos, destacando la presencia de ácido eicosapentaenoico (EPA, 20: 5n-3) y docosahexaenoico (DHA, 22: 6n-3); los contenidos de ácidos grasos n3: n6 aumentaron en hígado, mientras que disminuyeron en otros tejidos del cuerpo. Estadísticamente, los valores mínimos de mortalidad fueron registrados como niveles de VCO elevados cuando los peces presentaron infección por *Streptococcus iniae*, mientras los indicadores de metabolitos plasmáticos entre los tratamientos no fueron alterados. La inclusión de VCO al 3% en la dieta dio un excelente

rendimiento, lo que indica que podría reemplazar completamente a FO, por lo que representa una excelente fuente alternativa de lípidos para alimentar a *O. niloticus* (Apraku *et al.*, 2017).

El aceite de palma con altos contenidos de AG palmítico (C:16) y oleico (C18:1), 43,5% y 36,6 % respectivamente, han sido comparados con el aceite de pescado. Ayisi *et al.* (2017), evaluaron el rendimiento, crecimiento, utilización del alimento, composición corporal y ácidos grasos en tilapia nilótica con el uso de altos niveles de aceite palma, en cinco tratamientos 0%, 2%, 4%, 6% y 8% en dietas isoprotéica (32% de proteína cruda). El mayor crecimiento, TCE y la proporción de eficiencia proteica se obtuvo cuando el contenido de aceite de palma fue del 6%. Los altos niveles de aceite de palma influenciaron en la composición proximal en músculo y todo el cuerpo. Los triglicéridos, colesterol y proteína total también se vieron significativamente influenciados por los elevados niveles de aceite de palma. Los niveles más elevados de DHA se registraron con el 6% de aceite de palma en comparación con el 0% de aceite de palma. Los autores sugieren que una inclusión del 6% de aceite de palma es la mejor formulación para alimentar tilapia nilótica.

El efecto de los AG sobre el metabolismo en tilapia ha sido documentado en múltiples ocasiones, además se reconoce al ácido linolénico como precursor de PUFA n3, sin embargo, la interacción de otros ácidos grasos (linoleico) en este proceso es discutible. Chen *et al.* (2018), analizaron el efecto de la inclusión gradual de ácido linolénico sobre la bio-conversión de este a DHA y el efecto del ácido linoleico en la ruta metabólica en juveniles de tilapia del Nilo. A 480 individuos de tilapia, distribuidos en 16 taques en grupos de 30, se les suministró dietas con contenidos graduales de ácido linolénico (0,10; 0,63; 1,56 y 2,04% de peso en seco) y el mismo contenido de ácido linoleico (0,60%). Tilapia nilótica no presentó diferencias significativas en la digestibilidad de AG a excepción de AG linolénico, las dietas suplementadas con 1,56 y 2,04% de AG linolénico presentaron mayor digestibilidad con respecto a la dieta 0,10% AG linolénico. El contenido de lípidos corporales de tilapia disminuyó al incrementar los niveles AG linolénico. El

incremento de AG linolénico ocasionó el aumento de 18: 3n-3, 20: 3n-3, 22: 5n-3 y 22: 6n-3 y la disminución de los contenidos de 20: 2n-6, 20: 3n-6, 20: 4n-6 y 20: 5n-3 en el cuerpo de tilapia.

Otras fuentes de ácidos grasos en dietas de remplazo de harina y aceite de pescado son las algas, estas pueden proporcionar beneficios nutricionales y económicos a los acuicultores. Gbadamosi y Lupatsch (2018), estudiaron los efectos de *Nannochloropsis salina*, como fuente de proteínas y lípidos sobre el rendimiento nutricional y los perfiles de AG de tilapia del Nilo. Para ello usaron tres dietas isonitrógenas e isocalóricas (35% proteína cruda, 13% lípidos), aceite de pescado, harina y aceite de soya, y *N. salina*, como única fuente de proteínas y lípidos. Los resultados de la composición lipídica total mostraron mayores porcentajes de AG n-3 en los peces alimentados con aceite de pescado y *N. salina*, y mayor relación n-3/n-6 en estos tratamientos ($p < 0,05$), el contenido de AG n6 en los peces que se les suministró la dieta de soya. Dado que los parámetros metabólicos no presentaron diferencias entre los tratamientos y la respuesta lipídica fue satisfactoria, los autores concluyeron de *N. salina* puede sustituir la harina de pescado como fuente de proteínas y lípidos.

Estudios más recientes, han evaluado el efecto de diferentes niveles de aceite de soya sobre diferentes parámetros metabólicos de tilapia. Godoy *et al.* (2019), utilizaron 270 individuos de tilapias, con un peso inicial de $425,33 \pm 32,37$ cm de longitud de $25,53 \pm 2,00$ cm, distribuidos de forma aleatoria en 15 tanques. Los parámetros evaluados fueron: rendimiento, supervivencia, ganancia de peso diaria, conversión alimenticia, índice hepatosomático, grasa visceral, rendimiento de filete; aspectos sanguíneos hematológicos y bioquímicos, proteínas totales, colesterol, glucosa, triglicéridos, hemoglobina, hematocrito y células de sangre roja; adicionalmente, la composición química de los filetes (humedad, proteína cruda, lípidos y cenizas). Los resultados indican efecto de la dieta sobre las variables: peso diario, ganancia de peso, peso final, rendimiento de la canal, grasa visceral, índice hepatosomático, variables sanguíneas, y colesterol total ($p < 0,05$). En el análisis de

composición química del filete no se observaron efectos ($p>0,05$) con el aumento del aceite de soya. Las concentraciones más altas AG fueron 16: 0 (238,40 a 262,19 mg/g); 18: 1n-9 (215,36 a 277,61) y 18: 2n-6 (LA) (157,84 a 224,49). De esta forma concluyeron que adicionar cerca de 45,0 g/Kg de aceite de soya a la dieta de tilapia del Nilo proporciona un mejor crecimiento. Los animales alimentados con la dieta rica en aceite de soya presentaron los valores recomendados de ácidos grasos PUFA / SFA. Los valores nutricionales de la carne también fueron afectados por la suplementación dietética.

Toyes *et al.* (2020), describió el efecto de la sustitución de aceite de pescado por aceite de camelia sobre el crecimiento de juveniles de tilapia nilótica y la composición lipídica muscular. Los juveniles de tilapia fueron alimentados con dietas de sustitución parcial y total. Dieta control, aceite de pescado (6%), dieta de remplazo bajo, dieta de remplazo medio, remplazo total (6% de aceite de camelia). Se utilizaron 750 machos juveniles, ubicados en 15 tanques circulares de 1000 L de agua, el periodo experimental comprendió 12 semanas, 4 de aclimatación y el restante de alimentación experimental. Los resultados mostraron que la dieta tuvo efectos sobre el peso, aumento de peso, tasa de crecimiento e ingesta por día ($p=0,0002$). Los AG del músculo mostraron diferencias significativas ($p<0,05$), a excepción de 22: 0, 18: 1n-9, MUFA total, 20: 3n-6 y ácido araquidónico. Los SFA fueron menores en dieta de remplazo bajo y remplazo medio. Por ende, los autores concluyeron que el aceite de canola es una buena opción de remplazo para el aceite de pescado en la alimentación de tilapia.

4. METODOLOGÍA

4.1. LOCALIZACIÓN

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en el Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba – CINPIC, ubicado en el municipio de Montería, departamento de Córdoba (Figura 4), cuyas coordenadas geográficas son: 8°47,5' Latitud Norte y 75°51' Longitud Oeste, a una altitud de 15 metros sobre el nivel del mar y humedad relativa del 80 % (Brú *et al.*, 2017), temperatura promedio anual 28,5 °C y precipitación anual promedio de 1100 mm.

Esta investigación contó con el apoyo del grupo de investigación GRIPA de la Universidad de Antioquia y del grupo de investigación CINPIC adscrito a la Universidad de Córdoba.

El estudio fue de tipo experimental con la finalidad de evaluar el efecto de diferentes fuentes vegetales de ácidos grasos en la dieta sobre el metabolismo de reproductores de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en sistema de recirculación de agua (RAS).

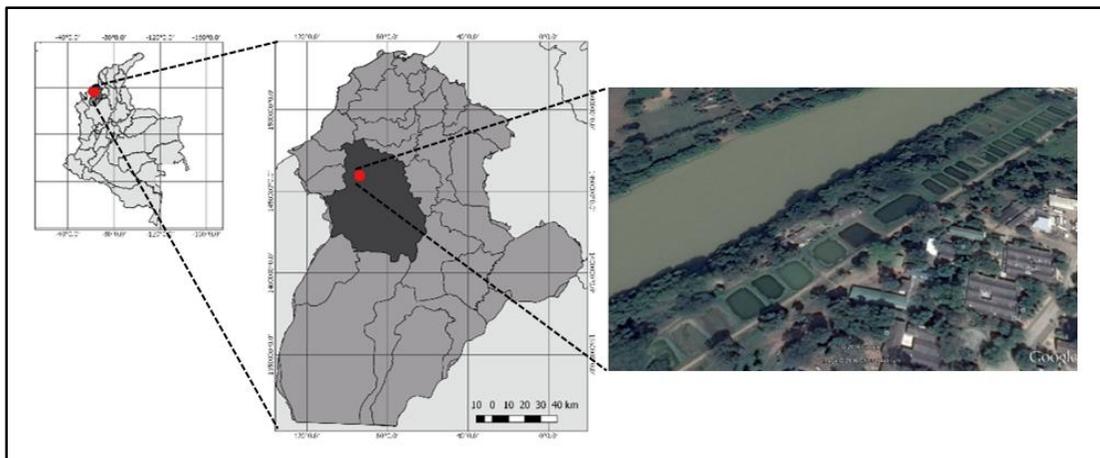


Figura 4. Ubicación del Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC). Imagen satelital tomada de Google Earth (2019).

4.2. DIETAS EXPERIMENTALES

Los peces fueron alimentados con dietas balanceadas con relación a la proporción de ácidos linoleico: linolénico (n6: n3) (Orlando *et al.*, 2020). Los tratamientos propuestos se basaron en el contenido de estos ácidos en los alimentos balanceados comerciales y en las tablas de requerimientos reportados para la especie (Bhujel, 2002). Fueron formuladas cuatro dietas experimentales isoprotéicas e isoenergéticas con 34 % de proteína bruta y 4500 kcal/kg de energía bruta, con el 6 % inclusión de lípidos (Tabla 4). En la formulación de la dieta se utilizaron dietas semipurificadas enriquecidas con fuentes de aceites vegetales, estas se mezclaron y sometieron a proceso de extrusión a 123 °C (micro-extrusora Exteec®, Riberão Preto - Brasil) para formar gránulos compactos y con un diámetro de 5 - 6 mm; posteriormente, se secaron en horno a 60 °C por 12 h y se almacenaron en bolsas de cierre hermético a 4 °C hasta su uso. Todos los tratamientos compartirán la misma base y diferían en el tipo de aceite así: palma (AP), sachá (AS), maíz (AM) y mezcla de sachá y maíz en proporción 1:1(ASM) (Tabla 4), con perfiles de ácidos grasos previamente definidos (Tabla 5).

Las dietas fueron procesadas y peletizadas en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad de los Llanos. Para determinar la composición se realizó análisis proximal y perfil de ácidos grasos a las dietas experimentales. Las dietas fueron ofrecidas dos veces al día.

Tabla 4. Formulación y composición proximal de cuatro dietas suplementadas con aceites de Palma (AP), Sacha inchi (AS), Maíz (AM) y Sacha inchi – Maíz (ASM) en reproductores de Tilapia nilótica *O. niloticus* en un sistema RAS.

INGREDIENTES	AP	AS	AM	ASM
Caseína	31	31	31	31
Gelatina	6	6	6	6
Dextrina	11	11	11	11
Alfa- celulosa	7,9	7,9	7,9	7,9
Carboximetilcelulosa	3	3	3	3
Almidón de maíz	28,5	28,5	28,5	28,5
Harina de pescado	3	3	3	3
Carbonato de calcio	1	1	1	1
Fosfato bicalcico	1	1	1	1
Premezcla	0,5	0,5	0,5	0,5
Vitamina c	0,1	0,1	0,1	0,1
Aceite de palma	6	0	0	0
Aceite de sachá	0	6	0	0
Aceite de maíz	0	0	6	0
Aceite de sachá-maíz	0	0	0	6
Óxido de cromo	1	1	1	1
TOTAL	100	100	100	100
COMPOSICIÓN PROXIMAL DIETAS				
MS	86,3	86,7	86,7	86,4
Humedad %	13,7	13,3	13,3	13,7
Proteína bruta %	35,7	36,2	36,6	36,6
lípidos %	4,4	5,4	4,4	4,1
Energía Kcal/Kg	4730	4699	4711	4692

Tabla 5. Perfil de ácidos grasos en dietas suplementadas con aceites de Palma (AP), Sacha inchi (AS), Maíz (AM) y Sacha inchi – Maíz (ASM).

ÁCIDOS GRASOS	AP	AS	AM	ASM
C14:0	1,626±0,003	1,002±0,018	0,838±0,001	0,958±0,006
C16:0	44,969±0,139	8,745±0,361	14,655±0,155	11,736±0,033
C18: 0	6,167±0,013	4,568±0,068	3,297±0,019	4,025±0,009
C18: 1n-9	34,616±0,115	11,424±0,209	27,694±0,140	19,404±0,072
C18: 2n-6	8,356±0,075	30,112±0,309	48,260±0,607	38,923±0,363
C18: 3n-3	0,342±0,003	39,067±0,048	1,627±0,005	20,123±0,068
C20: 4n-6	0,151±0,005	0,182±0,007	0,183±0,000	0,200±0,007
C20: 5n-3	0,333±0,016	0,317±0,002	0,451±0,035	0,3865±0,005
C22: 6n-3	0,523±0,00	0,608±0,017	0,588±0,077	0,641±0,128
SFA	52,76219944	14,31432931	18,7901962	16,7191429
MUFA	34,61573569	11,42401936	27,69425282	19,40384805
PUFA	9,704057047	70,29652864	51,10835325	60,27122768
n6	8,506322217	30,29392822	48,44254461	39,12289691
n3	1,197734831	40,00260042	2,665808637	21,14833078
n3/n6	0,140805251	1,320482445	0,055030318	0,540561473
DHA/EPA	1,569347651	1,950817593	1,302619092	1,666228545

4.3. SISTEMA DE CULTIVO Y UNIDADES EXPERIMENTALES

El estudio se realizó en un sistema de recirculación de agua (RAS) con 32 tanques bajitos (unidades experimentales) marca COLEMPAQUES® con capacidad máxima para 250 L cada uno (Hisano *et al.*, 2019). Distribuidos en 16 tanques para machos y 16 para hembras, con el fin de evitar reproducciones tempranas. Cada dos líneas de tanques del sistema RAS (una de machos y una de hembras) representaron un tratamiento, por ende, fueron cuatro tratamientos cada uno con cuatro réplicas.

El sistema RAS implementado, fue conformado por una bomba eléctrica, biofiltro, filtro de aireación y filtro ultravioleta (Hisano *et al.*, 2019). El flujo en la estructura permitió tres renovaciones totales de agua cada hora en las cajas. La temperatura del agua estuvo sujeta a las condiciones ambientales del CINPIC, en promedio de $27,8 \pm 0,3$ °C, se trabajó en fotoperiodo natural (12 h luz: 12 h oscuridad). Y se registraron los parámetros OD y pH entre otros para establecer la calidad del agua.

4.4. MATERIAL BIOLÓGICO

Reproductores de tilapia nilótica de la línea chitralada, de dos lotes diferentes, para evitar consanguinidad, fueron donados por la Estación Piscícola de Repelón de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP. Cada uno de los 32 tanques implementados en el sistema contenía 20 peces respectivamente de acuerdo con lo planteado por Teoh *et al.* (2011), para un total de 640 individuos con un peso medio inicial de 26,07 g machos y 29,75 g hembras.

Los peces fueron alimentados 2 veces al día a saciedad hasta duplicar o triplicar su peso inicial durante 120 días. Al final de la investigación se colectaron 3 individuos por unidad experimental para un total de 96 peces (48 machos y 48 hembras), sobre los cuales se realizaron los análisis de parámetros de desempeño. Los especímenes estuvieron en una fase de estandarización donde se verificó la aceptación de las dietas formuladas para ejemplares de tilapia nilótica. El pesaje se registró al inicio y al final del periodo experimental.

4.5. COLECTA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras fueron colectadas en la fase de estandarización, en el inicio y en el final del periodo experimental (120 días). De cada uno de los tratamientos se tomó una muestra de organismos en cantidad necesaria para los análisis específicos en los diferentes órganos y tejidos (hígado, músculo y gónada). Para la obtención de las diferentes muestras, los peces fueron anestesiados con Quinaldine™ (Sigma-Aldrich) (200 mg/L) en las proporciones recomendadas.

Los especímenes se insensibilizaron mediante choque térmico a 4 °C para su sacrificio; seguidamente fueron secados con papel absorbente, pesados y medidos. De cada unidad experimental se tomaron dos peces enteros y un filete izquierdo para la realización de la composición proximal; finalmente, se realizó la disección para obtener las muestras de hígado, músculo y gónada (Khalifa *et al.*, 2018); las muestras de estos tejidos se conservaron inicialmente en un congelador a una temperatura de - 20 °C y posteriormente fueron almacenadas en un congelador a - 80 °C, hasta su posterior análisis.

Por cada una de las réplicas de cada tratamiento, fueron colectados 7 animales para un total de 56 peces por tratamientos (28 machos y 28 hembras), empleados para el análisis de parámetros metabólicos, perfil lipídico, y análisis bioquímicos. En la disección se extrajeron muestras de gónadas del lado derecho para establecer el perfil de AG, la gónada izquierda se reservó como contra muestra. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de la Universidad de los Llanos y en los Laboratorios del CINPIC para la determinación del IGS, el IHS y perfil de ácidos grasos. Todas las muestras se preservaron a – 80 °C en un congelador dispuesto para tal fin. El hígado colectado por cada ejemplar fue fraccionado en cuatro secciones para los análisis de: extractos para parámetros metabólicos, perfil de ácidos grasos y reserva.

4.6. PARÁMETROS DE DESEMPEÑO

Los parámetros de desempeño: ganancia en peso (GP), talla (TF), tasa específica de crecimiento (TCE), factor de conversión alimenticia (FCA), índice gonadosomático (IGS) e índice hepatosomático (IHS), fueron determinadas en esta investigación. Para ello, los peces fueron pesados periódicamente, además se registró el consumo de alimento de cada dieta por tanque durante el período experimental. Estas variables de crecimiento fueron calculadas usando las siguientes ecuaciones:

- **Ganancia en peso (Cardoso et al., 2010):**

$$GP = \text{peso promedio final} - \text{peso promedio inicial}$$

- **Ganancia en talla:**

$$GET = \text{Talla promedio final} - \text{Talla promedio inicial}$$

- **Tasa específica de crecimiento (Schreck y Moyle, 1990):**

$$TCE = \frac{\log \text{ peso corporal final} - \log \text{ peso corporal inicial}}{\text{periodo tiempo en dias}} \times 100$$

- **Factor de conversión alimenticia (FCA):**

$$FCA = \frac{\text{alimento ingerido}}{\text{peso ganado}}$$

- **Porcentaje de Supervivencia (%S) (Cardoso et al., 2010):**

$$\%S = \frac{\text{Número de peces finales}}{\text{Número de peces iniciales}} \times 100$$

El análisis del IGS se determinó pesando las gónadas por sexo, después de la extracción, y relacionando este peso con el peso corporal del organismo. El criterio para evaluar la maduración gonadal está relacionado al tamaño, mayor tamaño

determina gónadas más maduras y por el contrario gónadas pequeñas denotan una baja maduración (Hunter y Macewicz, 2003). El IGS se estimó según la fórmula:

$$IGS = \frac{\text{Peso de gónada (g)}}{\text{Peso total (g)}} \times 100$$

El IHS se calculó pesando cada hígado por sexo, después de la extracción, y relacionando este peso con el peso corporal del organismo; fue calculado de acuerdo con lo propuesto por Maddock y Burton (1998).

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

4.7. GLUCOSA, TRIGLICÉRIDOS Y PROTEÍNAS

Las muestras de sangre para cuantificación de glucosa se obtuvieron por punción intracardiaca, y se analizaron con glucómetro Accu-chek® performa nano (© Roche Diagnostics, EEUU). La extracción y análisis de glucosa, triglicéridos, proteína total en hígado y músculo, siguieron la metodología descrita por Okamura y Semba (2009). Los extractos de músculo e hígado fueron obtenidos mediante maceración y dilución en agua MilliQ (Merck®) en proporción de 1:2 y 1:3 (peso/volumen) respectivamente. Los tejidos fueron macerados bajo baño de hielo, posteriormente, las muestras fueron sometidas por 10 minutos en baño ultrasónico y centrifugadas a 10.000 rpm, el músculo se centrifugo por 30 minutos y hígado por 15 minutos a 4 °C en una microcentrífuga refrigerada. El proceso se repitió dos veces más. El sobrenadante fue separado en tubos eppendorf y preservado en congelación en el Laboratorio de Biología Molecular de la Universidad de Córdoba. El homogeneizado de los sobrenadantes se utilizó para la cuantificación de glucosa, proteína total y triglicéridos por espectrofotometría de punto final.

La cuantificación de glucosa, triglicéridos y proteína total presente en músculo e hígado de tilapia nilótica, se determinó por espectrometría de punto final. Las

muestras se analizaron en un espectrofotómetro BTS 350 (BioSystems S.A.S). La determinación de glucosa se realizó con el kit Spinreact glucose-TR (Tinder. GOD-POD). El análisis de triglicéridos se realizó utilizando el kit Spinreact triglycerides (GPO Enzimático colorimétrico). Las proteínas totales fueron determinadas por el kit BioSystems (Biuret) en el laboratorio de pequeños animales de la Universidad Nacional, sede Bogotá. Los resultados fueron expresados en mg/g de tejido analizado.

4.8. PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

Muestras de hígado, gónadas, y músculos de reproductores de tilapia nilótica fueron extraídas para realizar el perfil de ácidos grasos, de igual manera se analizó el perfil de ácidos grasos contenidos en los aceites y dietas experimentales utilizadas. Los lípidos fueron extraídos con cloroformo, metanol, agua (2:1:0,8 v/v/v) siguiendo el método propuesto por Folch *et al.* (1957). Los extractos de los lípidos fueron saponificados con 2 mL de NaOH 0,5 M en metanol (w: v) y esterificados con 2,5 mL de reactivo esterificante en un baño en ebullición por 5 minutos, posteriormente se le adicionaron 4 mL de solución saturada de NaCl.

Los ésteres metílicos se analizaron por cromatografía de gases a través de un cromatógrafo (GC 2010, Shimadzu, Italy) con inyector automático (AOC 20i Shimadzu) con detector de ionizado y columna capilar (sp-2560 supelco TM, 100 m con perímetro 0,25mm espesura) cargada con gas helio (28 cm s⁻¹) con temperatura programada (de 140 para 200 °C, con un aumento de 4 °C/min y mantenido por 30 minutos a esa temperatura (Prieto, 2014). Los picos de retención de los ácidos grasos se integraron utilizando software específico del espectrofotómetro a trabajar con el laboratorio de Toxicología Ambiental de la universidad de Antioquia y la identificación se realizó con referencia de estándares conocidos (37 Component FAME Mix, Supelco, Canadá).

4.9. COMPOSICIÓN PROXIMAL

La composición proximal de dietas experimentales y de los peces fue determinada según el método de la AOAC (Horwitz y Latimer, 2005), con base a la materia seca (MS). Todas las muestras previamente secadas se pulverizaron en un micromolino (Scienceware, USA). Una muestra inicial de diez peces fue tomada para determinar la composición corporal inicial, y al final del período de alimentación, se usó una muestra de cada unidad experimental para un total de 32 muestras procesada de las cuales se obtuvo la composición corporal final. A cada muestra se determinó: humedad (%), energía bruta (Kcal/Kg), proteína bruta (%), lípidos (%), MS.

4.10. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Un diseño en bloque completamente al azar (DBC), se implementó para el estudio de los efectos metabólicos de las fuentes vegetales de ácidos grasos en las tilapias, donde el bloqueo se efectuó por el sexo, hembras y machos de tilapia se alojó por separado para implementar los tratamientos de Palma (AP), Sacha inchi (AS), Maíz (AM) y Sacha inchi – Maíz (ASM). Datos de las diferentes variables estudiadas se presentan como la media \pm error estándar. Las comparaciones entre tratamientos se realizaron mediante análisis de varianza ANOVA multifactorial (factores sexo y tratamientos, nivel de significancia 95%), con el fin de determinar el efecto de los tratamientos sobre ambos sexos y sobre las variables analizadas. Posterior a la confirmación de la normalidad y homogeneidad de varianza. Los datos se sometieron a pruebas de medias de Tukey cuando se detectaron diferencias significativas. La base de datos se creó con el programa Microsoft Excel y el análisis estadístico con el software estadístico SPSS versión 25.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. RESULTADOS

5.1.1. Parámetros de desempeño de tilapia nilótica.

En hembras y machos los parámetros de desempeño evaluados se presentan en la tabla 6. Estos registraron diferencias significativas entre sexos ($p < 0,05$), los machos presentaron mayor incremento de peso, talla, ganancia en peso y tasa de crecimiento, así como mayor consumo de las dietas, reflejado en un consumo promedio más alto que el de las hembras. Las hembras por su parte presentaron un FCA más alto al final del experimento (Tabla 6).

Tabla 6. Parámetros de desempeño en reproductores de Tilapia nilótica (*O. niloticus*) en sistema RAS. Peso inicial (PI), Peso final (PF), Talla final (TF), Ganancia en peso (GP), Ganancia en longitud (GL), Factor de crecimiento específico (TCE %), Porcentaje de sobrevivencia (% S) y Tasa de conversión alimentaria (FCA).

PARÁMETROS	SEXO	
	Macho	Hembra
PI (gr)	26,07± 0,16 ^a	29,75± 0,51 ^b
PF (gr)	121,21±2,93 ^b	107,52±2,25 ^a
TF (cm)	18,45± 0,14 ^b	17,66± 0,16 ^a
Consumo (gr)	133,70±1,48 ^b	127,19±1,59 ^a
GP (gr)	95,23± 2,94 ^b	77,77± 2,39 ^a
GL (cm)	7,41	6,21
TCE %/día	1,52± 0,02 ^b	1,28± 0,02 ^a
% S	78,45	86,262
FCA %	1,58± 0,06 ^a	1,86± 0,08 ^b

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

En la tabla 7 se registran los parámetros de desempeño por cada sexo entre los diferentes tratamientos evaluados. En hembras los parámetros PF, GP y TCE fueron mayores significativamente ($p < 0,05$) en los individuos alimentadas con dietas AM. Para estos mismos parámetros de desempeño, los menores valores se presentaron en hembras cuya dieta fue suplementada con AP ($p < 0,05$), hembras con dieta ASM tuvieron en promedio mayor TF. El tratamiento de mayor consumo en hembras fue AS. Hembras con dieta suplementada con AM y ASM mostraron un FCA menor significativamente ($p < 0,05$) (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros de desempeño en reproductores de Tilapia nilótica (*O. niloticus*) en sistema RAS por tratamientos. Peso inicial (PI), Peso final (PF), Talla final (TF), Ganancia en peso (GP), Ganancia en longitud (GL), Tasa de crecimiento específico (TCE %), Porcentaje de sobrevivencia (% S) y Factor de conversión alimentaria (FCA).

PARÁMETROS	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
PI (gr)	35,81± 0,70 ^d	32,76 ± 0,35 ^c	26,76± 0,19 ^b	23,68± 0,50 ^a	26,17± 0,68 ^b	24,48± 0,07 ^a	26,99± 0,43 ^c	26,64± 0,31 ^{bc}
PF (gr)	98,11± 3,95 ^a	108,43± 5,26 ^{ab}	121,68± 3,84 ^b	101,87± 3,73 ^a	129,53± 5,55 ^a	127,46± 6,58 ^a	118,90± 5,16 ^a	108,95± 5,53 ^a
TF (cm)	16,80± 0,48 ^a	17,52± 0,23 ^a	17,61± 0,16 ^a	18,70± 0,19 ^b	18,89± 0,28 ^b	18,61± 0,32 ^{ab}	18,67± 0,253 ^b	17,61± 0,23 ^a
Consumo (gr)	111,71± 0,33 ^a	154,90± 0,46 ^d	124,25± 0,61 ^c	117,92± 0,30 ^b	124,52± 1,27 ^{ab}	159,83± 0,86 ^c	123,84± 0,18 ^a	126,61± 0,12 ^b
GP (gr)	62,29± 4,08 ^a	75,67± 5,35 ^{ab}	94,92± 3,80 ^c	78,19± 3,81 ^b	103,40± 5,53 ^b	102,97± 6,60 ^{ab}	92,06± 5,21 ^{ab}	82,47± 5,49 ^a
GL (cm)	4,57 0,99±	5,65 1,18±	7,67 1,51±	6,98 1,46±	7,9 1,59±	7,84 1,62±	7,45 1,59±	6,45 1,39±
TCE %	0,05 ^a 0,05 ^a	0,05 ^b 0,05 ^b	0,03 ^c 0,03 ^c	0,04 ^c 0,04 ^c	0,04 ^b 0,04 ^b	0,05 ^b 0,05 ^b	0,05 ^{ab} 0,05 ^{ab}	0,05 ^a 0,05 ^a
% S	87,5	75	93,75	88,8	78,75	77,5	93,75	63,8
FCA %	2,15± 0,24 ^b	2,31± 0,14 ^b	1,36± 0,05 ^a	1,61± 0,08 ^a	1,31± 0,08 ^a	1,78± 0,14 ^b	1,48± 0,10 ^{ab}	1,75± 0,13 ^{ab}

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

En machos, el PF y GP fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en los individuos alimentados con la dieta suplementada con AP (tabla 7). El tratamiento con mayor consumo ($p < 0,05$), menor tasa de crecimiento y TF fue ASM, mientras que el FCA fue menor significativamente ($p < 0,05$) en el tratamiento AP (Tabla 7).

5.1.2. Índice gonadosomático e índice hepatosomático.

Los valores promedio de IHS y IGS se presentan en la tabla 8. El IGS fue mayor significativamente en hembras en comparación con los machos ($p < 0,05$). Las hembras alimentadas con la dieta suplementada con ASM presentaron el IHS significativamente mayor ($p < 0,05$). El IGS fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en hembras alimentadas con tratamiento AP y menor en las hembras con dieta ASM (Tabla 8). En machos IGS y IHS no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$) (tabla 8).

Tabla 8. Índice hepatosomático y gonadosomático en reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS. Índice hepatosomático (IHS), Índice gonadosomático (IGS).

ÍNDICES	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
IHS %	0,17±	0,18±	0,21±	0,23±	0,19±	0,17±	0,16±	0,18±
	0,01 ^a	0,01 ^{ab}	0,01 ^{ab}	0,01 ^b	0,01 ^a	0,009 ^a	0,01 ^a	0,01 ^a
IGS %	4,21±	3,30±	3,22±	2,96±	0,50±	0,78±	0,80±	0,61±
	0,24 ^b	0,021 ^{ab}	0,31 ^a	0,21 ^a	0,04 ^a	0,12 ^a	0,09 ^a	0,05 ^a

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

5.1.3. Parámetros metabólicos en sangre.

Los niveles de glucosa en sangre se registran en la tabla 9. No se hallaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre la concentración de glucosa en sangre de machos ($94,988 \pm 3,114$ mg/dL) y hembras ($90,080 \pm 3,289$ mg/dL), es decir que el sexo como factor, no influye en la acumulación de glucosa en sangre. Los machos alimentados con el tratamiento AM presentaron una concentración de glucosa en sangre mayor significativamente ($p < 0,05$) (Tabla 9). En hembras el tratamiento AM mostró significativamente ($p < 0,05$) los menores niveles de glucosa en sangre (Tabla 9).

Tabla 9. Concentración de glucosa en sangre en reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS.

PARÁMETROS METABÓLICOS	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
Glucosa (mg/dL)	105,57±	85,67±	70,35±	98,71±	87,89±	89,85±	113,53±	88,66±
	7,23 ^b	5,81 ^{ab}	4,81 ^a	6,46 ^b	5,58 ^a	4,70 ^a	7,81 ^b	5,29 ^a

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

5.1.4. Parámetros metabólicos en hígado.

La tabla 10 muestra los efectos de las diferentes dietas sobre los parámetros químicos analizados en el hígado. Entre machos y hembras no se registraron diferencias significativas en la concentración de proteína, triglicéridos y glucosa en hígado ($p > 0,05$). En el hígado de las hembras, la dieta solo presentó efecto significativo sobre la concentración de proteína ($p < 0,05$), cuya concentración mayor significativamente se dio en las hembras alimentadas con la dieta ASM (Tabla 10).

En el hígado de los machos las dietas no mostraron efecto significativo sobre la concentración de proteínas, triglicéridos y glucosa ($p > 0,05$) (Tabla 10).

Tabla 10. Parámetros metabólicos en el hígado de reproductores de *Tilapia nilótica* en sistema RAS.

PARÁMETROS METABÓLICOS	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
Proteína Total (mg/g)	0,17± 0,04 ^a	0,29± 0,07 ^a	0,50± 0,17 ^a	1,02± 0,0451 ^b	0,60± 0,22 ^a	0,50± 0,16 ^a	0,08± 0,03 ^a	0,46± 0,14 ^a
Triglicéridos (mg/g)	2,09± 0,66 ^a	1,46± 0,34 ^a	1,64± 0,43 ^a	1,77± 0,49 ^a	1,93± 0,55 ^a	1,66± 0,39 ^a	0,83± 0,35 ^a	1,64± 0,33 ^a
Glucosa (mg/g)	0,72± 0,09 ^a	0,42± 0,09 ^a	0,56± 0,12 ^a	0,56± 0,13 ^a	0,72± 0,18 ^a	0,47± 0,11 ^a	0,36± 0,06 ^a	0,74± 0,16 ^a

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

5.1.5. Parámetros metabólicos en músculo.

La concentración promedio de proteína y glucosa en músculo no presentó diferencias significativas entre machos y hembras. Los triglicéridos en músculo fueron mayores significativamente ($p < 0,05$) en hembras ($1,335 \pm 0,141$ mg/g), en comparación con los machos ($0,949 \pm 0,083$ mg/g) ($p < 0,05$).

La concentración de proteína, triglicéridos y glucosa en músculo se diferenció significativamente entre las hembras alimentadas con las dietas experimentales ($p < 0,05$). La concentración de proteína, triglicéridos y glucosa en músculo fue mayor significativamente en las hembras alimentadas con el tratamiento AS ($p < 0,05$). La menor concentración de proteína en músculo ($p < 0,05$) se registró en hembras con el tratamiento AP como fuente de ácidos grasos (Tabla 11). Los machos alimentados con las dietas experimentales no mostraron diferencias significativas entre tratamientos para las concentraciones de proteína, triglicéridos y glucosa en músculo ($p > 0,05$) (Tabla 11).

Tabla 11. Parámetros metabólicos en músculo de reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS.

PARÁMETROS METABÓLICOS	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
Proteína Total (mg/g)	0,05± 0,007 ^a	0,24± 0,03 ^b	0,11± 0,02 ^{ab}	0,13± 0,04 ^{ab}	0,21± 0,08 ^a	0,091± 0,01 ^a	0,09± 0,04 ^a	0,15± 0,05 ^a
Triglicéridos (mg/g)	1,005± 0,19 ^a	2,04± 0,14 ^b	1,39± 0,11 ^{ab}	0,90± 0,24 ^a	0,93± 0,22 ^a	1,21± 0,09 ^a	0,9± 0,16 ^a	0,75± 0,10 ^a
Glucosa (mg/g)	3,00± 1,05 ^a	6,22± 0,89 ^b	3,96± 0,26 ^{ab}	2,38± 0,38 ^a	4,26± 0,99 ^a	4,54± 0,46 ^a	2,01± 0,41 ^a	1,69± 0,32 ^a

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

5.1.6. Perfil de ácidos grasos en hígado.

Las concentraciones de AG en el hígado de machos y hembras se detallan en la tabla 12. En las hembras los contenidos de SFA no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) con las diferentes dietas. Las hembras alimentadas con AM presentaron contenidos de MUFA menores significativamente ($p < 0,05$) y mayores ($p < 0,05$) con dieta suplementada con AP y ASM (Tabla 12). Las hembras a las que se les suministro las dietas AS y ASM, presentaron contenidos mayores ($p < 0,05$) significativamente PUFA (Tabla 12).

La concentración de los AG C14:0, C18:0 y C20:4n-6 en el hígado no fue diferente significativamente entre las hembras alimentadas con las dietas experimentales ($p > 0,05$). La concentración de C18:1n-9 fue significativamente menores ($p < 0,05$) en hembras alimentadas con la dieta AM. La concentración de C18:2n-6 fue significativamente mayor en las hembras alimentadas con la dieta AS y ASM. Los contenidos de C18: 3n-3, EPA fueron mayores significativamente ($p < 0,05$) con el tratamiento con AS, los contenidos de DHA fueron menores significativamente en las hembras alimentadas con dieta AM. La concentración mayor significativamente ($p < 0,05$) de n6 se registró en las hembras alimentadas con ASM. Mientras que el contenido de n3 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en hembras alimentadas con AS. La relación n3/n6 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en las hembras alimentadas con la dieta AS, entre tanto la relación DHA/EPA fue mayor significativamente ($p < 0,05$) con el tratamiento ASM (Tabla 12).

Tabla 12. Perfil de ácidos grasos en el hígado de reproductores de Tilapia nilótica en sistema RAS.

ÁCIDOS GRASOS	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
C14:0	1,87± 0,13 ^a	1,96± 0,10 ^a	1,53± 0,08 ^a	2,07± 0,17 ^a	1,90± 0,42 ^a	2,04± 0,22 ^a	1,60± 0,17 ^a	1,80± 0,23 ^a
C16:0	30,45± 0,52 ^{ab}	29,33± 0,65 ^a	32,35± 0,25 ^b	31,23± 0,61 ^{ab}	30,82± 0,58 ^{ab}	33,05± 0,49 ^b	30,17± 0,29 ^a	30,23± 0,69 ^a
C18: 0	18,45± 1,18 ^a	19,002± 0,24 ^a	19,17± 0,19 ^a	17,85± 0,70 ^a	14,33± 1,82 ^a	20,42± 0,92 ^b	17,19± 1,06 ^{ab}	16,002± 0,61 ^{ab}
C18: 1n-9	15,91± 0,50 ^b	13,53± 0,88 ^{ab}	12,55± 0,31 ^a	15,56± 0,89 ^b	21,24± 2,98 ^a	13,74± 1,07 ^a	15,83± 1,56 ^a	17,26± 1,73 ^a
C18: 2n-6	0,08± 0,01 ^a	0,33± 0,02 ^b	0,15± 0,01 ^a	0,33± 0,03 ^b	0,13± 0,02 ^a	0,23± 0,05 ^{ab}	0,40± 0,03 ^{bc}	0,48± 0,07 ^c
C18: 3n-3	0,003± 0,003 ^a	0,13± 0,01 ^c	---	0,05± 0,007 ^b	0,006± 0,002 ^a	0,08± 0,02 ^b	0,013± 0,006 ^{ab}	0,08± 0,02 ^b
C20: 4n-6	0,24± 0,02 ^a	0,15± 0,02 ^a	0,18± 0,02 ^a	0,21± 0,01 ^a	0,18± 0,01 ^b	0,08± 0,01 ^a	0,23± 0,02 ^b	0,19± 0,03 ^b
C20: 5n-3	0,003± 0,003 ^a	0,03± 0,006 ^b	---	0,014± 0,001 ^a	0,006± 0,001 ^a	0,02± 0,002 ^a	0,02± 0,01 ^a	0,02± 0,002 ^a
C22: 6n-3	0,17± 0,02 ^{ab}	0,27± 0,05 ^b	0,08± 0,01 ^a	0,22± 0,01 ^b	0,15± 0,02 ^a	0,14± 0,02 ^a	0,21± 0,04 ^a	0,28± 0,06 ^a
SFA	50,78± 1,79 ^a	50,29± 0,66 ^a	53,06± 0,25 ^a	51,16± 1,14 ^a	47,07± 0,95 ^a	55,52± 1,17 ^b	48,97± 1,05 ^a	48,04± 0,01 ^a
MUFA	15,91± 0,50 ^b	13,53± 0,88 ^{ab}	12,55± 0,31 ^a	15,56± 0,89 ^b	21,24± 2,98 ^a	13,74± 1,07 ^a	15,83± 1,56 ^a	17,27± 1,73 ^a
PUFA	0,51 ± 0,05 ^a	0,92 ± 0,10 ^b	0,42 ± 0,04 ^a	0,84 ± 0,064 ^b	0,48 ± 0,03 ^a	0,57 ± 0,11 ^{ab}	0,89 ± 0,10 ^{bc}	1,06 ± 0,10 ^c
n6	0,33 ± 0,03 ^a	0,48 ± 0,04 ^{ab}	0,34 ± 0,03 ^a	0,55 ± 0,04 ^b	0,32 ± 0,01 ^a	0,31 ± 0,06 ^a	0,64 ± 0,05 ^b	0,68 ± 0,06 ^{4b}
n3	0,18 ± 0,02 ^{ab}	0,44 ± 0,06 ^c	0,08 ± 0,01 ^a	0,29 ± 0,01 ^{bc}	0,16 ± 0,02 ^a	0,25 ± 0,04 ^{ab}	0,24 ± 0,06 ^{ab}	0,38 ± 0,05 ^c
n3/n6	0,54 ± 0,01 ^b	0,88 ± 0,07 ^c	0,25 ± 0,01 ^a	0,53 ± 0,01 ^b	0,51 ± 0,06 ^a	0,81 ± 0,02 ^b	0,36 ± 0,07 ^a	0,56 ± 0,07 ^{ab}
DHA/EPA	2,15 ± 2,15 ^a	9,48 ± 1,33 ^b	---	16,39± 1,36 ^c	15,92± 5,97 ^a	6,47 ± 2,38 ^a	3,14 ± 1,84 ^a	15,56± 2,13 ^a

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Los contenidos de SFA fueron significativamente mayores en macho alimentados con AS ($p < 0,05$). La concentración de MUFA en el hígado de los machos no presentó diferencias significativas entre dietas experimentales ($p > 0,05$). Las concentraciones de PUFA y n3 fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) en machos alimentados con dieta ASM, los contenidos de n6 fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) en machos alimentados con AM y AMS (Tabla 12).

En los machos la concentración de C16:0, C18:0 y C18:3n-3, fue mayor en los machos alimentados con la dieta suplementada con AS. Los contenidos de C18:2n-6 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) con el tratamiento ASM. Las

concentraciones de EPA y DHA no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los machos alimentados con las dietas experimentales. Las concentraciones de ARA fueron menores significativamente ($p < 0,05$) en machos alimentados con dieta AS (Tabla 12). La relación n3/n6 fue mayor significativamente en los machos del tratamiento AS. En la relación DHA/EPA no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los machos tratados con las dietas.

5.1.7. Perfil de ácidos grasos en músculo.

El perfil de AG en el músculo de hembras y machos por tratamientos fue registrado en la tabla 13. En las hembras no se hallaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los contenidos de SFA con las dietas experimentales. La mayor concentración significativa ($p < 0,05$) de MUFA se registró en hembras alimentadas con dieta AP y el menor ($p < 0,05$) en AS. Mientras que el contenido de PUFA y n6 fue menor significativamente ($p < 0,05$) en hembras con el tratamiento AP. La concentración de n3 fue mayor significativamente en hembras cuya dieta fue suplementada con AS ($p < 0,05$) (Tabla 13).

El AG C18:0 no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$) en hembras. La menor concentración significativa ($p < 0,05$) de AG C14:0, C16:0 y C18:1n-9 en músculo de las hembras se presentó con la dieta AS. Hembras cuya dieta fue suplementada con AM registraron contenidos significativamente mayores ($p < 0,05$) de AG C18:2n-6 y ARA. El mayor contenido significativo ($p < 0,05$) de AG C18:3n-3, EPA y DHA en músculo se registró en hembras alimentadas con dieta AS (Tabla 13). La relación n3/n6 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en hembras cuya dieta fue suplementada con AS. La relación DHA/EPA en hembras no registro diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos.

Tabla 13. Perfil de ácidos grasos en músculo de reproductores de Tilapia nilótica en sistema de RAS.

ÁCIDOS GRASOS	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
C14:0	2,23± 0,17 ^b	1,27± 0,14 ^a	1,84± 0,13 ^{ab}	1,81± 0,11 ^{ab}	2,20± 0,32 ^a	1,60± 0,06 ^a	1,48± 0,10 ^a	1,77± 0,15 ^a
C16:0	24,52± 0,66 ^c	17,45± 0,37 ^a	20,57± 0,47 ^b	19,5± 0,47 ^{ab}	25,70± 1,12 ^b	19,19± 0,41 ^a	20,58± 0,45 ^a	20,23± 0,26 ^a
C18: 0	6,19± 2,002 ^a	9,46± 0,51 ^a	7,82± 0,11 ^a	8,24± 0,12 ^a	8,36± 0,91 ^a	9,58± 0,61 ^a	8,48± 0,10 ^a	8,006± 0,27 ^a
C18: 1n-9	24,92± 0,55 ^c	14,77± 0,84 ^a	20,18± 0,61 ^b	19,94± 0,53 ^b	29,62± 1,24 ^c	16,44± 0,52 ^a	21,70± 0,84 ^b	21,6± 0,95 ^b
C18: 2n-6	0,26± 0,04 ^a	0,55± 0,03 ^b	0,78± 0,06 ^c	0,67± 0,01 ^{bc}	0,26± 0,03 ^a	0,59± 0,04 ^{ab}	0,74± 0,07 ^{bc}	1,01± 0,15 ^c
C18: 3n-3	0,01± 0,001 ^a	0,27± 0,02 ^c	0,01± 0,001 ^b	0,16± 0,007 ^b	0,007± 0,001 ^a	0,33± 0,02 ^b	0,01± 0,0008 ^a	0,24± 0,04 ^b
C20: 4n-6	0,23± 0,03 ^a	0,23± 0,02 ^a	0,39± 0,04 ^b	0,28± 0,01 ^{ab}	0,20± 0,02 ^{ab}	0,13± 0,01 ^a	0,26± 0,02 ^b	0,26± 0,05 ^{ab}
C20: 5n-3	0,01± 0,001 ^a	0,04± 0,002 ^c	0,01± 0,0004 ^a	0,02± 0,002 ^b	0,01± 0,001 ^a	0,03± 0,001 ^b	0,009± 0,003 ^a	0,03± 0,006 ^b
C22: 6n-3	0,18± 0,02 ^a	0,49± 0,05 ^c	0,13± 0,01 ^a	0,34± 0,009 ^b	0,16± 0,013 ^a	0,37± 0,02 ^b	0,13± 0,017 ^a	0,38± 0,06 ^b
SFA	32,94± 2,12 ^a	28,19± 0,38 ^a	30,24± 0,50 ^a	29,56± 0,58 ^a	36,27± 1,17 ^b	30,38 ± 0,88 ^a	30,55 ± 0,54 ^a	30,02± 0,32 ^a
MUFA	24,92± 0,55 ^c	14,77± 0,84 ^a	20,18± 0,61 ^b	19,94± 0,53 ^b	29,62± 1,24 ^c	16,44 ± 0,52 ^a	21,70 ± 0,84 ^b	21,66± 0,95 ^b
PUFA	0,70 ± 0,10 ^a	1,59 ± 0,12 ^b	1,34 ± 0,11 ^b	1,49± 0,02 ^b	0,64 ± 0,06 ^a	1,47 ± 0,10 ^{bc}	1,16 ± 0,09 ^{ab}	1,93 ± 0,31 ^c
n6	0,49 ± 0,07 ^a	0,79 ± 0,05 ^b	1,18 ± 0,10 ^c	0,96 ± 0,01 ^{bc}	0,46 ± 0,05 ^a	0,73 ± 0,05 ^{ab}	1,009 ± 0,07 ^{bc}	1,27 ± 0,20 ^c
n3	0,20 ± 0,02 ^a	0,80 ± 0,06 ^c	0,16 ± 0,01 ^a	0,53 ± 0,01 ^b	0,18 ± 0,01 ^a	0,74 ± 0,05 ^b	0,15 ± 0,02 ^a	0,65 ± 0,11 ^b
n3/n6	0,41 ± 0,01 ^b	1,01 ± 0,01 ^d	0,13 ± 0,004 ^a	0,55 ± 0,007 ^c	0,40 ± 0,02 ^b	1,01 ± 0,01 ^d	0,15 ± 0,01 ^a	0,51 ± 0,01 ^c
DHA/EPA	15,74± 1,08 ^a	11,95± 0,85 ^a	13,06± 1,35 ^a	13,17± 0,72 ^a	15,85± 2,05 ^a	11,17 ± 0,50 ^a	9,45 ± 3,15 ^a	12,37± 1,10 ^a

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

En los machos los contenidos de SFA y MUFA fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) con dieta AP. Mientras que la concentración de PUFA y n6 fue significativamente menor en machos en la dieta AP ($p < 0,05$). Las concentraciones de n3 fueron mayores significativamente ($0 < 0,05$) en los machos de dieta suplementada con AS y ASM (Tabla 13).

Los contenidos de C14:0 y C18:0 no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los machos alimentados con las dietas experimentales. Las concentraciones de AG C16:0 y C18: 1n-9 fueron mayores significativamente ($p < 0,05$) en machos

cuya dieta fue suplementada con AP. El contenido de C18: 3n-3, EPA y DHA fue mayor significativamente en machos con dieta AS y ASM. Las concentraciones de C18:2n-6 fue menor significativamente ($p < 0,05$) en machos con dieta AP. La acumulación de ARA en músculo de machos fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en los machos del tratamiento AM (Tabla 13). La relación n3/n6 fue mayor significativamente en machos con dieta AS ($p < 0,05$). Y la relación DHA / EPA no mostró diferencias significativas en músculo de machos alimentados con las dietas experimentales ($p > 0,05$).

5.1.8. Perfiles lipídicos en gónada.

El contenido de nueve ácidos grasos en tejido gonadal de hembras y machos de tilapia se presentan en la tabla 14. En hembras la concentración de SFA no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre dietas. La concentración de PUFA y n3 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en hembras alimentadas con AS. Los contenidos de MUFA y n6 en gónadas de hembras fueron menores significativamente ($p < 0,05$) con las dietas AS y AP respectivamente (Tabla 14).

En hembras la concentración de C18:0 no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). El contenido de C14:0 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en hembras con alimentadas con la dieta AP. El contenido de C16:0 fue menor significativamente ($p < 0,05$) en hembras cuya dieta fue suplementada con AS. La concentración de C18:1n-9 y C18: 2n-6 fue menor significativamente ($p < 0,05$) con tratamiento AS y AP respectivamente. La deposición de los AG C18: 3n-3 y DHA en la gónada fue mayor significativamente en las hembras cuya dieta fue suplementada con AS. Por su parte la concentración de ARA fue mayor en gónada con dieta AM. La relación n3/n6 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en hembras alimentadas con AS. por su parte la relación DHA/EPA fue menor significativamente ($p < 0,05$) con la dieta AM (Tabla 14).

Tabla 14. Perfil de ácidos grasos en gónada por sexo en reproductores de Tilapia nilótica en un sistema RAS.

ÁCIDOS GRASOS	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
C14:0	3,43±	2,71±	2,53±	2,61±	0,42±	0,99±	1,58±	0,63±
	0,04 ^b	0,10 ^a	0,10 ^a	0,03 ^a	0,14 ^a	0,24 ^{ab}	0,33 ^b	0,05 ^a
C16:0	27,40±	13,79±	21,87±	21,78±	18,62±	19,56±	21,35±	18,22±
	0,16 ^b	4,59 ^a	0,1854 ^{ab}	0,35 ^{ab}	0,27 ^a	1,65 ^a	1,12 ^a	0,11 ^a
C18:0	6,42±	6,64±	9,43±	10,13±	10,57±	10,96±	9,43±	10,33±
	0,16 ^a	2,16 ^a	0,20 ^a	0,33 ^a	0,26 ^a	0,59 ^a	0,55 ^a	0,24 ^a
C18: 1n-9	27,50±	15,91±	22,96±	22,85±	16,11±	13,25±	18,02±	12,50±
	0,30 ^b	2,33 ^a	0,44 ^b	0,41 ^b	0,23 ^a	2,24 ^a	2,53 ^a	0,42 ^a
C18: 2n-6	1,004±	4,84±	4,90±	4,53±	0,25±	0,93±	1,39±	1,27±
	0,07 ^a	0,42 ^b	0,40 ^b	0,27 ^b	0,020 ^a	0,10 ^b	0,26 ^b	0,11 ^b
C18: 3n-3	0,03±	3,62±	0,07±	1,21±	---	0,31±	0,02±	0,18±
	0,005 ^a	0,32 ^c	0,004 ^a	0,09 ^b	---	0,06 ^b	0,01 ^a	0,02 ^b
C20: 4n-6	0,98±	0,90±	1,69±	1,35±	1,08±	0,68±	0,96±	0,96±
	0,06 ^a	0,11 ^a	0,15 ^b	0,07 ^{ab}	0,043 ^a	0,04 ^a	0,23 ^a	0,01 ^a
C20: 5n-3	0,05±	0,21±	0,38±	0,14±	0,03±	0,13±	0,02±	0,09±
	0,005 ^a	0,01 ^a	0,32 ^a	0,009 ^a	0,003 ^a	0,004 ^c	0,008 ^a	0,007 ^b
C22: 6n-3	1,27±	3,80±	0,99±	2,88±	0,58±	1,21±	0,41±	1,15±
	0,08 ^a	0,40 ^c	0,08 ^a	0,08 ^b	0,02 ^a	0,07 ^b	0,10 ^a	0,05 ^b
SFA	37,25±	23,14±	33,84±	34,52±	29,62±	31,52±	32,38±	29,19±
	0,20 ^a	6,72 ^a	0,40 ^a	0,67 ^a	0,33 ^a	2,30 ^a	1,41 ^a	0,31 ^a
MUFA	27,50±	15,91±	22,85±	22,85±	16,11±	13,25±	18,02±	12,50±
	0,30 ^b	2,33 ^a	0,44 ^b	0,41 ^b	0,23 ^a	2,24 ^a	2,53 ^a	0,42 ^a
PUFA	3,35 ±	13,39±	8,05 ±	10,13±	1,96 ±	3,28±	2,82 ±	3,67 ±
	0,24 ^a	1,25 ^c	0,56 ^b	0,41 ^b	0,08 ^a	0,25 ^b	0,45 ^{ab}	0,18 ^b
n6	1,99 ±	5,74 ±	6,60 ±	5,88 ±	1,34 ±	1,62 ±	2,36 ±	2,24 ±
	0,14 ^a	0,52 ^b	0,53 ^b	0,25 ^b	0,05 ^a	0,11 ^{ab}	0,41 ^b	0,11 ^{ab}
n3	1,36 ±	7,65 ±	1,45 ±	4,24 ±	0,61±	1,66 ±	0,46 ±	1,42 ±
	0,09 ^a	0,73 ^c	0,30 ^a	0,13 ^b	0,02 ^a	0,13 ^b	0,11 ^a	0,07 ^b
n3/n6	0,68 ±	1,33 ±	0,22 ±	0,72 ±	0,46 ±	1,02 ±	0,22 ±	0,63 ±
	0,008 ^b	0,02 ^c	0,05 ^a	0,01 ^b	0,01 ^b	0,01 ^c	0,08 ^a	0,008 ^b
DHA/EPA	23,21±	17,35±	12,74±	20,58±	18,56±	9,17 ±	12,11±	12,85±
	1,31 ^b	0,77 ^{ab}	4,06 ^a	0,72 ^{ab}	2,70 ^a	0,36 ^a	4,23 ^a	0,91 ^a

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

En machos la deposición de SFA y MUFA en gónadas no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los individuos alimentados con las dietas experimentales. La concentración menor significativamente ($p < 0,05$) de PUFA y n6 se registró en machos alimentado con dietas AP. Entre tanto, la concentración de n3 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en machos de dieta suplementada con AS (Tabla 14).

La concentración de los AG C16:0, C18:0, C18:1n-9 y ARA en las gónadas de los machos no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) con relación a la dieta

suministrada. El contenido de C14:0 fue significativamente ($p < 0,05$) mayor con dieta AM. Los machos alimentados con dieta AP y AM registraron significativamente ($p > 0,05$) menor contenido de C18:2n-6 y C18:3n-3 respectivamente. Las concentraciones mayores significativamente ($p < 0,05$) de EPA se registraron en machos con tratamiento AS (Tabla 14). Los contenidos de DHA fueron mayores significativamente ($p < 0,05$) en machos con tratamiento AS y ASM. La relación n3/n6 fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en machos de dieta suplementada con AS. La relación EPA/DHA no presentó diferencias significativas entre machos (Tabla 14).

5.1.9. Composición proximal del filete.

La composición proximal del filete en hembras y machos con cada una de las dietas experimentales se muestra en la tabla 15. En hembras todos los parámetros de composición proximal fueron afectados por la fuente de AG ($p < 0,05$). El porcentaje de proteína bruta fue mayor significativamente ($p < 0,05$) en hembras con el tratamiento AP. Los valores mayores significativamente ($p < 0,05$) de energía, porcentaje de lípidos y MS se registraron en las hembras cuya dieta fue suplementada con AM. El porcentaje de humedad residual mayor significativamente ($p < 0,05$) se registró en hembras con el tratamiento ASM (Tabla 15).

Tabla 15. Composición proximal del filete de reproductores de *Tilapia nilótica* en sistema de RAS.

PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN PROXIMAL	HEMBRAS				MACHOS			
	AP	AS	AM	ASM	AP	AS	AM	ASM
Proteína Bruta (%)	83,12 ± 0,06 ^c	78,60 ± 0,33 ^a	77,98 ± 0,37 ^a	81,09 ± 0,33 ^b	77,99 ± 0,88 ^a	82,06 ± 0,77 ^b	81,63 ± 0,90 ^b	83,65 ± 0,52 ^b
Energía Bruta (Kcal/Kg)	4996,5 ± 11,06 ^{ab}	4975,0 ± 12,25 ^a	5060,5 ± 19,27 ^b	4962,0 ± 20,57 ^a	4946,75 ± 12,12 ^a	4959,0 ± 24,31 ^a	5010,0 ± 5,97 ^a	4957,0 ± 15,03 ^a
Lípido (%)	2,72 ± 0,23 ^{ab}	2,008 ± 0,31 ^a	4,58 ± 0,18 ^c	3,06 ± 0,08 ^b	4,42 ± 0,16 ^c	1,84 ± 0,11 ^a	3,56 ± 0,20 ^b	3,13 ± 0,06 ^b
Humedad residual (%)	7,71 ± 0,31 ^{ab}	8,28 ± 0,26 ^{bc}	7,10 ± 0,18 ^a	9,07 ± 0,12 ^c	9,18 ± 0,43 ^a	8,37 ± 0,33 ^a	7,95 ± 0,21 ^a	9,15 ± 0,21 ^a
MS	92,28 ± 0,31 ^{bc}	91,72 ± 0,26 ^{ab}	92,89 ± 0,18 ^c	90,93 ± 0,12 ^a	90,81 ± 0,43 ^a	91,62 ± 0,33 ^a	92,04 ± 0,21 ^a	90,84 ± 0,21 ^a

Letras diferentes en las líneas indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

En los machos se presentó diferencias significativas entre tratamientos para los parámetros proteína bruta y lípidos ($p < 0,05$). El porcentaje de proteína bruta menor significativamente ($p < 0,05$) se presentó en los machos alimentados con la dieta suplementada con AP (Tabla 15). El porcentaje de lípidos mayor significativamente ($p < 0,05$) se presentó en machos con dieta suplementada con AP (Tabla 15).

5.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El análisis de los parámetros de desempeño, en reproductores de tilapia, permitió establecer el efecto de las fuentes de AG en la dieta sobre el desempeño productivo de los individuos. La inclusión de AG provenientes del maíz (AM) en la dieta de las hembras favoreció el incremento de los parámetros PF, GP, TCE y S y la reducción de FCA, la combinación de fuentes de AG sachá-maíz (ASM) permitió obtener hembras con TF mayor. Khalifa *et al.* (2018) afirmaron que la inclusión de AM y la reducción parcial de la harina de pescado muestra efectos negativos sobre los parámetros metabólicos en hembras de tilapia.

Un bajo FCA indica alto aprovechamiento de la dieta para la ganancia de masa corporal, de esta forma las hembras alimentadas con AM requieren menor cantidad de alimento para ganar masa, mientras que las hembras alimentadas con AS, aunque tienen mayor peso final requieren el doble de alimento para ganar pesos. En este sentido la dieta AM se metabolizó mejor en dichas hembras, que de acuerdo con Poot *et al.* (2012) la reducción o aumento de FCA dependerá de la dieta y la capacidad metabólica de los individuos.

El efecto de las dietas sobre los parámetros metabólicos puede estar ligado a los contenidos de AG. Las especies de tilapia requieren AG n6 para maximizar su crecimiento, aunque también pueden usar C18: 3n-3 para lograr un crecimiento eficiente de forma similar a la que utilizan C18: 2n-6 (Liu *et al.*, 2019a), es así, como las hembras alimentadas con la dieta AM ricas en C18: 2n-6 presentaron mayor PF, GP, GL y TCE.

En machos la GP más alta y la reducción de la FCA es el resultado de la inclusión de AP en la dieta, como indican Ayisi *et al.* (2017), la inclusión de aceite de palma (AP) tiene efectos benéficos sobre parámetros productivos y metabólicos de tilapia. Lo que indica que los machos pueden hacer uso eficiente de niveles bajos de C18: 2n-6 de la dieta AP. De acuerdo con Teoh y Ng (2016) el incremento de FCA a causa del remplazo de las fuentes de AG en las dietas reduce la GP. Las dietas de

AP, AS, AM y ASM, tanto en hembras como machos mostraron altos valores de FCA, que se relaciona directamente con el peso final e incrementa el tiempo de cultivo, no obstante, las tallas obtenidas con las dietas de remplazo están dentro de los parámetros de comercialización, por ende, el efecto de las dietas de remplazo sobre FCA puede considerarse prescindible.

La inclusión de aceites mejora la palatabilidad y atraibilidad del alimento (Toyes *et al.*, 2020), esta podría ser la razón por la cual, AS fue la dieta de mayor consumo en hembras y machos. Este mayor consumo no generó mayor PF o GP. La diferencia entre el consumo de las dietas también podría atribuirse a los mecanismos de procesamiento y extracción de los aceites vegetales, dado que los métodos de procesamiento de las dietas pueden afectar la ingesta y el crecimiento de tilapia (Herath *et al.*, 2016).

La supervivencia de las hembras se mantuvo sobre el 90% con la dieta AM, caso similar al reportado en machos. El porcentaje de supervivencia se puede considerar aceptable de acuerdo con lo reportado por Karapanagiotidis *et al.* (2007) cuyas tasas de sobrevivencia se encontraron entre 86,2% y 92,3%, para ejemplares de tilapia alimentados con dietas suplementadas con aceite de palma, aceite de maíz y mezclas vegetales, no obstante, en el presente reporte, los machos alimentados con ASM presentaron la mortalidad más alta del experimento.

Tanto en machos como hembras el índice hepatosomático se halló por debajo de los reportes previos para tilapia nilótica (>1.0 IHS) y tilapia roja alimentada con dieta suplementada con aceite de soya (Triana *et al.*, 2013). Metwally (2009) reportó IHS mínimo de 1,58; para tilapia nilótica bajo en efecto de *Allium sativum*, Miranda y Guerrero (2015), reportaron IHS de 1,63 a 2,09 %, en juveniles de tilapia nilótica alimentados con dietas que contenían diferentes porcentajes de inclusión de sacha, Rocha *et al.* (2018), reportaron IHS de 1,20% en tilapia nilótica libre y 1,65 % en condiciones de cautiverio. Los bajos IHS% indican que la energía digestible suministrada en las dietas fue altamente aprovechada por los machos y las

hembras, por lo que se presume no hay deposiciones de grasas en el hígado, con las dietas administradas (Bermúdez *et al.*, 2012).

El IGS de las hembras fue afectado por la dieta, hembras con dieta AP presentaron IGS más altos. En machos la fuente de AG en la dieta no tuvo efecto sobre el IGS. Dada la función biológica de las gónadas en las hembras, el IGS es significativamente más alto en comparación con machos (Teoh y Ng, 2016). Ng y Wang (2011) reportaron que la inclusión de aceite de palma puede elevar el porcentaje del IGS en tilapia. IGS altos representan gónadas más grandes y mayor potencial reproductivo, que se refleja en incremento del número huevos y larvas de mejor calidad. Sumado a la capacidad de tilapia para sacrificar el crecimiento somático y usar los nutrientes y reservorios de grasa para garantizar la calidad de los huevos (Bahurmiz y Ng, 2007), IGS altos e IHS bajos son el resultado directo del uso de las reservas corporales para mejorar la calidad de los huevos.

De acuerdo con Khallaf *et al.* (2020) El IGS en hembras puede variar con la época del año, mientras que en los machos fluctúa con menor frecuencia, estos cambios en el IGS están asociados con los periodos de desove, aunque luego de la madurez sexual *Tilapia nilótica* puede ser un reproductor múltiple. Los resultados obtenidos indican que los peces analizados habían alcanzado la madurez sexual, e IGS más elevados incrementan la probabilidad de fecundación.

En machos y hembras la concentración de glucosa en sangre se encontró por encima de los parámetros de referencia (<50 mg/dL) (Arenal *et al.*, 2012; Marroquin, 2018), niveles de glucosa tan elevados en sangre se relacionan con condiciones de estrés, Rocha *et al.* (2018) reportaron que tilapia nilótica puede presentar altos índices de glicemia bajo condiciones de cautiverio (107,67 mg/dL), significativamente más altos en comparación con tilapia nilótica en estado natural. La respuesta al estrés puede deberse a condiciones anoxigénicas o hacinamiento (estrés social), el estrés ocasiona la liberación de glucosa y las reservas de glúcidos a corto plazo, a largo plazo la liberación de glucosa puede conducir a una disminución en las reservas de glucógeno (Barandica y Tort, 2008), en este caso la

liberación de glucosa también está influenciada por la dieta, tanto en machos como hembras. En hembras el tratamiento AP pudo favorecer el incremento de este parámetro, mientras que en machos fue AM.

El incremento de los niveles de glucosa en sangre de tilapia podría deberse a la digestibilidad de la fuente de carbohidrato en el intestino (Ng y Romano, 2013). Dado que las dietas suministradas poseían las mismas cantidades de carbohidratos y que tilapia sintetiza glucosa a partir de AG (de Souza *et al.*, 2019), los ácidos grasos y la ruta metabólica utilizada por hembras y machos para el aprovechamiento de los mismos, es la causa más probable de que AP y AM propicien el incremento de glucosa. Las hembras alimentadas con AP podrían presentar menor cantidad de glucosa-6-phosphato deshidrogenasa (Ng y Romano, 2013), asociada a la utilización de MUFAs presentes en la dieta AP; mientras que en los machos se puede deber al aprovechamiento de PUFAs presentes en la dieta AM. No obstante, en tilapia los mecanismos moleculares y enzimáticos que responden a la concentración de glucosa deben ser ilustrados (Kumkhong *et al.*, 2021).

La biosíntesis de algunos nutrientes como lípidos, proteínas, carbohidratos y algunas enzimas se lleva a cabo en el hígado, la subutilización de lípidos es el reflejo de baja eficiencia alimenticia, resultado del incremento del IHS y la deposición de lípidos en el hígado (Torrecillas *et al.*, 2017b; Apraku *et al.*, 2019), los resultados del presente estudio no indican deposición de lípidos en el hígado, que estaría relacionado con la actividad enzimática adecuada y supresión del estrés oxidativo, que ha sido atribuido a dietas ricas en AG n6 y PUFA (Halliwell, 2001), tanto hembras como machos alimentados con las dietas AS, AM y ASM que contenían altos niveles de PUFA y n6 presentaron menores niveles de triglicéridos en hígado en comparación con las hembras o machos alimentados con la dieta AP.

Por su parte Du *et al.* (2020) sugiere que el incremento del IHS y la deposición de lípidos en el tejido hepático está ligada al contenido de almidón en las dietas de remplazo, más que con los lípidos en la dieta, un planteamiento similar fue hecho por Chen *et al.* (2020), determinaron que niveles elevados de almidón en la dieta

estaban directamente relacionados con deposición de glucógeno hepático, que se almacena en forma de lípidos en el tejido. En este caso todas las dietas suministradas poseían niveles constantes de almidón y contenidos similares de lípidos, por ende, las mínimas variaciones de las concentraciones de triglicéridos en machos o hembras solo puede asociarse a la fuente de AG en cada dieta.

Los niveles de proteína hepática se podrían considerar bajos en comparación con los niveles y porcentajes reportados en investigaciones previas (Liu *et al.*, 2019b; Du *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2020), sin embargo, al ser constantes y no diferir entre dietas la causa más probable por la cual las hembras alimentadas con ASM tenga concentraciones de proteína más altas en el hígado es la fuente de AG, la cual no mostró efecto en los machos. De acuerdo con Dos Santos *et al.* (2019), el aumento de proteína de tilapia está asociado a la fuente de proteína, otro factor a considerar es la biosíntesis de proteína realizada por tilapia, llevadas a cabo en el hígado e influenciada por la dieta.

La biosíntesis de AG en los peces de agua dulce inicia con la digestión, seguida de la absorción y el transporte (Henderson y Tocher, 1987; Tocher, 2003), el proceso incluye la formación de AG de *ново* a partir de AG saturados de cadenas de 16 y 18 carbonos que pueden sufrir procesos de esterificación, oxidación, desaturación y elongación hasta convertirse en compuestos eicosanoides (De Souza *et al.*, 2007; Kabeya *et al.*, 2018). En general en machos y hembras el contenido de AG de hígado, músculo y gónadas estuvo influenciado por la fuente de AG en las dietas. Su concentración final en cada órgano dependió del metabolismo y es un reflejo de la dieta.

De esta forma, un marcado incremento del porcentaje C16:0 se observó en hígado, gónada y músculo de los individuos alimentados con las dietas AS, AM y ASM, y la disminución del mismo AG con la dieta AP, lo que conlleva a niveles similares de C16:0 en hígado y altos contenidos en músculo y gónada que difieren entre sí por efecto de la dieta, los niveles de AG palmítico sugieren una acumulación en los tejidos de tilapia, indicativo de baja metabolización, de acuerdo con Liu *et al.*

(2019a), las dietas ricas en ácido palmítico pueden contribuir a la lipotoxicidad, ocasionar daño hepático y depresión del crecimiento de tilapia, por otra parte el incremento de C16:0 coincide con lo reportado por Fonseca *et al.* (2005), donde los niveles de C16:0 en hígado incrementaron en presencia de dietas ricas en ácido palmítico, como parte de una predisposición natural a metabolizar este AG de forma diferente y su relación con los niveles séricos de fosfolípidos y triglicéridos.

De acuerdo con Lui *et al.* (2019b) las concentraciones de C18: 1n-9 fueron las más abundantes en hígado de tilapia, no obstante, en el presente estudio dichas concentraciones se ubicaron después de las concentraciones de C16:0 y C18:0 dependiendo de la dieta y puede ser usado como precursor de C20: 1n-9 y fuente de energía por β -oxidación mitocondrial.

En el hígado, músculo y gónada los contenidos AG C18: 2n-6 y C18: 3n-3 disminuyeron con relación al contenido de la dieta, mientras que C18:0 incrementó su contenido en todos los tejidos y con todas las dietas tanto en machos como en hembra. Es decir, la neogénesis de AG depende de la actividad enzimática que es afectada por los lípidos de la dieta (Apraku *et al.*, 2019), aunque esta puede depender de las condiciones experimentales (Mohammadi *et al.*, 2020), los resultados indican en hígado la actividad metabólica $\Delta 9$, $\Delta 6$ y $\Delta 5$ desaturasa, que por β -oxidación y elongación sintetizan de *ново* ácido ARA derivado de C18: 2n-6 (Teoh *et al.*, 2011; Oboh *et al.*, 2016), el cual migró a los músculos y las gónadas a través de la sangre; en las gónadas, la fracción aprovechada de C18: 3n-3 se transformó en DHA y se acumuló en el tejido hasta ser usado en la reproducción; la biosíntesis de DHA a partir de C18 indica la importancia metabólica del mismo, en especial cuando las dietas no son ricas en este (Caballero *et al.*, 2002).

Por su parte, tanto el AG, ARA como EPA son precursores de compuestos eicosanoides, ARA a través de las vías ciclooxigenasa se transforma en prostaglandina de la serie 2, mientras que EPA compite por la misma ruta metabólica (Visentainer *et al.*, 2005; Orlando *et al.*, 2020), al ser mayor la fracción de ARA en gónada con relación a EPA se puede sugerir que esta fue la ruta

metabólica utilizada hasta convertirse en DHA, por acción de $\Delta 6$ desaturasa y β -oxidación – peroximal (Tocher, 2003). Los contenidos de 20:4n-6 y 22:6n-3 también indican deposición y retención selectiva de estos ácidos grasos en gónada, ya que sus concentraciones fueron más altas que en otros tejidos e incluso más elevadas que las concentraciones proporcionadas por la dieta. De esta forma, la neogénesis de DHA y su posterior acumulación en las gónadas fue más eficiente en hembras alimentadas con dieta AS, caso similar ocurrido en los machos. Los resultados también sugieren alto aprovechamiento de 18:2n-6 y 18:3n-3 cuando las dietas son ricas en estos AG como lo es la dieta AS (Herath *et al.*, 2016).

En tilapia la biosíntesis de AG a partir de C18: 2n-6 es mayor en los peces alimentados con dieta de origen vegetal (Tocher *et al.*, 2001), como se observa en músculo y gónada, sin embargo, el alto porcentaje de DHA en gónada refleja mayor actividad metabólica de C18: 3n-3 en este tejido. La fracción de AG, SFA y MUFA que no son aprovechados en la síntesis de AG son usados como sustrato en la β -oxidación mitocondrial como fuente de energía (Henderson, 1996; Teoh *et al.*, 2011).

Los contenidos C18: 2n-6 y C18: 3n-3 en la dieta pueden afectar la metabolización de C18: 3n-3 al competir por la actividad enzimática de $\Delta 6$ desaturasa, aunque se ha comprobado que el comportamiento de la enzima es específico a la especie (Chen *et al.*, 2018). La inclusión de altos contenidos de AG C18: 2n-6 y C18: 3n-3 proporcionados en la dieta se reflejan en la deposición de PUFA en los tejidos, en especial en las gónadas, donde los individuos alimentados con las dietas AS y ASM presentaron los mayores porcentajes, estos resultados coinciden con las afirmaciones de Orlando *et al.* (2020), al suministrar dietas ricas en LA (C18: 2n-7, AG linoleico) y ALA (C18: 3n-3, AG linolénico) las concentraciones gonadales de PUFA serán mayores, las dietas ricas en LA y ALA pueden favorecer el incremento en los parámetros de desempeño, no obstante, la dieta AM con altos contenidos de LA y ALA solo demostró ser eficiente en hembras por tanto el efecto de la inclusión de AG específicos para mejorar parámetros de desempeño debe ser analizada junto

a otros factores. De acuerdo con Nguyen *et al.* (2010), existen variables genéticas que permiten modificar los perfiles de AG a perfiles más deseables, para la presente investigación, como era de esperarse, se encontró que el sexo es un factor fundamental que considerar a la hora de suministrar dietas de remplazo puesto que cada fuente de lípidos afecto de manera significativa el incremento de uno o más AG de interés nutricional o comercial.

La mayor deposición de SFA se presentó en el hígado, en el músculo se dio la mayor concentración de MUFA y gónada la más alta de PUFA, la concentración de SFA, MUFA y PUFA coincide con la digestibilidad de AG de la dieta tanto de harina de pescado como mezclas vegetales reportado por Teoh *et al.* (2011) donde la digestibilidad incrementa con el grado de instauración. Las concentraciones de SFA, MUFA y PUFA en músculo están ligadas al uso de las diferentes fuentes de AG (Rebolé *et al.*, 2015). Todas las dietas indujeron el aumento de los valores en la relación DHA/EPA que a nivel general aumenta la acumulación de lípido, mejora las tasas de rendimiento, aumento de peso y eficiencia alimentaria (Xu *et al.*, 2018).

Los porcentajes de humedad determinados en los filetes de tilapia son similares a los reportados por Montoya *et al.* (2018) para tilapia alimentados con dieta control a base de harinas de sardina y dietas experimentales formuladas como mezclas vegetales, maíz, trigo, soya y sorgo, los porcentajes de humedad oscilaron entre 8,8 y 8,9% y no se hallaron diferencias significas entre dietas, a diferencia del presente estudio donde se hallaron diferencias significativas en el porcentaje de humedad, por tanto la formulación de la dieta es un factor que de acuerdo con su composición puede tener efecto sobre el porcentaje de humedad del filete. El porcentaje de humedad del filete difiere entre 30 y 40% con relación al porcentaje de humedad de la dieta, depende de diferentes factores y no solo de la alimentación.

El contenido de proteína bruta en filete fue afectado por la fuente de AG usado en la formulación de la dieta, sin embargo, no es claro si las dietas de remplazo tienen efectos negativos sobre la composición proximal del músculo, previamente se han reportado relaciones positivas entre la presencia de n3 y la deposición proteica en

filete (Ferreira *et al.*, 2011). La fuente de lípidos también afectó la deposición de grasas en el filete y aunque los mecanismos no han sido esclarecidos, se puede inferir la acción de enzimas poligénicas cuando hay suministro de AG poliinsaturados, otra explicación se asocia con las tasas de asimilación anabolismo y catabolismos de los AG suministrados en la dieta y su deposición en el músculo de tilapia (Ribeiro *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*, 2011), no obstante estos parámetros no fueron abordados en la presente investigación. También se ha informado que la relación DHA/EPA suministrada en la dieta puede afectar la deposición lípidos en los tejidos de algunas especies piscícolas (Xu *et al.*, 2018), en este caso no se hallaron evidencia que demuestren que la relación DHA/EPA afectó los parámetros metabólicos de tilapia o infirió en la disminución de lípidos en filete, sin embargo, la acumulación de lípidos pudo verse afectada por la metabolización de otros AG.

En cuanto al remplazo de la harina de pescado como fuente de lípidos Ng *et al.* (2013) afirma que la sustitución parcial o total no tiene efectos considerables sobre la condición corporal o la histología de tilapia y resulta una alternativa de manejo económicamente favorable ya que disminuye los costos de producción y puede mejorar los parámetros de rendimiento. Los resultados del presente estudio permiten afirma que los filetes de tilapia poseían alto valor calórico y proteico además de una buena composición de ácidos grasos resultado de la inclusión de fuentes de lípidos vegetales, por lo tanto, la sustitución parcial no afectó su valor nutricional permitiendo obtener tilapias de buena calidad sin el uso excesivo de harina de pescado como materia prima principal. Por los resultados obtenidos tanto en parámetros metabólicos, AG y composición proximal del filete la inclusión de aceite de sacha es una opción rentable para la sustitución de los derivados del pescado en la alimentación de tilapia.

5. CONCLUSIONES

- En hembras la inclusión de dietas ricas en n6 incrementan los valores finales de los parámetros de desempeño.
- Las dietas evaluadas, con la inclusión de aceites vegetales son de fácil aprovechamiento, favorecen el incremento del IGS y la disminución de IHS, sin ocasionar efectos negativos visibles en el hígado.
- Los perfiles de AG en hígado, músculo y gónada indican, metabolización de los AG en el hígado, que por vía sanguínea se distribuyen a los tejidos y acumulan en las gónadas. En hembras los AG n6 son usados como fuente principal de AG en la neogénesis de DHA, los machos pueden aprovechar los AG n3 y n6 en la neogénesis de EPA y DHA.
- Las dietas suplementadas con aceites de origen vegetal permiten obtener filetes de tilapia con los requerimientos nutricionales adecuados para el consumo humano. Este estudio presenta y disponibiliza una alternativa en la producción acuícola que contribuye ambientalmente a disminuir la presión de extracción de peces pelágicos para la producción de harina y aceite de pescado para su uso en la elaboración de alimentos concentrados en la industria con fines de uso piscícola y acuícola.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar la sustitución parcial o total de las dietas a base harinas y aceites de pescado por dietas de origen vegetal en otras especies de importancia piscícola regional, como la cachama o la tilapia híbrida.
- Ampliar la búsqueda de alternativas en dietas de reemplazo a base de productos y subproductos agrícolas con alto potencial nutricional para peces de cultivo, que son desaprovechados en otros sectores o tratados como desechos.
- Combinar las investigaciones de la sustitución parcial o total de la harina y aceite de pescado con nuevos mecanismos de cultivo piscícolas, con el fin de mejorar los rendimientos y disminuir los posibles efectos negativos que puedan tener las dietas de reemplazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, F., Afanador, G., & Muñoz, A. (2010). Efecto del procesamiento de la dieta sobre el desempeño productivo de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* Var. Chitralada) en un ciclo comercial de producción. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 57(II), 104-118.
- Agronet. (2021). Estadísticas. Recuperado de: <https://www.agronet.gov.co>.
- Alava, V. (1998). Effect of salinity, dietary lipid source and level on growth of milkfish (*Chanos chanos*) fry. *Aquaculture*, 167(3-4), 229-236.
- Al-Owafeir, M., & Belal, I. (1996). Replacing palm oil for soybean oil in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), feed. *Aquaculture Research*, 27(4), 221-224.
- Álvarez, A., Esteban, H., Hernández, T., Torres, J., & Puzo, A. (2009). Fisiología animal aplicada. Universidad de Antioquia.
- Amaral, A., Alvarado, N., Marigomez, I., Cunha, R., Hylland, K., & Soto, M. (2002). Autometallography and metallothionein immunohistochemistry in hepatocytes of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) after exposure to cadmium and depuration treatment. *Biomarkers*, 7(6), 491-500.
- Apraku, A., Huang, X., Yusuf, A., Cornel, A., Ayisi, C. L., & Asiedu, B. (2019). Impact of dietary oil replacement on muscle and liver enzymes activity, histomorphology and growth-related genes on Nile tilapia. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 223, 15-25.
- Apraku, A., Liu, L., Leng, X., Rupia, E., & Ayisi, C. (2017). Evaluation of blended virgin coconut oil and fish oil on growth performance and resistance to *Streptococcus iniae* challenge of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Egyptian journal of basic and applied sciences*, 4(3), 175-184.

- Arenal, A., Martín, L., Castillo, N., de la Torre, D., Torres, U., & González, R. (2012). Aqueous extract of *Ocimum tenuiflorum* decreases levels of blood glucose in induced hyperglycemic tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 5(8), 634-637.
- Arslan, M., Rinchar, J., Dabrowski, K., & Portella, M. (2008). Effects of different dietary lipid sources on the survival, growth, and fatty acid composition of South American catfish, *Pseudoplatystoma fasciatum*, surubim, juveniles. *Journal of the world aquaculture society*, 39(1), 51-61.
- Ayadi, F., Rosentrater, K., & Muthukumarappan, K. (2012). Alternative protein sources for aquaculture feeds. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*, 4(1), 1-26.
- Ayisi, C., Zhao, J., & Rupia, E. (2017). Growth performance, feed utilization, body and fatty acid composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing elevated levels of palm oil. *Aquaculture and Fisheries*, 2(2), 67-77.
- Bahurmiz, O. M., & Ng, W. K. (2007). Effects of dietary palm oil source on growth, tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., raised from stocking to marketable size. *Aquaculture*, 262(2-4), 382-392.
- Bandarra, N., Nunes, M., Andrade, A., Prates, J., Pereira, S., Monteiro, M., ... & Valente, L. (2006). Effect of dietary conjugated linoleic acid on muscle, liver and visceral lipid deposition in rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 254(1-4), 496-505.
- Barandica, C., & Tort, L. (2008). Neuroendocrinología e inmunología de la respuesta al estrés en peces. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 32(123), 267-284.
- Beheshti, M., Parrish, C., Wells, J., Taylor, R., Rise, M., & Shahidi, F. (2018). Minimizing marine ingredients in diets of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*):

effects on growth performance and muscle lipid and fatty acid composition. *PloS one*, 13(9), e0198538.

Bell, J., & Waagbø, R. (2008). Safe and nutritious aquaculture produce: benefits and risks of alternative sustainable aquafeeds. *In Aquaculture in the Ecosystem*. Springer, Dordrecht. 185-225

Bell, J., Henderson, R., Tocher, D., McGhee, F., Dick, J., Porter, A., ... & Sargent, J. (2002). Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism. *The Journal of nutrition*, 132(2), 222-230.

Bell, J., McEvoy, J., Tocher, D., McGhee, F., Campbell, P., & Sargent, J. (2001). Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *The Journal of nutrition*, 131(5), 1535-1543.

Bell, J., Pratoomyot, J., Strachan, F., Henderson, R., Fontanillas, R., Hebard, A., ... & Tocher, D. (2010). Growth, flesh adiposity and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) families with contrasting flesh adiposity: Effects of replacement of dietary fish oil with vegetable oils. *Aquaculture*, 306(1-4), 225-232.

Bermúdez, A., Muñoz, A., & Wills, G. (2012). Evaluación de un sistema de alimentación orgánico sobre el desempeño productivo de la tilapia nilótica (*Oreochromis Niloticus*) cultivada en estanques de tierra. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 59(III), 165-175.

Betancor, M., Li, K., Sprague, M., Bardal, T., Sayanova, O., Usher, S., ... & Olsen, R. (2017). An oil containing EPA and DHA from transgenic *Camelina sativa* to replace marine fish oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): Effects on intestinal transcriptome, histology, tissue fatty acid profiles and plasma biochemistry. *PloS one*, 12(4), e0175415.

- Beveridge, M., & Baird, D. (2000). Diet, feeding and digestive physiology. In *Tilapias: Biology and exploitation*. Springer, Dordrecht, 59-87.
- Bhujel, R. (2002). Manejo Alimentario para Tilapia, ministerio de Agricultura, Ganaderia y Pesca Argentina. *Panorama Acuicola*, 7 (4). Recuperado de: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos//000000_Especies/000008Tilapia/071201_Manejo%20Alimentario%20para%20Tilapia%20-%20Nutricion%20y%20bajo%20costo.php
- Blanchard, J., Watson, R., Fulton, E., Cottrell, R., Nash, K., Bryndum, A., ... & Jennings, S. (2017). Linked sustainability challenges and trade-offs among fisheries, aquaculture and agriculture. *Nature Ecology & Evolution*, 1(9), 1240-1249.
- Blomqvist, J., Pickova, J., Tilami, S., Sampels, S., Mikkelsen, N., Brandenburg, J., ... & Passoth, V. (2018). Oleaginous yeast as a component in fish feed. *Scientific reports*, 8(1), 1-8.
- Bolla, S., Nicolaisen, O., & Amin, A. (2011). Liver alterations induced by long term feeding on commercial diets in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) females. Histological and biochemical aspects. *Aquaculture*, 312(1-4), 117-125.
- Boonanuntanasarn, S., Nakharuthai, C., Schrama, D., Duangkaew, R., & Rodrigues, P. (2019). Effects of dietary lipid sources on hepatic nutritive contents, fatty acid composition and proteome of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of proteomics*, 192, 208-222.
- Bórquez, A., Hernández, A., Dantagnan, P., Saez, P., & Serrano, E. (2011). Incorporation of whole lupin, *Lupinus albus*, seed meal in commercial extruded diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: effect on growth performance, nutrient digestibility, and muscle fatty acid composition. *Journal of the world aquaculture society*, 42(2), 209-221.

- Botello, A., Viana, M., Cisneros, M., Valdivié, M., Ariza, E., Girón, E., ... & Gómez, I. (2011). La harina de caña proteica como alimento local en la producción de tilapia roja-*Oreochromis* spp. REDVET. *Revista electrónica de Veterinaria*, 12(6), 1-10.
- Bouvier, J., & Brisset, A. (2006). Aquafeed Twin Screw Extrusion Processing. *ASIAN AQUAFEEDS*, 76- 94.
- Brú, S., Pertúz, V., Ayazos J., Atencio, V., & Pardo, S. (2017). Bicultivo en biofloc de cachama blanca -*Piaractus brachypomus*-y tilapia nilótica -*Oreochromis niloticus*- alimentadas con dietas de origen vegetal. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 64(1), 44-60.
- Buschmann, A., & Fortt, A. (2005). Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 21(3), 58-64.
- Byelashov, O., & Griffin, M. (2014). Fish in, fish out: perception of sustainability and contribution to public health. *Fisheries*, 39(11), 531-535.
- Caballero, M., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., & Izquierdo, M. (2002). Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 214(1-4), 253-271.
- Calder, P. (2004). n–3 Fatty acids and cardiovascular disease: evidence explained and mechanisms explored. *Clinical science*, 107(1), 1-11.
- Cardoso, R., Campeche, D., & Paulino, R. (2010). Tilápia em reservatório de água para irrigação e avaliação da qualidade da água. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5(1), 117-122.
- Chatzifotis, S., Panagiotidou, M., Papaioannou, N., Pavlidis, M., Nengas, I., & Mylonas, C. (2010). Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization,

- body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles. *Aquaculture*, 307(1-2), 65-70.
- Chen, C., Guan, W., Xie, Q., Chen, G., He, X., Zhang, H., ... & Pan, Q. (2018). n-3 essential fatty acids in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: bioconverting LNA to DHA is relatively efficient and the LC-PUFA biosynthetic pathway is substrate limited in juvenile fish. *Aquaculture*, 495, 513-522.
- Chen, J., Feng, J., Zhu, J., Luo, L., Lin, S., Wang, D., & Chen, Y. (2020). Starch to protein ratios in practical diets for genetically improved farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: Effects on growth, body composition, peripheral glucose metabolism and glucose tolerance. *Aquaculture*, 515, 734538.
- Crouse, C., Kelley, R., Trushenski, J., & Lydy, M. (2013). Use of alternative lipids and finishing feeds to improve nutritional value and food safety of hybrid striped bass. *Aquaculture*, 408, 58-69.
- Czorlich, Y., Aykanat, T., Erkinaro, J., Orell, P., & Primmer, C. R. (2021). Evolution in salmon life-history induced by direct and indirect effects of fishing. *bioRxiv*.
- Dawood, M., Ali, M., Amer, A., Gewaily, M., Mahmoud, M., Alkafafy, M., ... & Van Doan, H. (2021). The influence of coconut oil on the growth, immune, and antioxidative responses and the intestinal digestive enzymes and histomorphometry features of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 1-12.
- De Souza, E., de Souza, R., Melo, J., da Costa, M., de Souza, A., & Copatti, C. (2019). Evaluation of the effects of *Ocimum basilicum* essential oil in Nile tilapia diet: Growth, biochemical, intestinal enzymes, haematology, lysozyme and antimicrobial challenges. *Aquaculture*, 504, 7-12.
- De Souza, N., Matsushita, M., de Oliveira, C., Franco, M., & Visentainer, J. (2007). Manipulation of fatty acid composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

- fillets with flaxseed oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(9), 1677-1681.
- De Vlaming, V. (1983). Oocyte Development Patterns and Hormonal Involvements among Teleost In Control Processes in Fish Physiology (Eds. Rankin, JC, Pitcher TJ, Duggan, RT) Croom Helm Ltd. *Manuka Australia*, 177-199.
- DeLong, D., Losordo, T., & Rakocy, J.. (2009). Tank Culture of Tilapia, South Regional Aquaculture center. *SRAC Publication*, (282).
- dos Santos, S., Schorer, M., Moura, G., Lanna, E., & Pedreira, M. (2019). Evaluation of growth and fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with *Schizochytrium* sp. *Aquaculture Research*, 50(4), 1068-1074.
- Du, R., Chen, J., Zhu, J., Feng, J., Luo, L., Lin, S., & Chen, Y. (2020). Glucose homeostasis and glucose tolerance were impaired with elevated lipid to starch ratios in practical diets for the omnivorous genetically improved farmed tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 523 (735221),1-8.
- Ekasari, J., Rivandi, D., Firdausi, A., Surawidjaja, E., Zairin, M., Bossier, P., & De Schryver, P. (2015). Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture*, 441, 72-77.
- El-Saidy, D., & Gaber, M. (2003). Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture research*, 34(13), 1119-1127.
- El-Sayed, A. (2015). Social and economic performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming in Egypt: a case study. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*.
- El-Sayed, A. (2016). Tilapia Co-culture in Egypt. *Tilapia in Intensive Co-culture*, 1, 211.
- El-Sayed, A. (2019). *Tilapia culture*. Academic Press. London, 1- 348.

- Enes, P., Panserat, S., Kaushik, S., & Teles, A. (2009). Nutritional regulation of hepatic glucose metabolism in fish. *Fish physiology and biochemistry*, 35(3), 519-539.
- Escamilla, B. E., Ortiz, L., Molina, D. O., & Espinoza, A. (2021). Cultural importance of marine resources subject to fishing exploitation in coastal communities of Southwest Gulf of Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 208, 105605.
- FAO. (2009). *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) [Cichlidae], recuperado de http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletilapia.htm
- FAO. (2011). Manual Básico de Sanidad Piscícola: Capítulo 4. Métodos de intervención en caso de aparición de enfermedades.
- FAO. (2016). *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Food & Agriculture Org.
- FAO. (2018). *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Food & Agriculture Org.
- FAO. (2020). *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura, 2020*. Food & Agriculture Org.
- FAO. (2021). Tilapia del Nilo-*Oreochromis niloticus*, recuperado de: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es.
- Ferreira, M., de Araujo, F., Costa, D., Rosa, P., Figueiredo, H., & Murgas, L. (2011). Influence of dietary oil sources on muscle composition and plasma lipoprotein concentrations in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(1), 24-33.
- Figueiredo, A., Rema, P., Bandarra, N., Nunes, M., & Valente, L. (2005). Effects of dietary conjugated linoleic acid on growth, nutrient utilization, body

- composition, and hepatic lipogenesis in rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 248(1-4), 163-172.
- Flores, F., & Malabarba, L. (2007). Alterações histopatológicas observadas no fígado do lambarí *Astyanax jacuhiensis* (Cope, 1894) (Teleostei, Characidae) sob influência de efluentes petroquímicos. *Biociências*, 15(2), 166-172.
- Folch, J., Lees, M., & Stanley, G. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of biological chemistry*, 226 (1), 497-509.
- Fonseca, J., Karalazos, V., Campbell, P. J., Bell, J. G., & Tocher, D. R. (2005). Influence of dietary palm oil on growth, tissue fatty acid compositions, and fatty acid metabolism in liver and intestine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 11(4), 241-250.
- Fry, J., Love, D., MacDonald, G., West, P., Engstrom, P., Nachman, K., & Lawrence, R. (2016). Environmental health impacts of feeding crops to farmed fish. *Environment international*, 91, 201-214.
- Gao, J., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Ren, T., Komilus, C., & Han, Y. (2012). Effects of dietary palm oil supplements with oxidized and non-oxidized fish oil on growth performances and fatty acid compositions of juvenile Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 324, 97-103.
- García, L., Miranda, A., Coelho, M., Huerta, J., & Osuna, P. (2019). Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial applications. *Aquaculture*, 502, 26-31.
- Gbadamosi, O., & Lupatsch, I. (2018). Effects of dietary *Nannochloropsis salina* on the nutritional performance and fatty acid profile of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Algal research*, 33, 48-54.

- Gebremedhin, S., Bruneel, S., Getahun, A., Anteneh, W., & Goethals, P. (2021). Scientific Methods to Understand Fish Population Dynamics and Support Sustainable Fisheries Management. *Water*, 13(4), 574.
- Glencross, B. (2009). Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 1(2), 71-124.
- Godoy, A., Santos, O., Oxford, J., de Amorim, I., Rodrigues, R., Neu, D., ... & Boscolo, W. (2019). Soybean oil for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in finishing diets: Economic, zootechnical and nutritional meat improvements. *Aquaculture*, 512, 734324.
- González, J. E., Sánchez, J. A., Ochoa-De-Arco, E., & Sánchez, I. (2019). Sustainable fishing exploitation model as a productive bet: in Moñitos-Cordoba-Colombia. *Saber, Ciencia y Libertad*, 14 (1), 179-189.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., & Métailler, R. (2004). Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. *Mundi-Prensa*, 1-478.
- Gutiérrez, M., Yossa, M., & Vásquez, W. (2011). Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y energía de harina de vísceras de pollo, quinua y harina de pescado en tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus*. *Orinoquia*, 15(2), 169-179.
- Halliwell, B. (2001). Role of free radicals in the neurodegenerative diseases. *Drugs & aging*, 18(9), 685-716.
- Hardy, R. (2006). Worldwide fish meal production outlook and the use of alternative protein meals for aquaculture. *Avances en Nutrición Acuicola*, 410-419.
- Hardy, R. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, 41(5), 770-776.
- Henderson, R. (1996). Fatty acid metabolism in freshwater fish with particular reference to polyunsaturated fatty acids. *Archives of Animal Nutrition*, 49(1), 5-22.

- Henderson, R., & Tocher, D. (1987). The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Progress in lipid research*, 26(4), 281-347.
- Herath, S., Haga, Y., & Satoh, S. (2016). Effects of long-term feeding of corn co-product-based diets on growth, fillet color, and fatty acid and amino acid composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 464, 205-212.
- Hernández, C., Trejo, A., Loredó, J., & Gutiérrez, G. (2016). Evaluación de la eficiencia productiva de tres líneas de tilapia con reversión sexual en un sistema de recirculación (RAS). *Latin american journal of aquatic research*, 44(4), 869-874.
- Hernández, L., Londoño, J., Hernández, K., & Torres, L. (2019). The biofloc systems: an efficient strategy in the aquaculture production. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(1), 70-99.
- Hinzpeter, I., Shene, C., & Masson, L. (2006). Alternativas biotecnológicas para la producción de ácidos grasos poliinsaturados omega-3. *Repositorio académico Universidad de Chile*, 57(3), 336-342.
- Hisano, H., Barbosa, P., Hayd, L., & Mattioli, C. (2019). Evaluation of Nile tilapia in monoculture and polyculture with giant freshwater prawn in biofloc technology system and in recirculation aquaculture system. *International Aquatic Research*, 11(4), 335-346.
- Hodar, A., Vasava, R., Mahavadiya, D., & Joshi, N. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. *J. Exp. Zool. India*, 23(1), 13-21.
- Horwitz, W., & Latimer, G. (2005). AOAC-Association of official analytical chemists. *Official Methods of Analysis of AOAC International 18th ed*, Gaithersburg, Maryland, USA, 45, 75-76.
- Hsieh, S., Hu, C., Hsu, Y., & Hsieh, T. (2007). Influence of dietary lipids on the fatty acid composition and stearyl-CoA desaturase expression in hybrid tilapia

(*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) under cold shock. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 147(3), 438-444.

Hsien, S., & Quintanilla, M. (2008). Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia. Centro de desarrollo de la pesca y la acuicultura (CENDEPESCA). El Salvador, 1- 68.

Hua, K., Cobcroft, J., Cole, A., Condon, K., Jerry, D., Mangott, A., ... & Strugnell, J. (2019). The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, 1(3), 316-329.

Huerta, A. (2017). *Selección y dimensionamiento de las unidades de tratamiento de agua para un sistema de recirculación en el liceo técnico profesional* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica De Valparaíso).

Hunter, J., & Macewicz, B. (2003). Improving the accuracy and precision of reproductive information used in fisheries. *Modern approaches to assess maturity and fecundity of warm and cold water fish and squids*, 57-68.

IFFO. (2017). Organización de ingredientes marinos IFFO. Ratios pescado requerido: pescado obtenido (FIFO) para la conversión de pescado silvestre a pescado de cultivo, incluyendo salmón. Recuperado de: <https://www.iffocom.com/es/node/81>.

Jackson, A. (2009). Fish in–fish out ratios explained. *Aquaculture Europe*, 34(3), 5-10.

Jannathulla, R., Rajaram, V., Kalanjiam, R., Ambasankar, K., Muralidhar, M., & Dayal, J. S. (2019). Fishmeal availability in the scenarios of climate change: inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources. *Aquaculture Research*, 50(12), 3493-3506.

- Jordal, A., Lie, Ø., & Torstensen, B. (2007). Complete replacement of dietary fish oil with a vegetable oil blend affect liver lipid and plasma lipoprotein levels in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Nutrition*, 13(2), 114-130.
- Kabeya, N., Yevzelman, S., Oboh, A., Tocher, D., & Monroig, O. (2018). Essential fatty acid metabolism and requirements of the cleaner fish, ballan wrasse *Labrus bergylta*: Defining pathways of long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis. *Aquaculture*, 488, 199-206.
- Karapanagiotidis, I., Bell, M., Little, D., & Yakupitiyage, A. (2007). Replacement of dietary fish oils by alpha-linolenic acid-rich oils lowers omega 3 content in tilapia flesh. *Lipids*, 42(6), 547-559.
- Khalifa, N., Belal, I., El-Tarabily, K., Tariq, S., & Kassab, A. (2018). Evaluation of replacing fish meal with corn protein concentrate in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings commercial diet. *Aquaculture Nutrition*, 24(1), 143-152.
- Khallaf, E., Alne-na-ei, A., El-messady, F., & Hanafy, E. (2020). Effect of climate change on growth and reproduction of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) from Bahr Shebeen Canal, Delta of Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(5), 483-509.
- Kok, B., Malcorps, W., Tlusty, M., Eltholth, M., Auchterlonie, N., Little, D., ... & Davies, S. (2020). Fish as feed: Using economic allocation to quantify the Fish In: Fish Out ratio of major fed aquaculture species. *Aquaculture*, 528, 735474.
- Konar, M., Qiu, S., Tougher, B., Vause, J., Tlusty, M., Fitzsimmons, K., ... & Cao, L. (2019). Illustrating the hidden economic, social and ecological values of global forage fish resources. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104456.
- Koolman, J., & Röhm, K. (2005). *Bioquímica: texto y atlas*. Ed. Médica Panamericana.
- Kris, P., Harris, W., & Appel, L. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*, 106(21), 2747-2757.

- Kumkhong, S., Marandel, L., Plagnes-Juan, E., Veron, V., Panserat, S., & Boonanuntanasarn, S. (2021). Glucose injection into the yolk influences intermediary metabolism in adult Nile tilapia fed with high levels of carbohydrates. *animal*, 15(9), 100347.
- Leaver, M., Villeneuve, L., Obach, A., Jensen, L., Bron, J., Tocher, D., & Taggart, J. (2008). Functional genomics reveals increases in cholesterol biosynthetic genes and highly unsaturated fatty acid biosynthesis after dietary substitution of fish oil with vegetable oils in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Bmc Genomics*, 9(1), 299.
- Lewis, H., & Kohler, C. (2008). Minimizing fish oil and fish meal with plant-based alternatives in sunshine bass diets without negatively impacting growth and muscle fatty acid profile. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39(5), 573-585.
- Liland, N., Rosenlund, G., Berntssen, M., Brattelid, T., Madsen, L., & Torstensen, B. (2013). Net production of Atlantic salmon (FIFO, Fish in Fish out < 1) with dietary plant proteins and vegetable oils. *Aquaculture Nutrition*, 19(3), 289-300.
- Lima, B., Takahashi, N., Tabata, Y., Hattori, R., da Silva, C., & Moreira, R. (2019). Balanced omega-3 and-6 vegetable oil of Amazonian sacha inchi act as LC-PUFA precursors in rainbow trout juveniles: Effects on growth and fatty acid biosynthesis. *Aquaculture*, 509, 236-245.
- Liu, Y., Jiao, J., Gao, S., Ning, L., Limbu, S., Qiao, F., ... & Du, Z. (2019a). Dietary oils modify lipid molecules and nutritional value of fillet in Nile tilapia: A deep lipidomics analysis. *Food chemistry*, 277, 515-523.
- Liu, Y., Wen, J., Ning, L., Jiao, J., Qiao, F., Chen, L., ... & Du, Z. (2019b). Comparison of effects of dietary-specific fatty acids on growth and lipid metabolism in Nile tilapia. *Aquaculture Nutrition*, 25(4), 862-872.

- Lowe, R. (2000). The roles of tilapias in ecosystems. In *Tilapias: biology and exploitation*. Springer, Dordrecht, 129-162.
- Luo, Z., Li, X., Bai, H., & Gong, S. (2008). Effects of dietary fatty acid composition on muscle composition and hepatic fatty acid profile in juvenile *Synechogobius hasta*. *Journal of Applied Ichthyology*, 24(1), 116-119.
- Maddock, D., & Burton, M. (1998). Gross and histological observations of ovarian development and related condition changes in American plaice. *Journal of Fish Biology*, 53(5), 928-944.
- Makori, A., Abuom, P., Kapiyo, R., Anyona, D., & Dida, G. (2017). Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia County. *Fisheries and aquatic sciences*, 20(1), 1-10.
- Malcorps, W., Kok, B., van't Land, M., Fritz, M., van Doren, D., Servin, K., ... & Davies, S. (2019). The sustainability conundrum of fishmeal substitution by plant ingredients in shrimp feeds. *Sustainability*, 11(4), 1212.
- Malpartida, J., Carvalho, J., de Espirito Santo, C., & Vinatea, L. (2018). Production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* grown in BFT using two aeration systems. *Aquaculture Research*, 49(1), 222-231.
- Mariño, U., & Alcalá, G. (2020). Pescadores en México y Cuba: Retos y oportunidades ante el cambio climático.
- Marroquin, E. (2018). Efecto de la inclusión de ingredientes no tradicionales en la alimentación de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) sobre parámetros hematológicos y bioquímica sanguínea (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Melo, V., & Cuamatzi, O. (2020). *Bioquímica de los procesos metabólicos*. Reverte.

- Menoyo, D., Izquierdo, M., Robaina, L., Ginés, R., Lopez, C., & Bautista, J. (2004). Adaptation of lipid metabolism, tissue composition and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) to the replacement of dietary fish oil by linseed and soyabean oils. *British Journal of Nutrition*, 92(1), 41-52.
- Merino, G., Barange, M., Mullon, C., & Rodwell, L. (2010). Impacts of global environmental change and aquaculture expansion on marine ecosystems. *Global Environmental Change*, 20(4), 586-596.
- Messina, M., Piccolo, G., Tulli, F., Messina, C., Cardinaletti, G., & Tibaldi, E. (2013). Lipid composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fed diets containing wheat gluten and legume meals as substitutes for fish meal. *Aquaculture*, 376, 6-14.
- Metwally, M. (2009). Effects of garlic (*Allium sativum*) on some antioxidant activities in tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*). *World Journal of fish and marine sciences*, 1(1), 56-64.
- Meyer, D. (2004). *Introducción a la Acuicultura*. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras, 1-144.
- Miranda, R., & Guerrero, C. (2015). Efecto de la torta de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) sobre el desempeño productivo de juveniles de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Respuestas*, 20(2), 82-92.
- Mitra, A. (2020). Thought of Alternate Aquafeed: Conundrum in Aquaculture Sustainability? In *Proceedings of the Zoological Society*, 1-18.
- Mjoun, K., Rosentrater, K., & Brown, M. (2010). Tilapia: environmental biology and nutritional requirements. *Fact Sheets*, 164, 2-8.
- Mohammadi, M., Imani, A., Farhangi, M., Gharaei, A., & Hafezieh, M. (2020). Replacement of fishmeal with processed canola meal in diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Growth performance, mucosal innate immunity,

- hepatic oxidative status, liver and intestine histology. *Aquaculture*, 518, 734824.
- Montoya, N., Marquez, E., Castillo, F., Cárdenas, J., López, J., Ruíz, S., ... & Ocaño, V. (2019). Advances in the use of alternative protein sources for tilapia feeding. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 515-526.
- Montoya, N., Oloño, J., Ríos, E., Rodríguez, F., Torres, W., Yañez, F., ... & Higuera, V. (2018). Efecto de la sustitución de proteína animal por vegetal en el alimento sobre la fisiología de la tilapia del Nilo. *Biotecnia*, 20(2), 37-42.
- Moreno, J. (2013). Cambios en el perfil de ácidos grasos de filete de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en respuesta a diferentes fuentes lipídicas. *Departamento de Ciencias para la Producción Animal*, 1-134.
- Moreno, J., Muñoz, A., & Wills, G. (2013). Efecto de la inclusión de diferentes fuentes de lípidos sobre parámetros productivos y composición proximal del filete de tilapia nilótica–*Oreochromis niloticus*–cultivada en jaulas flotantes. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 60(II), 100-111.
- Mullon, C., Mittaine, J., Thébaud, O., Péron, G., Merino, G., & Barange, M. (2009). Modeling the global fishmeal and fish oil markets. *Natural Resource Modeling*, 22(4), 564-609.
- Murray, D., Hager, H., Tocher, D., & Kainz, M. (2014). Effect of partial replacement of dietary fish meal and oil by pumpkin kernel cake and rapeseed oil on fatty acid composition and metabolism in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Aquaculture*, 431, 85-91.
- Mustapha, M., & Atolagbe, S. (2018). Tolerance level of different life stages of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) to low pH and acidified waters. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 79(1), 1-6.

- Nagel, F., von Danwitz, A., Tusche, K., Kroeckel, S., van Bussel, C., Schlachter, M., ... & Schulz, C. (2012). Nutritional evaluation of rapeseed protein isolate as fish meal substitute for juvenile turbot (*Psetta maxima* L.)—Impact on growth performance, body composition, nutrient digestibility and blood physiology. *Aquaculture*, 356, 357-364.
- Naylor, R., Hardy, R., Bureau, D., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A., ... & Nichols, P. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36), 15103-15110.
- Ng, W., & Romano, N. (2013). A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Reviews in Aquaculture*, 5(4), 220-254.
- Ng, W., & Wang, Y. (2011). Inclusion of crude palm oil in the broodstock diets of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, resulted in enhanced reproductive performance compared to broodfish fed diets with added fish oil or linseed oil. *Aquaculture*, 314(1-4), 122-131.
- Ng, W., Chong, C., Wang, Y., & Romano, N. (2013). Effects of dietary fish and vegetable oils on the growth, tissue fatty acid composition, oxidative stability and vitamin E content of red hybrid tilapia and efficacy of using fish oil finishing diets. *Aquaculture*, 372, 97-110.
- Nguyen, N., Ponzoni, R., Yee, H., Bakar, K., Hamzah, A., & Khaw, H. (2010). Quantitative genetic basis of fatty acid composition in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for high growth. *Aquaculture*, 309(1-4), 66-74.
- Niño, H., & Aguilar, X. (2014). Crecimiento y conversión alimenticia de tilapia roja "*Oreochromis* sp" con diferentes frecuencias de alimentación. *Innovando en la U*, 6, 59-66.

- Norambuena, F., Morais, S., Estévez, A., Bell, J., Tocher, D., Navarro, J., ... & Duncan, N. (2013). Dietary modulation of arachidonic acid metabolism in senegalese sole (*Solea Senegalensis*) broodstock reared in captivity. *Aquaculture*, 372, 80-88.
- O'Neal, C., & Kohler, C. (2008). Effect of replacing menhaden oil with catfish oil on the fatty acid composition of juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39(1), 62-71.
- Oboh, A., Betancor, M., Tocher, D., & Monroig, O. (2016). Biosynthesis of long-chain polyunsaturated fatty acids in the African catfish *Clarias gariepinus*: Molecular cloning and functional characterisation of fatty acyl desaturase (fads2) and elongase (elovl2) cDNAs. *Aquaculture*, 462, 70-79.
- Ogello, E., Musa, S., Aura, C., Abwao, J., & Munguti, J. (2014). An appraisal of the feasibility of tilapia production in ponds using biofloc technology: A review. *International Journal of Aquatic Science*, 5(1), 21-39.
- Okamura, H., & Semba, Y. (2009). A novel statistical method for validating the periodicity of vertebral growth band formation in elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66(5), 771-780.
- Orlando, T., Fontes, T., Paulino, R., Murgas, L., López, J., & Rosa, P. (2020). Effects of the dietary linoleic acid to linolenic acid ratio for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) breeding females. *Aquaculture*, 516, 734625.
- Ornelas, R., Aguilar, B., Hernández, A., Hinojosa, J., & Godínez, D. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta universitaria*, 27(5), 19-25.
- Owatari, M., Jesus, G., de Melo, M., Lapa, K., Martins, M., & Mouriño, J. (2018). Synthetic fibre as biological support in freshwater recirculating aquaculture systems (RAS). *Aquacultural engineering*, 82, 56-62.
- Poot, G., Gasca, E., & Olvera, M. (2012). Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidoscolus*

chayamansa McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado. *Latin american journal of aquatic research*, 40(4), 835-846.

Prieto, M. (2014). Metabolismo energetico em híbrido de *Pseudoplatystoma reticulatum* x *Leiarius marmoratus* (Doctoral dissertation, Universidad federal de Lavras).

Radwan, I. (2010). Case study on developing financially viable Recirculation Aquaculture Systems (RAS) for tilapia production in Egypt: technology transfer from the Netherlands. *Aquaculture Compendium*, (118016).

Rathore, S., Yusufzai, S., Chandravanshi, A., Chandravanshi, P., & Jaiswal, K. (2017). Review on tilapia: nutrition, feeds, and feed management. *Editorial Board*, 6(8), 115-136.

Rebolé, A., Velasco, S., Rodríguez, M., Treviño, J., Alzueta, C., Tejedor, J., & Ortiz, L. (2015). Nutrient content in the muscle and skin of fillets from farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food chemistry*, 174, 614-620.

Ribeiro, P., Logato, P., Paula, D., Costa, A., Murgas, L., & Freitas, R. (2008). Efeito do uso de óleo na dieta sobre a lipogênese e o perfil lipídico de tilápias-domílo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(8), 1331-1337.

Richard, N., Kaushik, S., Larroquet, L., Panserat, S., & Corraze, G. (2006a). Replacing dietary fish oil by vegetable oils has little effect on lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *British journal of Nutrition*, 96(2), 299-309.

Richard, N., Mourente, G., Kaushik, S., & Corraze, G. (2006b). Replacement of a large portion of fish oil by vegetable oils does not affect lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in *European seabass* (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture*, 261(3), 1077-1087.

Riche, M., & Garling, D. (2003). Feeding tilapia in intensive recirculating systems. NCRAC Extension Fact Sheets. 6. http://lib.dr.iastate.edu/ncrac_factsheets/6

- Rocha, C., Pascuas, A., & Perez, A. P. (2018). Respuestas hematológicas, hepáticas y esplénicas al estrés de tilapias en jaulas y libres en el embalse de Betania, Colombia. *Revista AquaTIC*, (49), 8-20.
- Roeger, J., Foale, S., & Sheaves, M. (2016). When 'fishing down the food chain' results in improved food security: evidence from a small pelagic fishery in Solomon Islands. *Fisheries Research*, 174, 250-259.
- Romana, M., Larona, M., & Catacutan, M. (2013). On-farm feed management practices for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the Philippines. *On-farm feeding and feed management in aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture, Rome, Technical Paper, 583*, 131-158.
- Saavedra, M. (2006). *Texto de Asignatura Producción Agropecuaria y Acuicola. Carrera Ingeniería Industrial*. Departamento de Tecnología y Arquitectura. Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.
- Savonitto, G., Barkan, R., Harpaz, S., Neori, A., Chernova, H., Terlizzi, A., & Guttman, L. (2021). Fishmeal replacement by periphyton reduces the fish in fish out ratio and alimentation cost in gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.
- Schreck, C., & Moyle, P. (1990). *Methods for fish biology*, 1- 648.
- Schulz, C., Knaus, U., Wirth, M., & Rennert, B. (2005). Effects of varying dietary fatty acid profile on growth performance, fatty acid, body and tissue composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture Nutrition*, 11(6), 403-413.
- Sciberras, M., Hiddink, J., Jennings, S., Szostek, C., Hughes, K., Kneafsey, B., ... & Kaiser, M. (2018). Response of benthic fauna to experimental bottom fishing: A global meta-analysis. *Fish and Fisheries*, 19(4), 698-715.

- Shepherd, C., & Jackson, A. (2013). Global fishmeal and fish-oil supply: inputs, outputs and markets. *Journal of Fish Biology*, 1-21.
- Shepherd, C., Monroig, O., & Tocher, D. (2017). Future availability of raw materials for salmon feeds and supply chain implications: The case of Scottish farmed salmon. *Aquaculture*, 467, 49-62.
- Shepherd, J., & Bachis, E. (2014). Changing supply and demand for fish oil. *Aquaculture Economics & Management*, 18(4), 395-416.
- Soto, G. (2018). Sistema integral de automatización para sistemas de producción intensiva acuícola.
- Sprague, M., Dick, J., & Tocher, D. (2016). Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–2015. *Scientific reports*, 6(1), 1-9.
- Steffens, W., Wirth, M., & Rennert, B. (1995). Effects of adding various oils to the diet on growth, feed conversion and chemical composition of carp (*Cyprinus carpio*). *Archives of Animal Nutrition*, 47(4), 381-389.
- Stickney, R. (2017). Tilapia feeding habits and environmental tolerances. *Tilapia in intensive co-culture*. John Wiley & Sons, New Jersey, 25-35.
- Tacon, A. (2020). Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 43-56.
- Tacon, A., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1-4), 146-158.
- Tacon, A., Hasan, M., & Metian, M. (2011). Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: trends and prospects. *FAO Fisheries and Aquaculture technical paper*, 564, 71-87.

- Teoh, C., & Ng, W. (2016). The implications of substituting dietary fish oil with vegetable oils on the growth performance, fillet fatty acid profile and modulation of the fatty acid elongase, desaturase and oxidation activities of red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp. *Aquaculture*, 465, 311-322.
- Teoh, C., Turchini, G., & Ng, W. (2011). Genetically improved farmed Nile tilapia and red hybrid tilapia showed differences in fatty acid metabolism when fed diets with added fish oil or a vegetable oil blend. *Aquaculture*, 312(1-4), 126-136.
- Thomas, A., Mangubhai, S., Fox, M., Meo, S., Miller, K., Naisilisili, W., ... & Waqairatu, S. (2021). Why they must be counted: Significant contributions of Fijian women fishers to food security and livelihoods. *Ocean & Coastal Management*, 205, 105571.
- Tocher, D. (2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in fisheries science*, 11(2), 107-184.
- Tocher, D., Agaba, M., Hastings, N., Bell, J., Dick, J., & Teale, A. (2001). Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 24(4), 309-320.
- Torrecillas, S., Robaina, L., Caballero, M. J., Montero, D., Calandra, G., Mompel, D., ... & Izquierdo, M. S. (2017a). Combined replacement of fishmeal and fish oil in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Production performance, tissue composition and liver morphology. *Aquaculture*, 474, 101-112.
- Torrecillas, S., Mompel, D., Caballero, M., Montero, D., Merrifield, D., Rodiles, A., ... & Izquierdo, M. (2017b). Effect of fishmeal and fish oil replacement by vegetable meals and oils on gut health of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 468, 386-398.

- Torres, H. (2019). Evaluación de la inclusión de fuentes proteicas vegetales a la harina de pescado y su efecto en parametros de crecimiento y eficiencia nutritiva de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.) (Doctoral dissertation).
- Torres, R., Gonzalez, P., & Pena, S. (2010). Anatomical, histological and ultrastructural description of the gills and liver of the Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Morphology*, 28(3), 703-712.
- Torstensen, B., Lie, Ø., & Frøyland, L. (2000). Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) effects of capelin oil, palm oil, and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources. *Lipids*, 35(6), 653-664.
- Toyes, E., Parrish, C., Viana, M., Carreón, L., Magallón, P., & Magallón, F. (2020). Replacement of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil in diets for juvenile tilapia (var. GIFT *Oreochromis niloticus*) and its effect on growth, feed utilization and muscle lipid composition. *Aquaculture*, 735177.
- Triana, P., Gutierrez, 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.
- Tu, C., Chen, K., & Hsieh, C. (2018). Fishing and temperature effects on the size structure of exploited fish stocks. *Scientific reports*, 8(1), 1-10.
- Turchini, G., Torstensen, B., & Ng, W. (2009). Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 1(1), 10-57.
- Turchini, G., Trushenski, J., & Glencross, B. (2019). Thoughts for the future of aquaculture nutrition: realigning perspectives to reflect contemporary issues related to judicious use of marine resources in aquafeeds. *North American Journal of Aquaculture*, 81(1), 13-39.

- Valenzuela, R., Morales, J., Sanhueza, J., & Valenzuela, A. (2013). Ácido docosahexaenoico (DHA), un ácido graso esencial a nivel cerebral. *Revista chilena de nutrición*, 40(4), 383-390.
- Vázquez, I. (2020). A fine kettle of fish: the fishing industry and environmental impacts. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 13, 1-5.
- Vega, F., Del CortésLM, C., Zúñiga, L., Jaime, C., & Galindo, L. (2010). Small-scale culture of tilapia (*Oreochromis niloticus*), alimentary alternative for rural and peri-urban families in Mexico. *REDVET-Rev Electrón Vet*, 11, 1-15.
- Vicente, I., & Fonseca, C. (2013). Impact of introduced Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on non-native aquatic ecosystems. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16(3), 121-126.
- Visentainer, J., de Souza, N., Makoto, M., Hayashi, C., & Franco, M. (2005). Influence of diets enriched with flaxseed oil on the α -linolenic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acid in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Food Chemistry*, 90(4), 557-560.
- Voet, D., & Voet, J. (2004). Biochemistry. Hoboken. *John Wiley & Sons*, 1- 591.
- Waitzberg, D., & Garla, P. (2014). Contribution of omega-3 fatty acids for memory and cognitive function. *Nutricion hospitalaria*,30 (3), 467-477
- Wang, M., & Lu, M. (2016). Tilapia polyculture: a global review. *Aquaculture research*, 47(8), 2363-2374.
- Webster, C., & Lim, C. (2006). *Tilapia: biology, culture, and nutrition*. CRC Press.
- Wongbusarakum, S., Gorstein, M., Pomeroy, R., Anderson, C. L., & Mawyer, A. (2021). Mobilizing for change: Assessing Social adaptive capacity in Micronesian fishing communities. *Marine Policy*, 129, 104508.
- Worm, B., & Branch, T. A. (2012). The future of fish. *Trends in ecology & evolution*, 27(11), 594-599.

- Wu, D., Zhou, L., Gao, M., Wang, M., Wang, B., He, J., ... & Pu, Q. (2018). Effects of stickwater hydrolysates on growth performance for yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture*, 488, 161-173.
- Xie, S., Zheng, K., Chen, J., Zhang, Z., Zhu, X., & Yang, Y. (2011). Effect of water temperature on energy budget of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 17(3), e683-e690.
- Xu, H., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Wang, J., Ma, H., ... & Liufu, Z. (2010). Effects of dietary arachidonic acid on growth performance, survival, immune response and tissue fatty acid composition of juvenile *Japanese seabass*, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 307(1-2), 75-82.
- Xu, H., Cao, L., Wei, Y., Zhang, Y., & Liang, M. (2018). Lipid contents in farmed fish are influenced by dietary DHA/EPA ratio: a study with the marine flatfish, tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). *Aquaculture*, 485, 183-190.
- Yupanqui, I. (2016). Nutrigenómica de la tilapia, ("*Oreochromis niloticus*") alimentada con diferentes fuentes de ácidos grasos (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- Zambrano, D. (2013). Evaluación de tres métodos de alimentación mediante la utilización de *Azolla anabaena* y alimento balanceado en el rendimiento del cultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* en la fase de iniciación-levante como alternativa de producción en la granja integral demostrativa de la Secretaria de Agricultura de Linares. Informe final de Trabajo de Grado. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Zhang, C., Chen, Y., Xu, B., Xue, Y., & Ren, Y. (2018). Evaluating fishing effects on the stability of fish communities using a size-spectrum model. *Fisheries Research*, 197, 123-130.

ANEXOS

Anexo A: Tabla ANOVA, parametros de desempeño- tratamientos.

		ANOVA desempeño por tratamientos				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
PESO INICIAL	Entre grupos	1042,956	3	347,652	23,198	0,000
	Dentro de grupos	3296,934	220	14,986		
	Total	4339,890	223			
PESO	Entre grupos	7193,979	3	2397,993	3,038	0,030
	Dentro de grupos	173648,098	220	789,310		
	Total	180842,077	223			
TALLA	Entre grupos	35,819	3	11,940	4,533	0,004
	Dentro de grupos	579,433	220	2,634		
	Total	615,252	223			
CONSUMO	Entre grupos	55133,644	3	18377,881	659,810	0,000
	Dentro de grupos	6127,721	220	27,853		
	Total	61261,366	223			
GANANCIA EN PESO	Entre grupos	6065,083	3	2021,694	2,337	0,075
	Dentro de grupos	190289,158	220	864,951		
	Total	196354,241	223			
TASA DE CRECIMIENTO	Entre grupos	1,196	3	0,399	4,037	0,008
	Dentro de grupos	21,728	220	0,099		
	Total	22,924	223			
FCA	Entre grupos	10,837	3	3,612	6,277	0,000
	Dentro de grupos	126,607	220	0,575		
	Total	137,444	223			

Anexo B: Tabla ANOVA parametros de desempeño en machos.

		ANOVA desempeño machos				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
PESO INICIAL	Entre grupos	103,676	3	34,559	16,709	0,000
	Dentro de grupos	223,380	108	2,068		
	Total	327,056	111			
PESO	Entre grupos	7389,124	3	2463,041	2,674	0,051
	Dentro de grupos	99484,974	108	921,157		
	Total	106874,097	111			
TALLA	Entre grupos	27,355	3	9,118	4,210	0,007
	Dentro de grupos	233,905	108	2,166		
	Total	261,260	111			
CONSUMO	Entre grupos	25609,372	3	8536,457	503,024	0,000
	Dentro de grupos	1832,790	108	16,970		
	Total	27442,162	111			
GANANCIA EN PESO	Entre grupos	8387,682	3	2795,894	3,032	0,032
	Dentro de grupos	99580,820	108	922,045		
	Total	107968,501	111			
TASA DE CRECIMIENTO	Entre grupos	0,939	3	0,313	4,318	0,006
	Dentro de grupos	7,827	108	0,072		
	Total	8,766	111			
FCA	Entre grupos	4,174	3	1,391	3,433	0,020
	Dentro de grupos	43,775	108	0,405		
	Total	47,949	111			

Anexo C: Tabla ANOVA parametros de desempeño en hembras.

ANOVA desempeño hembras

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
PESO INICIAL	Entre grupos	2563,919	3	854,640	133,865	0,000
	Dentro de grupos	689,510	108	6,384		
	Total	3253,429	111			
PESO	Entre grupos	9014,331	3	3004,777	5,958	0,001
	Dentro de grupos	54464,918	108	504,305		
	Total	63479,249	111			
TALLA	Entre grupos	51,229	3	17,076	6,887	0,000
	Dentro de grupos	267,798	108	2,480		
	Total	319,027	111			
CONSUMO	Entre grupos	30851,671	3	10283,890	1857,206	0,000
	Dentro de grupos	598,027	108	5,537		
	Total	31449,698	111			
GANANCIA EN PESO	Entre grupos	15073,701	3	5024,567	9,649	0,000
	Dentro de grupos	56241,921	108	520,759		
	Total	71315,622	111			
TASA DE CRECIMIENTO	Entre grupos	4,964	3	1,655	29,130	0,000
	Dentro de grupos	6,135	108	0,057		
	Total	11,099	111			
FCA	Entre grupos	16,517	3	5,506	8,655	0,000
	Dentro de grupos	68,705	108	0,636		
	Total	85,222	111			

Anexo D: Tabla ANOVA índices gonadosomático y hepatosomático.

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
GLUCOMETRIA (mg/dL)	Entre grupos	2353,145	3	784,382	0,679	0,566
	Dentro de grupos	254051,957	220	1154,782		
	Total	256405,102	223			
IG*2	Entre grupos	9,348	3	3,116	1,042	0,375
	Dentro de grupos	657,686	220	2,989		
	Total	667,034	223			
IHS*100	Entre grupos	0,039	3	0,013	2,002	0,115
	Dentro de grupos	1,412	220	0,006		
	Total	1,450	223			

Anexo E: Tabla ANOVA índices gonadosomáticos y hepatosomáticos en machos.

		ANOVA MACHOS				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
GLUCOMETRIA (mg/dL)	Entre grupos	12898,867	3	4299,622	4,314	0,006
	Dentro de grupos	107651,476	108	996,773		
	Total	120550,343	111			
IG*2	Entre grupos	1,719	3	0,573	2,570	0,058
	Dentro de grupos	24,075	108	0,223		
	Total	25,793	111			
IHS*100	Entre grupos	0,012	3	0,004	0,780	0,508
	Dentro de grupos	0,563	108	0,005		
	Total	0,575	111			

Anexo F: Tabla ANOVA índices gonadosomaticos y hepatosomaticos en hembras.

ANOVA HEMBRAS						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
GLUCOMETRIA (mg/dL)	Entre grupos	20241,170	3,000	6747,057	6,377	0,001
	Dentro de grupos	114265,107	108,000	1058,010		
	Total	134506,277	111,000			
IG*2	Entre grupos	25,181	3,000	8,394	4,727	0,004
	Dentro de grupos	191,796	108,000	1,776		
	Total	216,978	111,000			
IHS*100	Entre grupos	0,080	3,000	0,027	3,792	0,012
	Dentro de grupos	0,758	108,000	0,007		
	Total	0,838	111,000			