

Artículo científico

## Crecimiento, eficiencia y composición de tilapia (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia fetida*)<sup>1</sup>

Lucía Salazar-Murillo <sup>2</sup>, Alejandro Chacón-Villalobos <sup>3</sup>, Juan Ignacio Herrera-Muñoz <sup>4</sup>

### RESUMEN

El alimento balanceado para tilapia está conformado principalmente por harina de pescado, harina de soya y otros productos proteicos de alto costo, convirtiendo a la *Eisenia fetida* en una alternativa para la sustitución proteica en la alimentación de estos peces. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la sustitución de materia seca por lombriz roja (*Eisenia fetida*) en la dieta de alevines de tilapia (*Oreochromis aureus*) sobre parámetros zootécnicos, índices corporales y composición química en peces llevados hasta la fase de engorde. El estudio se llevó a cabo en el Módulo Acuícola de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM), entre mayo y septiembre de 2021. Se sembraron 8 alevines por pecera reversados hormonalmente (8 peceras en total) con un peso inicial promedio de 3,24 g ± 0,09 g. En la fase inicial, se utilizaron dos tratamientos, el tratamiento control (T0) y el tratamiento con un 50% de sustitución de alimento balanceado por la lombriz roja deshidratada (T1) en la materia seca. En la fase de engorde, se mantuvieron las mismas unidades experimentales, pero la alimentación fue de 100% de alimento balanceado. Se determinó el efecto de esta sustitución en la ganancia de peso, incremento en la longitud

1 Este trabajo formó parte del proyecto de investigación 737-C0-180. Uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) en la nutrición de alevines de tilapia azul (*Oreochromis aureus*).

2 Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. San Pedro. San José. Correo electrónico: lucia.salazarmurillo@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-5833-7795>).

3 Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. La Unión. Cartago. Correo electrónico: alejandro.chacon@ucr.ac.cr. (<https://orcid.org/0000-0002-8454-9505>).

4 Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. San Pedro. San José. Autor de correspondencia; [juanignacio.herrera@ucr.ac.cr](mailto:juanignacio.herrera@ucr.ac.cr). (<https://orcid.org/0000-0001-5004-0826>).

Recibido: 08 julio 2022      Aceptado: 30 enero 2023

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



estándar y el ancho, tasa de crecimiento específico (TCE), tasa de conversión alimenticia (FCR), coeficiente térmico de crecimiento (CTC), eficiencia en el uso de proteína (PER), índice gonadosomático (IGS), índice hepatosomático (IHS), índice viscerosomático (IVS), relación cabeza/cuerpo y composición química final del tejido de los peces. En la ganancia de peso, incremento en la longitud estándar y el ancho, TCE, CTC, PER, IHS, IGS y composición química de los tejidos no se observaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ); en el FCR, IVS y relación cabeza/cuerpo sí se obtuvo diferencias significativas ( $p<0.05$ ).

**Palabras Clave:** Parámetros zootécnicos, composición química, niveles de sustitución, nutrición animal, acuicultura.

## ABSTRACT

Growth, efficiency, and composition of Tilapia (*Oreochromis aureus*) fed with red earth worm (*Eisenia fetida*). Balanced diets for tilapias are based mainly on fishmeal, soybean meal, and other high-cost protein ingredients, making *Eisenia fetida* an alternative for protein substitution in feeds for these species. The objective of this research was to evaluate the effect of the substitution of the red earth worm (*Eisenia fetida*) in the diet of tilapia fingerlings (*Oreochromis aureus*) on zootechnical parameters, body indices, and chemical composition in fish carried up to the fattening phase. In the Aquaculture Module of the Alfredo Volio Mata Experimental Station (EEAVM), between May and September 2021, 8 hormonally reversed fingerlings were stocked per tank (8 tanks in total) with an initial average weight of  $3.24 \text{ g} \pm 0.09 \text{ g}$ . In the initial phase, two treatments were used, the control treatment (T0) and the treatment with a 50% substitution of balanced feed for the dehydrated earth worm (T1) in dry matter. In the fattening phase, the same experimental units were used, but the feed was 100% based on commercial diet. The effect of this substitution was evaluated on weight gain, increase in standard length and width, specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), thermal growth coefficient (CTC), protein use efficiency (PER), gonadosomatic index (IGS), hepatosomatic index (HIS), viscerosomatic index (VIS), head/body ratio and final chemical composition of the fish tissue.

In weight gain, increase in standard length and width, SGR, CTC, PER, IHS, IGS, and chemical composition of the tissues, no significant differences were observed ( $p > 0.05$ ); where as in the FCR, IVS, and head/body ratio, significant differences were obtained ( $p < 0.05$ ).

**Keywords:** Zootechnical parameters, chemical composition, substitution levels, animal nutrition, aquaculture.

## INTRODUCCIÓN

A partir del aumento de la población mundial, la pesca de captura ha sufrido un estancamiento por sobreexplotación (Subasinghe et al., 2019), la acuicultura representa una importante estrategia para garantizar la seguridad alimentaria en muchas regiones.

En Costa Rica, la Tilapia es la principal especie cultivada en las producciones acuícolas, representando un 80% de la producción nacional en el año 2019 (16 667 ton) (Peña-Navarro y Chacón-Guzmán, 2019). Esta especie presenta características muy propicias para la actividad, como costos de producción razonables, resiliencia en las condiciones ambientales y tolerancia al hacinamiento y bajos niveles de oxígeno (Alvarenga-Pérez et al., 2017).

Muchos de los productores nacionales son medianos o pequeños y suelen enfrentar no sólo retos organizacionales, sino también altos costos productivos. La alimentación suele ser el más representativo de estos costos operacionales, llegando a abarcar hasta un 63% de los mismos (Sánchez y Cambronero, 2016). Parte de las razones de esto derivan de que la ración alimenticia debe satisfacer adecuadamente los requerimientos de proteína y aminoácidos esenciales de los peces, los cuales suelen superar un 32% de proteína (Torres-Novoa y Hurtado-Nery, 2012). Por esta razón, se requiere formular dietas con ingredientes de alto valor proteico, siendo la harina de pescado el de mayor proporción (Alvarenga-Pérez et al., 2017). En muchos casos estos ingredientes son importados, factor que impacta aún más su costo (Sarker et al., 2018).

Los requerimientos nutricionales varían según la etapa fisiológica de los peces. En cuanto a la proteína, los alevines requieren una mayor cantidad (45%) en contraste con los adultos en etapa de finalización (30%) (Nicovita, 2022). Asimismo, el sexo de los animales es importante desde el punto de vista productivo debido a que las hembras crecen menos que los machos por el desarrollo de su sistema y comportamiento reproductivo cuando llegan a la madurez sexual (Bombardelli, 2017).

Actualmente, el sector acuícola tiene como objetivo la búsqueda de ingredientes más rentables, y la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) se ha considerado como una fuente alternativa de proteína (Musyoka et al., 2019). Este oligoqueto puede llegar a contener hasta un 60% de proteína en base seca, con una digestibilidad mayor al 95% y excelente composición de aminoácidos; presenta entre 7-10% de grasa, 8-20% de carbohidratos, un contenido energético de 4000 kcal/kg de energía bruta y 2-3% de minerales (Hleap-Zapata et al., 2017). El perfil nutricional anterior indica que la lombriz roja californiana puede ser utilizada como una fuente de alimento para especies como la *Oreochromis spp.*, sustituyendo hasta un 25% de las fuentes proteicas usuales. Asimismo, presenta una baja mortalidad, un ciclo de maduración y reproducción rápido y casi nula transmisión de enfermedades (Alvarenga-Pérez et al., 2017; Gunya et al., 2016).

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la sustitución de la lombriz roja (*Eisenia fetida*) en la dieta de alevines de tilapia (*Oreochromis aureus*) sobre parámetros zootécnicos, índices corporales y composición química en peces llevados hasta la fase de engorde.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El presente estudio fue realizado entre mayo y setiembre del 2021 en el Módulo de Investigación Acuícola de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM), perteneciente

a la Universidad de Costa Rica, establecido en Ochomogo, Cartago, Costa Rica. La cantidad total requerida de biomasa de lombriz roja californiana se adquirió en el módulo de vermicompost de la EEAVM, el cual utiliza como sustrato excretas de bovinos lecheros. Por otra parte, los alevines reversados hormonalmente de tilapia azul (*Oreochromis aureus*) que se utilizaron en el experimento se obtuvieron en la Estación Acuícola Diamantes ubicada en Guápiles, Pococí, perteneciente al Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA).

### Diseño y condiciones experimentales

#### Obtención y preparación de la lombriz roja californiana (*E. fetida*)

El procesamiento de la *E. fetida* inició con la separación de lombrices del sustrato por medio de su exposición a una fuente de luz, en vista de la fotofobia presentada por esta especie (Bhambri et al., 2018). A continuación, fueron sometidas a un proceso de escaldado, el cual consistió en su inmersión en agua a 90 °C por un minuto, seguida de otro minuto en agua helada. Este proceso tuvo como objetivos principales realizar el sacrificio rápido de los anélidos por choque térmico e inactivar metabolitos no deseados como la lisenina, compuesto conocido por provocar una reducción en la digestibilidad y palatabilidad del producto final (Musyoka, et al., 2019). Seguidamente, las lombrices se sacaron del agua fría y fueron escurridas para colocarlas en bandejas y realizar un secado por una hora a 70 °C, utilizando un bombillo térmico para reducir su humedad. El sustrato ya deshidratado se cortó hasta obtener un producto con una granulometría aproximada de 2 mm o menos, que fue empacado en bolsas plásticas para congelarse a -20 °C y conservarlo hasta ser utilizado.

#### Manejo inicial de los alevines de tilapia azul (*Oreochromis aureus*)

Inicialmente, se adquirieron aproximadamente 300 animales masculinizados por medio del protocolo de aplicación de hormona 17 alfa-metiltestosterona, utilizando una dosis de 60 mg/kg de alimento, con el fin de obtener una población monosexual de machos (Vega-Galarza et al., 2021); este procedimiento fue establecido y ejecutado en las instalaciones de la Estación Acuícola Diamantes del INCOPESCA. Una vez finalizado el ensayo de alimentación y con el fin de corroborar la efectividad del proceso de inducción sexual, se realizó el sexado a todos los

animales por medio de observación de la papila genital, identificando el orificio ovopositor en hembras. Al momento de su llegada, se hizo una selección de los animales por pesos similares para distribuirlos en las peceras con una capacidad máxima de 56 L; el peso promedio inicial fue de 1,8 g. Se colocaron 12 peces por pecera con el fin de asegurar la cantidad de peces necesaria en caso de posibles mortalidades. Pasaron por una aclimatación de diez días en la que fueron alimentados a saciedad con alimento comercial 1,5 mm, código DAA-774-103 (MAG, 2022), mismo utilizado durante todo el experimento.

Una vez finalizada la aclimatación, se seleccionaron ocho alevines por pecera, constituyéndose cada una como unidad experimental. Considerando una densidad inicial de 0,5 kg/m<sup>3</sup> y destinando cuatro peceras a cada repetición (línea), se trabajó con un total de ocho peceras en dos repeticiones y con 64 individuos en total para la fase de inicio. Cada línea de peceras estaba conectada a un filtro externo tipo “canister” con una capacidad de recambio de 800 litros por hora, con espuma de poliuretano de baja densidad como material filtrante y una filtración biológica de tipo lecho móvil. En cada pecera se colocaron seis tubos de PVC de 50 mm de diámetro y 12 cm de longitud divididos en dos grupos de tres como enriquecimiento ambiental, con el fin de brindar refugio a los peces y reducir el estrés. Al comienzo de la fase de inicio, los alevines presentaron un peso de 3,24 g ± 0,09 g; este periodo tuvo una duración de 45 días durante el cual se mantuvieron los animales con un fotoperiodo de 12 h/12 h, utilizando un control de luz artificial.

Durante la fase de engorde, se utilizó un sistema de tres tanques de fibra de vidrio de 2700 L cada uno, que contaban con una bomba de 0,75 caballos de fuerza (para un recambio de 72% por hora) y un sistema de filtración compuesto de un filtro mecánico artesanal de fibra de algodón y otro filtro biológico de lecho móvil granular expandible. Las unidades experimentales de esta fase correspondieron a las mismas utilizadas en la fase inicial; sin embargo, estas se trasladaron a ocho jaulas con un marco cuadrado de flotación distribuidas entre los tres tanques. En cada jaula se sembraron los ocho peces con un peso promedio de 29,85 g ± 1,52 g correspondientes a cada unidad experimental provenientes de la fase inicial. Durante esta fase las tilapias fueron alimentadas con alimento balanceado de 3 mm, código DAA-762-032 (MAG, 2022).

Cabe mencionar que, en ambas fases del experimento, se utilizó un modelo de sistema de recirculación del agua (RAS, por sus siglas en inglés) y se monitorearon y controlaron los parámetros de calidad de agua (pH, oxígeno disuelto, salinidad, amoníaco, nitritos, nitratos y temperatura). Para ello, antes de la primera alimentación diaria, se realizó la medición del oxígeno, salinidad y pH con un instrumento multiparamétrico (Professional Plus, YSI). Por otra parte, semanalmente se utilizó un kit colorimétrico para medir los nitratos (Freshwater Master Test Kit, API).

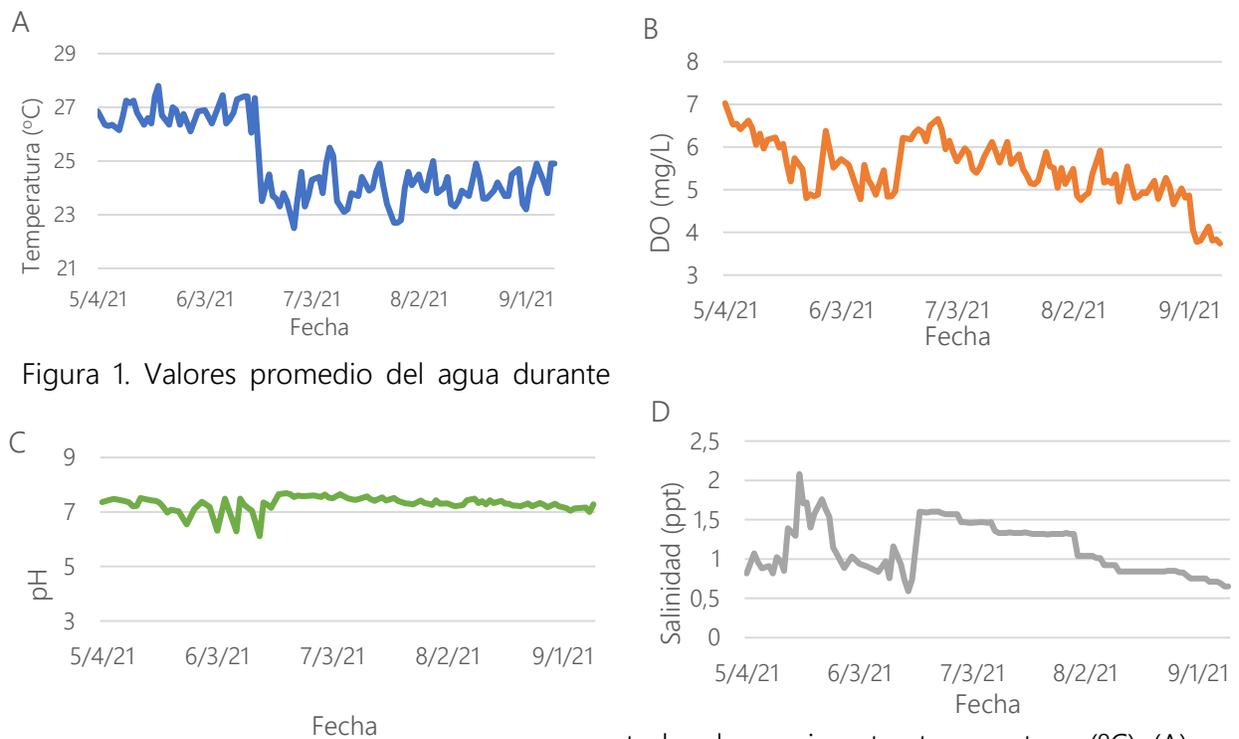


Figura 1. Valores promedio del agua durante

todo el experimento: temperatura (°C) (A); oxígeno disuelto (DO) (B); pH (C); y salinidad (ppt) (D).

### Tratamientos del ensayo de alimentación

Los tratamientos fueron asignados a las diferentes peceras en un diseño completamente aleatorizado de un factor con dos tratamientos en cuatro repeticiones cada uno. Se trabajó con un tratamiento control (T0), constituido por alimento balanceado comercial en un 100% y un tratamiento (T1), con sustitución del alimento balanceado comercial por 50% de lombriz deshidratada en términos de materia seca (MS).

Se realizó un análisis proximal de los alimentos comerciales utilizados durante el experimento para determinar si el aporte nutricional reportado coincidía con la realidad. El alimento empleado durante la aclimatación y la fase inicial del experimento reportó una composición distinta al utilizado en la fase de engorde, atendiendo los cambiantes requerimientos de los animales conforme crecieron. La composición nutricional real en base seca de los alimentos utilizados y las diferencias nutricionales entre ellos se puede observar en el Cuadro 1. Este está acompañado de la composición nutricional de la lombriz roja deshidratada ofrecida durante la primera fase experimental.

Cuadro 1. Composición nutricional de los alimentos e ingredientes utilizados durante la fase experimental.

Nutriente	Alimento comercial de 1,5 mm	Alimento comercial de 3 mm	Lombriz roja californiana
Materia seca (%)	87,98	85,91	75,00
Proteína cruda (%)	47,81	35,99	71,54
Extracto etéreo (%)	5,39	4,08	5,05
Cenizas (%)	10,35	10,31	8,40
Energía bruta (Cal/g)	4786	4615	5282

Cada tratamiento contó con una ración diaria ofrecida, estimada tomando en cuenta la capacidad máxima de consumo de materia seca de los animales, esta representó un porcentaje de la biomasa cambiante según la fase de crecimiento (Arce, 2014). La tasa de alimentación

(TAD) conforme pasó el tiempo y según la semana y fase experimental, se muestra en el Cuadro 2. Cabe destacar que las dietas ofrecidas durante la fase de inicio no fueron isoproteicas o isoenergéticas.

Cuadro 2. Variación de la TAD a lo largo a lo largo del periodo experimental.

Inicio		Engorde	
Semana 1-2	7%	Mes 1	3,5%
Semana 3	6%	Mes 2	3%
Semana 4	5%	Mes 3	2,5%
Semana 5	4%	-	-

La ración diaria en la fase inicial fue ofrecida en tres raciones, monitoreando el consumo a lo largo del día: a las 7:00 a.m. se ofreció el 40% de la ración, a la 1:00 p.m. el 30% y el restante 30% a las 5:00 p.m. La ración diaria en la fase de engorde fue ofrecida dos veces al día, iniciando con un 40% a las 8:00 a.m. y, posteriormente, con el 60% a las 2:00 p.m. Se utilizó un marco flotador pequeño para evitar que el alimento se esparciera por el tanque y permitiendo que los peces tuvieran acceso al mismo.

#### Variación de medidas durante la fase inicial y de engorde

Al concluir la aclimatación de los alevines, durante el ensayo de alimentación se llevó a cabo el pesaje y la medición de su longitud estándar y el ancho cada 15 días en ambas fases. Los parámetros zootécnicos evaluados, en conjunto con las ecuaciones para su determinación, se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Parámetros zootécnicos evaluados y su ecuación asociada en el presente estudio.

Parámetro Zootécnico	Ecuación Asociada
Ganancia de Peso Total	$GPT = Peso_{Final} - Peso_{inicial}$
Incremento de Longitud Estándar	$iSL = SL_{Final} - SL_{Inicial}^*$
Incremento Longitud de Ancho	$iSA = SA_{Final} - SA_{Inicial}^{**}$
Coefficiente Térmico de Crecimiento	$CTC = \left( \frac{(Peso_{final})^{1/3} - (Peso_{inicial})^{1/3}}{\sum Temp (^{\circ}C)} \right) 1000$
Tasa de Crecimiento Específico	$TCE = \left( \frac{\ln peso_{final} - \ln peso_{inicial}}{tiempo (días)} \right) 100$
Tasa de Conversión Alimenticia	$FCR = \frac{kg \text{ Alimento ofrecido}}{kg \text{ Incremento en biomasa}}$
Tasa de Eficiencia Proteica	$PER = \frac{kg \text{ Incremento en biomasa}}{kg \text{ Proteína ofrecida}}$
Mortalidad	$Mor = \frac{Peces \text{ muertos}}{Peces \text{ totales sembrados}} \times 100$
Índice Hepatosomático	$IHS = \frac{Peso \text{ hígado}}{Peso \text{ corporal}} \times 100$
Índice Viscerosomático	$IVS = \frac{Peso \text{ de las vísceras}}{Peso \text{ corporal}} \times 100$
Índice Gonadosomático	$IGS = \frac{Peso \text{ gónadas}}{Peso \text{ corporal}} \times 100$
Relación Cabeza/Cuerpo	$Relación \frac{Cabeza}{Cuerpo} = \frac{Peso \text{ cabeza}}{Peso \text{ corporal}} \times 100$

\*SL: distancia entre extremo anterior de la boca y límite posterior de la última vértebra, excluyendo la aleta caudal del pez.

\*\* SA: distancia entre del punto más anterior de la aleta dorsal a la aleta pectoral del pez.

Las mediciones morfométricas (Figura 2) y pesajes se realizaron con un micrómetro Vernier y una balanza granataria (LEADZM, resolución 0,01 g) respectivamente. Para realizar este procedimiento, los animales fueron anestesiados por la vía de inmersión en eugenol (Dharma, Eugenol 100%-USP Grade) a una concentración de 50 mg por litro de agua (Ackerman et al., 2005) durante la fase inicial y de engorde.



Figura 2. Imagen representativa de la forma en que se midió la longitud estándar (LE) y de ancho (LA) en una tilapia. Fuente: Elaboración propia.

Los alevines se mantuvieron bajo anestesia por pocos minutos hasta observarlos en decúbito lateral y que se pudiera percibir solamente el movimiento opercular. Al verlos en este estado, se procedió a realizar las mediciones respectivas y luego se regresaron a sus peceras, donde se recuperaron adecuadamente (Rairat et al., 2021).

Al concluir la fase de engorde, los animales se sexaron y se eutanasiaron utilizando una dosis de una concentración diez veces mayor del anestésico (500 mg/L). Seguidamente, se diseccionaron para recuperar las vísceras, hígado, gónadas y cabeza del pez, con el fin de determinar los índices mencionados anteriormente. Por último, se realizó un análisis de composición química del tejido del cuerpo eviscerado de los peces, lo que resultó en un total de cuatro repeticiones por tratamiento para determinar si existieron diferencias entre la composición nutricional de la carne de los peces de cada tratamiento.

#### Métodos de análisis proximal

Las muestras de alimento balanceado, lombriz deshidratada y composición tisular final se evaluaron en el Laboratorio de Bromatología de la EEAVM para determinar su materia seca,

proteína cruda, cenizas, extracto etéreo y contenido de energía bruta. Las muestras fueron analizadas para humedad empleando el método de estufa de convección (Tirado et al., 2014), determinación de proteína (Herrera et al., 2017), grasa cruda por extracto etéreo y determinación de cenizas totales (CITA, 2020).

### Análisis estadístico

Para la evaluación de variables relacionadas con el crecimiento, eficiencia y composición de tejidos, se utilizó un modelo lineal de efectos para muestras independientes. Asimismo, se trabajó con un nivel de significancia del 5% a partir de la comparación de cada tratamiento entre sí, utilizando el programa estadístico SPSS® (versión 25.0).

## RESULTADOS

El T0 se aplicó durante la fase de inicio a la porción correspondiente de animales, mientras que en la fase de engorde todos los animales fueron alimentados con T1. Tal como se observa en la Figura 3, se calculó la cantidad total de ambos tratamientos que los animales consumieron a lo largo de todo el experimento.

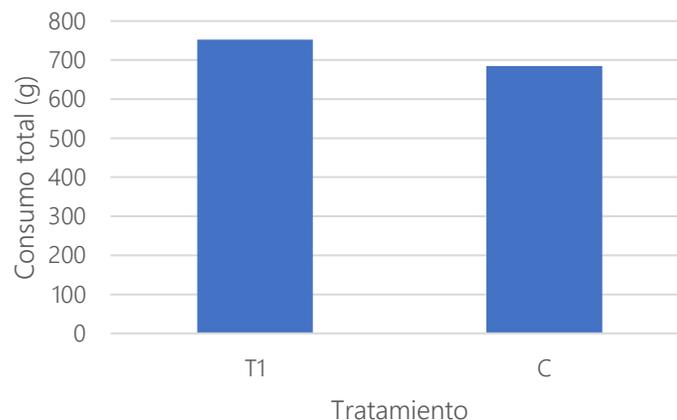


Figura 3. Consumo total de la dieta (base fresca) de los tratamientos en la fase de inicio.

A partir del consumo total, se calculó la composición nutricional de la ración total brindada al final del experimento, incluyendo el alimento consumido durante las fases de inicio y de engorde. Los resultados se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Consumo total de nutrientes por tratamiento a lo largo de todo el periodo experimental.

Nutriente	T0	T1
Materia seca (g)	1798,70	1816,30
Proteína cruda (g)	575,14	590,77
Extracto etéreo (g)	81,51	82,09
Cenizas (g)	159,74	158,03
Energía bruta (Kcal/g)	71733,28	71947,70
Relación PC:EB (g/Mcal)	80,18	82,11

### Variables de crecimiento

Ganancia de peso, longitud estándar y de ancho

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de la ganancia de peso de los tratamientos obtenidos en las fases de inicio y de engorde. Estos se calcularon a partir de los pesos medidos diariamente a lo largo de la prueba experimental. Del mismo modo, muestra la densidad por etapa en términos de kg de biomasa por m<sup>3</sup> de agua. Durante todo el experimento se obtuvo una mortalidad de 7,8%, en el Cuadro 6 se muestra cuánto de esta correspondió a cada etapa del experimento.

Cuadro 6. Ganancia diaria de peso (g) de los tratamientos en las fases de inicio y engorde.

Días	Fase inicio			Fase engorde					
	1-15	16-29	30-45	46-59	60-74	75-88	89-102	103-116	117-130
T0	0,29 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>	1,15 <sup>a</sup>	1,53 <sup>a</sup>	2,03 <sup>a</sup>	2,41 <sup>a</sup>	2,25 <sup>a</sup>	2,94 <sup>a</sup>
T1	0,30 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>	1,00 <sup>b</sup>	1,46 <sup>a</sup>	1,75 <sup>a</sup>	1,94 <sup>a</sup>	1,62 <sup>a</sup>	2,98 <sup>a</sup>
Error estándar	0,01	0,02	0,06	0,05	0,07	0,11	0,31	0,41	0,33
Valor p	0.533	0.936	0.456	0.037	0.382	0.051	0.187	0.190	0.921
Densidad Total/Etapa	4 kg/m <sup>3</sup>			5 kg/m <sup>3</sup>					
% mortalidad	80%			20%					

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre los tratamientos.

En la Figura 4 se muestran los datos de ganancia de peso en las fases de inicio (A) y de engorde (B) a lo largo del tiempo. Al final de la fase de inicio se obtuvo un valor de peso promedio de 27,31 g para el T0, mientras que el T1 obtuvo un valor de 26,86 g. Por otro lado, el peso final promedio obtenido en la fase de engorde para el T0 fue de 200,01 g y para el T1 de 175,70.

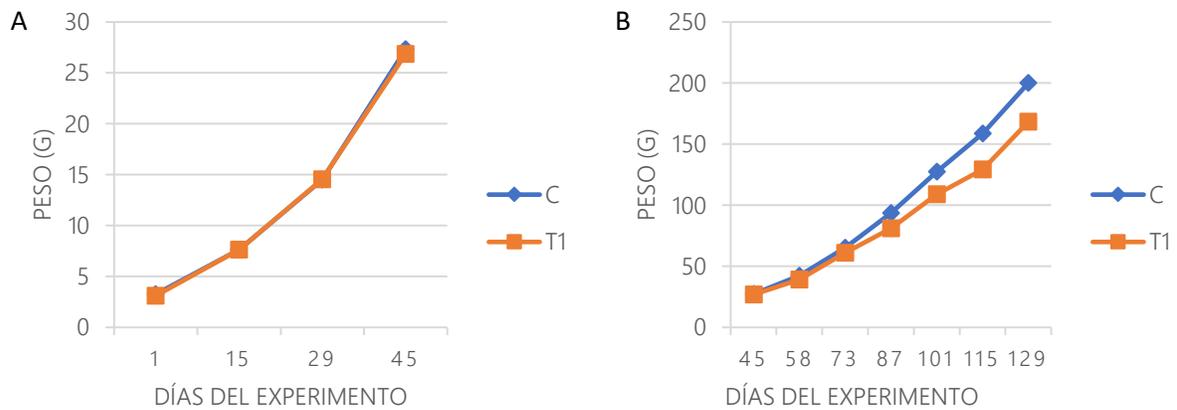


Figura 4. Ganancia de peso de los tratamientos en la fase de inicio (A) y en la fase de engorde (B).

En la Figura 5 se muestran los datos del cambio en la longitud estándar (LE) y de ancho (LA) de los animales obtenidos a lo largo de las fases de inicio (A) y engorde (B) conforme pasó el tiempo.

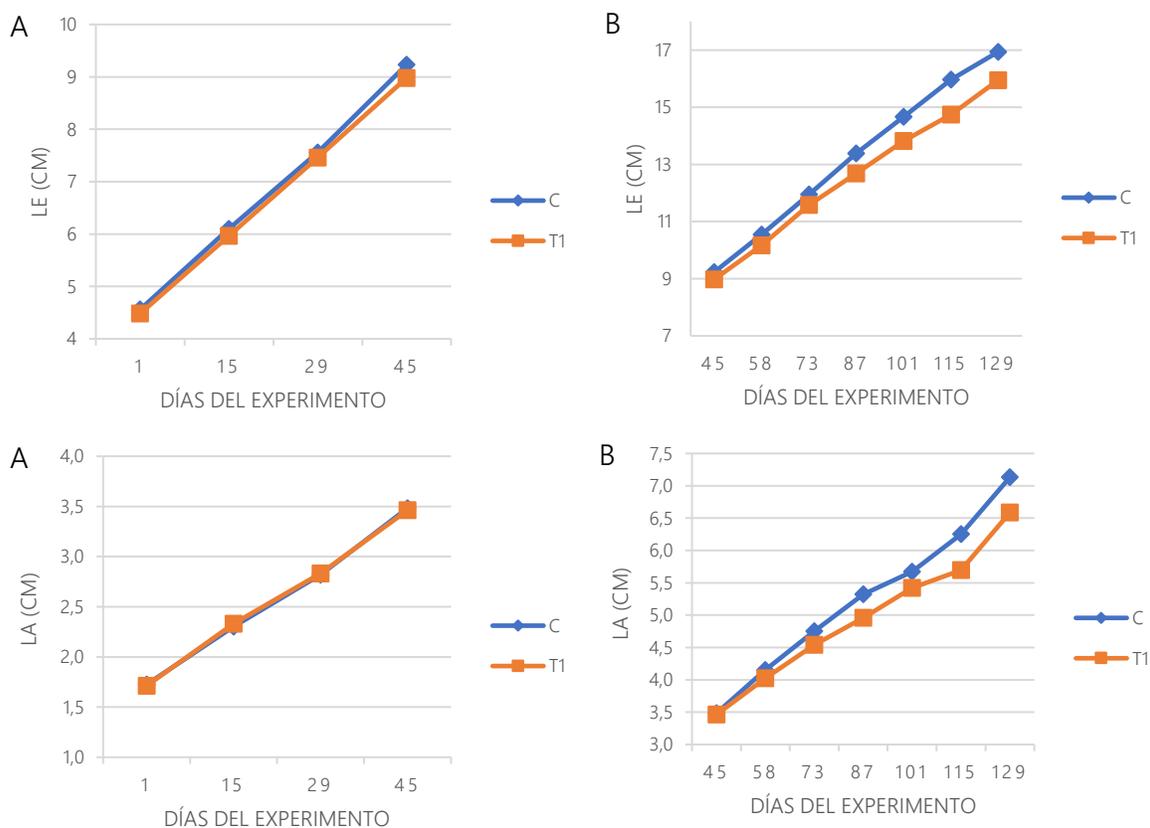


Figura 5. Datos de longitud estándar (LE) y de ancho (LA) obtenidos en las fases de inicio (A) y engorde (B).

El aumento en la LE y LA de los animales reflejan las ganancias de peso con el paso del tiempo, ya que se da un desarrollo muy similar de ambos tratamientos durante la fase de inicio y luego se observa una divergencia numérica hacia el final del ensayo. Los valores mayores fueron los del T0.

### Distribución de machos y hembras

En la Figura 6 se muestra la distribución de machos y hembras encontrada durante el experimento, según el tratamiento aplicado. Esta se calculó a partir de los resultados del sexado realizado el último día del experimento, antes del sacrificio de los animales.

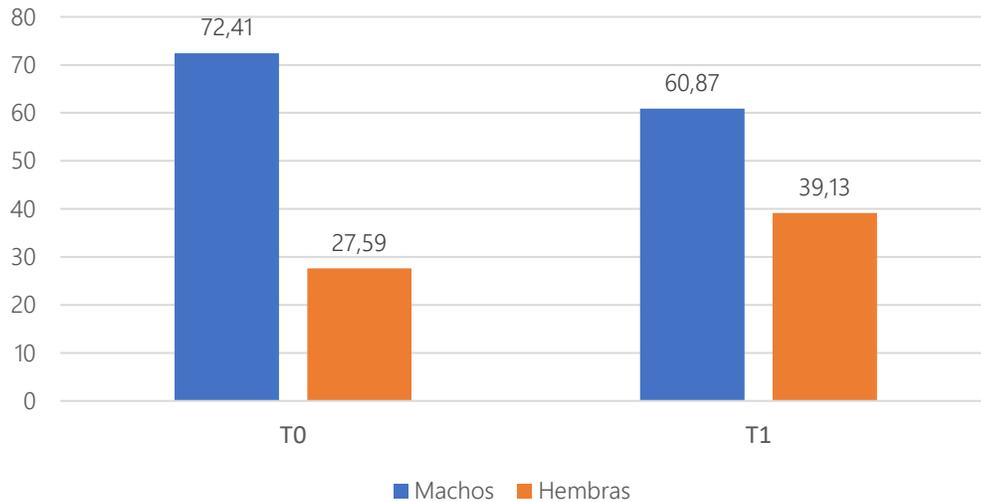


Figura 6. Distribución de machos y hembras en los tratamientos al final del experimento.

### Variables de eficiencia

Tasa de crecimiento específico (TCE), coeficiente térmico de crecimiento (CTC), tasa de conversión alimenticia (FCR) y tasa de eficiencia proteica (PER).

Se calculó la TCE, el CTC, el FCR y el PER para cada fase y según el tratamiento, resultados que se presentan en el Cuadro 7. Los datos de CTC fueron calculados a partir de los valores de peso y temperatura; se utilizó el alimento consumido y la biomasa producida para calcular la FCR; y la proteína consumida por los animales en el cálculo de la PER.

Cuadro 7. Resultados de TCE, CTC, FCR y PER obtenidos en las fases de inicio y engorde.

	Días	Fase Inicio			Fase Engorde					
		1-15	16-29	30-45	46-59	60-74	75-88	89-102	103-116	117-130
TCE	T0	5,68 <sup>a</sup>	4,58 <sup>a</sup>	3,96 <sup>a</sup>	3,35 <sup>a</sup>	2,86 <sup>a</sup>	2,60 <sup>a</sup>	2,20 <sup>a</sup>	1,58 <sup>a</sup>	1,65 <sup>a</sup>
	T1	5,94 <sup>a</sup>	4,59 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>	3,01 <sup>a</sup>	2,95 <sup>a</sup>	2,39 <sup>a</sup>	1,94 <sup>a</sup>	1,29 <sup>a</sup>	1,92 <sup>a</sup>
	Error	0,20	0,10	0,18	0,12	0,09	0,15	0,24	0,28	0,15
	Valor p	0.236	0.934	0.308	0.071	0.304	0.244	0.341	0.350	0.142
CTC	T0	1,40 <sup>a</sup>	1,35 <sup>a</sup>	1,52 <sup>a</sup>	1,99 <sup>a</sup>	1,74 <sup>a</sup>	1,81 <sup>a</sup>	1,69 <sup>a</sup>	1,46 <sup>a</sup>	1,49 <sup>a</sup>
	T1	1,46 <sup>a</sup>	1,35 <sup>a</sup>	1,43 <sup>a</sup>	1,80 <sup>b</sup>	1,73 <sup>a</sup>	1,63 <sup>a</sup>	1,45 <sup>a</sup>	1,14 <sup>a</sup>	1,65 <sup>a</sup>
	Error	0,03	0,04	0,08	0,06	0,51	0,57	0,20	0,26	0,06
	Valor p	0.159	0.951	0.336	0.026	0.421	0.295	0.269	0.286	0.026
FCR	T0	0,59 <sup>a</sup>	0,83 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>	0,81 <sup>a</sup>	1,14 <sup>a</sup>	1,04 <sup>a</sup>	1,14 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1,33 <sup>a</sup>
	T1	0,75 <sup>a</sup>	1,08 <sup>a</sup>	1,08 <sup>a</sup>	0,99 <sup>a</sup>	1,23 <sup>a</sup>	1,25 <sup>b</sup>	1,58 <sup>a</sup>	2,36 <sup>a</sup>	1,43 <sup>a</sup>
	Error	0,07	0,12	0,11	0,06	0,07	0,07	0,21	0,84	0,18
	Valor p	0.174	0.173	0.109	0.069	0.285	0.028	0.088	0.223	0.596
PER	T0	2,70 <sup>a</sup>	2,44 <sup>a</sup>	2,51 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>	2,46 <sup>a</sup>	2,68 <sup>a</sup>	2,47 <sup>a</sup>	2,34 <sup>a</sup>	2,13 <sup>a</sup>
	T1	2,24 <sup>a</sup>	1,55 <sup>b</sup>	1,57 <sup>b</sup>	2,91 <sup>a</sup>	2,27 <sup>a</sup>	2,22 <sup>b</sup>	1,85 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	1,99 <sup>a</sup>
	Error	0,31	0,34	0,31	0,27	0,16	0,15	0,32	0,45	0,27
	Valor p	0.197	0.045	0.030	0.095	0.276	0.027	0.113	0.161	0.622

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos.

Índice gonadosomático (IGS), índice hepatosomático (IHS), índice viscerosomático (IVS) y relación cabeza/cuerpo.

Según el tratamiento aplicado, se calculó el índice viscerosomático (IVS), el índice hepatosomático (IHS), el índice gonadosomático (IGS) y la relación cabeza/cuerpo de los animales al final del experimento. De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 7, es posible observar que se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos en el IVS y en la relación cabeza/cuerpo. Los otros dos índices no presentaron diferencias significativas.

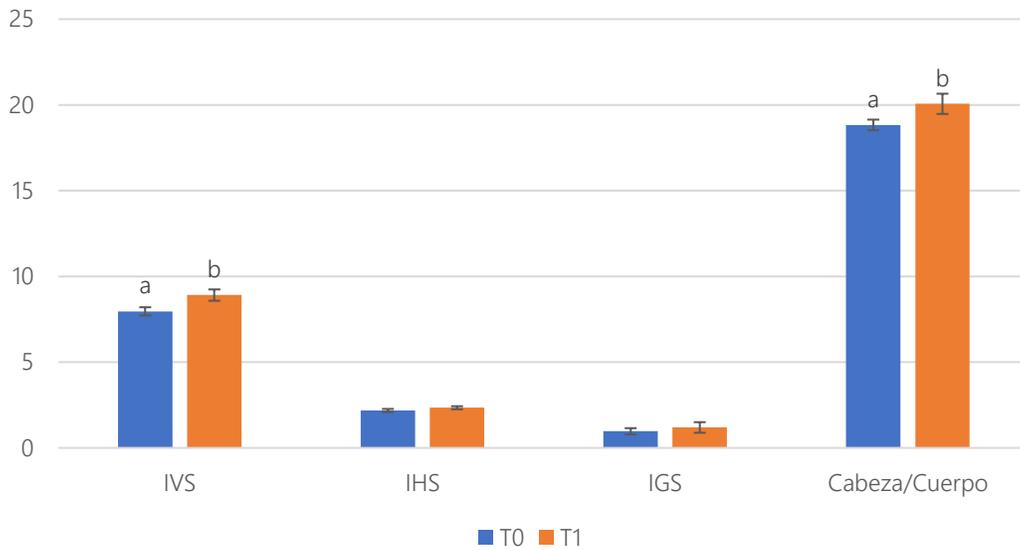


Figura 7. IVS, IHS, IGS y relación cabeza/cuerpo obtenido al final del ensayo.

La Figura 8 compara los resultados obtenidos de índice gonadosomático (IGS) en los machos y en las hembras de la muestra total de animales utilizada en el experimento.

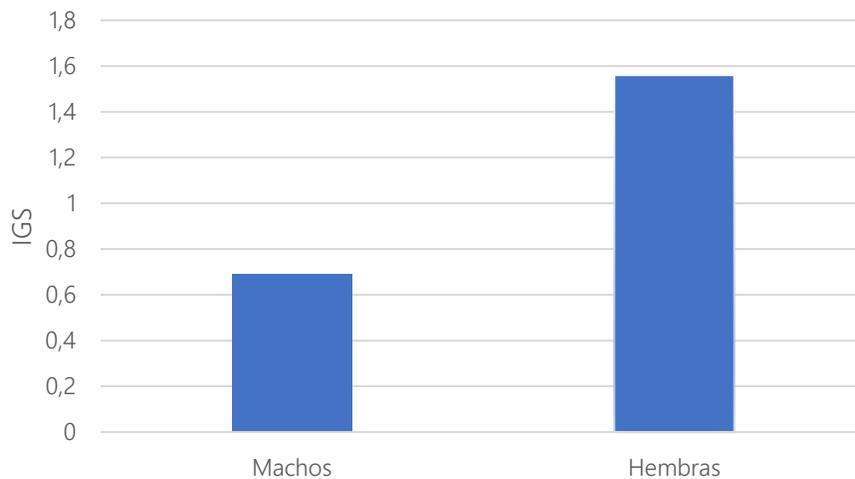


Figura 8. IGS obtenido para los machos y las hembras de todos los tratamientos.

### Análisis de composición de tejidos

En el Cuadro 9 se muestran los resultados del análisis bromatológico realizado al tejido (cuerpo eviscerado y sin cabeza) de los peces, según el tratamiento al que fueron sometidos durante el experimento.

Cuadro 9. Resultados del análisis bromatológico del tejido de los peces.

Nutriente	T0	T1	Error estándar	Valor p
Materia seca (%)	26,35	26,62	0,20	0.540
Proteína cruda (%)	69,78	69,62	0,44	0.079
Extracto etéreo (%)	16,58	16,64	0,54	0.909
Cenizas (%)	12,46	12,13	0,25	0.815
Energía bruta (Cal/g)	5375	5448	43,76	0.154

## DISCUSIÓN

En cuanto a la ganancia de peso, se puede observar que sólo se obtuvo una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la ganancia diaria al inicio de la fase de engorde; durante el resto de esta fase y toda la fase de inicio sólo se presentaron diferencias numéricas ( $p > 0.1$ ). Este aumento en la variabilidad de los datos pudo haber sido ocasionado por una disminución en el consumo por la llegada de la madurez sexual en los animales. Esto se debe a que presentan comportamientos reproductivos: los machos muestran conductas agresivas y las hembras desarrollan su sistema reproductivo (De Verdal et al., 2019; Gonçalves de Freitas et al., 2019; Alvarado-Ruiz, 2015).

Aunado a esto, las hembras de tilapia *O. aureus* son incubadoras bucales, por lo que, después de la reproducción, mantienen sus huevos en la boca durante la incubación y dejan de comer (Romana-Eguía et al., 2020). La alta presencia de hembras en la población lo convierte en un

cultivo mixto que pueden presentar una gran variabilidad en los pesos (Rakocy, 2022), debido a que los machos crecen dos veces más rápido que las hembras (Trinh et al., 2021). A su vez, Little y Edwards (2004) reportaron que los cultivos mixtos presentan una menor proporción de animales grandes comparado a los cultivos monosexo.

En lo que respecta a las variables de longitud estándar y de ancho, en ninguna se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la fase de inicio y la fase de engorde. Musyoka et al. (2020) no encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los datos de longitudes de ninguno de los tratamientos con sustitución de lombriz roja californiana del 30% y 60%. Asimismo, Dedeke et al. (2013) tampoco encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en las dietas con una sustitución del 50% de *Eisenia fetida* en las dietas de *Clarias gariepinus*. Sin embargo, es importante destacar que en los estudios mencionados se utilizaron cultivos monosexo, a diferencia del presente trabajo; además la forma en que se incluyó la lombriz en la dieta fue distinta.

Con respecto a los valores obtenidos de peso y de longitud, la mortalidad inesperada pudo ser otro factor que explique la diferencia numérica ( $p > 0.1$ ) encontrada, ya que, aunque fue baja, sólo se presentó en las repeticiones del tratamiento control. Si bien esta se dio por circunstancias ajenas al experimento, sí afectó la cantidad de animales por unidad experimental, provocando que fuera menor en las repeticiones del tratamiento T0. Esto pudo provocar un mayor espacio dentro del ambiente establecido por unidad experimental, el cual generó un menor estrés y, por ende, los animales presentaron una mayor ganancia de peso (El-Hawarry et al., 2021; Forestieri-Muñoz, 2013).

Lezcano-Cerrud y Borjas-Ferrera (2017) probaron una sustitución del 70% de harina de lombriz en alimento para alevines de tilapia, de acuerdo con los resultados, no encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la ganancia de peso de los animales. Esto pudo deberse a la mortalidad presentada en el tratamiento control, que resultó en una menor cantidad de animales y, por lo tanto, en mayores ganancias de peso. No obstante, ambas variables en los

dos tratamientos se mantuvieron durante todo el experimento dentro del promedio general esperado para la tilapia (Allaman et al., 2013; Dampin et al., 2012).

Se generó una ecuación de regresión múltiple con los datos obtenidos de peso, longitud estándar y de ancho; en la cual el peso correspondió a la variable dependiente (Y) y la longitud estándar y de ancho a las variables independientes (m1 y m2). La ecuación obtenida es la siguiente:

$$Y = 10^{(1,86(\log(LE))+1,166(\log(Ancho))-0,988)}, r^2 = 0,991$$

El error promedio obtenido al validar la ecuación con los datos de esta investigación y otros datos históricos del Laboratorio Acuícola de la EEAVM fue inferior al  $\pm 5\%$  del valor real con respecto al valor predicho. Todos aquellos productores que no cuenten con las herramientas necesarias para realizar mediciones de peso, especialmente en etapas iniciales, que requieren mayor precisión y, por ende, son más costosas, pueden utilizar esta ecuación para predecir los pesos.

Ampliando el tema del efecto del sexo del animal en términos productivos de esta especie, en la Figura 6 se puede apreciar que en ambos tratamientos hubo una gran cantidad de hembras. Después del proceso de reversión se espera que la proporción de machos sea de más del 95% de la población (Karaket et al., 2021; Santamaría-Miranda et al., 2012). No obstante, según el proceso de sexado que se llevó a cabo al final del experimento, se obtuvo un promedio general de 63% de machos, lo que indica que este proceso de reversión fue ineficiente (Karaket et al., 2021; Santamaría-Miranda et al., 2012).

En varios estudios sí se obtuvo una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la ganancia de peso al evaluar una inclusión del 50% de lombriz roja californiana en la formulación de dietas de tilapia. No obstante, en la totalidad de estos estudios las poblaciones eran monosexuales, siendo casi todos los peces machos (Ahmed et al., 2020; Alvarenga-Pérez et al., 2017; Musyoka et al., 2020).

Según la tasa de crecimiento específico y el coeficiente térmico de crecimiento evaluados en el presente estudio, se pudo observar que, tanto para la fase de inicio como la fase de engorde, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el TCE. La presencia de hembras en el tratamiento T1 puede ser el motivo por el cual no se encontró diferencias significativas en el

TCE en la fase de engorde, ya que hay estudios en los que se probó una sustitución del 50% de lombriz roja californiana en poblaciones monosexuales de alevines de tilapia y sí se reportaron diferencias significativas en este parámetro (Djissou et al., 2017; Musyoka et al., 2020). Por otro lado, Jabir et al. (2012) también probaron una sustitución de 50% de lombriz en alevines de tilapia y se encontraron diferencias significativas.

El CTC es un valor más preciso que permite predecir el crecimiento de los peces en un desarrollo con un período más amplio, mientras que el TCE es más preciso en periodos cortos de tiempo (Lugert et al., 2016). A lo largo del periodo experimental, la temperatura de las peceras fue disminuyendo con el tiempo; no obstante, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el coeficiente térmico de crecimiento (CTC) en la fase de inicio y sólo dos al principio y al final de la fase de engorde.

Durante toda la fase de inicio, la temperatura de las peceras nunca se salió del rango ideal para la producción de la tilapia (28-32 °C). Sin embargo, en la fase de engorde llegó a valores debajo de este rango de producción (Carvajal, 2014). Esta disminución gradual en los valores de CTC se debe a que la temperatura tuvo una caída cuando los animales pasaron a la fase de engorde y se mantuvo entre 24 y 25 °C; aunque esto se debió a limitaciones de infraestructura. La variación en la temperatura en la primera semana de la fase de engorde puede explicar la diferencia significativa en los valores de CTC que se presentó al inicio de esta fase, ya que los peces necesitaron esta primera semana para adecuarse al nuevo sistema y aclimatarse. Sin embargo, al final esto no resultó en una diferencia significativa en el peso final observado.

Con respecto a la tasa de conversión alimenticia (FCR), se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tratamiento T1 y control en toda la fase de inicio y hasta el día 75 de la fase de engorde; el T1 presentó un valor numéricamente mayor en todo el experimento. Jabir et al. (2012) observaron que, al aumentar el porcentaje de *Eisenia fetida* en la dieta de tilapia, el FCR aumentó y, por lo tanto, el rendimiento; resultados que son similares a los obtenidos en el presente trabajo. En estudios en los que probaron una inclusión de lombriz encontraron diferencias significativas en el FCR, similares a este estudio (Alvarenga-Pérez et al., 2017; Djissou et al., 2017; Musyoka et al., 2020).

Durante la fase de inicio los peces del tratamiento T1 consumieron una mayor cantidad de alimento en base fresca, razón por la cual el T0 obtuvo un FCR menor numéricamente que en el tratamiento T1. Este consumo mayor se debió a que, para poder ajustar el consumo diario en ambos tratamientos, se necesitó una mayor cantidad de lombriz porque se utilizó un valor de 75% de MS, comparado con el valor de 90% de MS del alimento balanceado.

En la fase de inicio el tratamiento T1 tuvo una mayor ingesta de alimento fresco, por lo que, aunque en ambos tratamientos los animales comieron la misma cantidad durante la fase de engorde, el consumo fresco total fue mayor para el tratamiento T1. Este comportamiento se aprecia en la Figura 3 y generó que este tratamiento necesitara una mayor cantidad de materia fresca para producir menos gramos de carne.

En el caso del PER, valores mayores son positivos e indican un uso más eficiente de la proteína en la deposición de tejido. Durante la fase de inicio y los días 75-88 de la fase de engorde se obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los resultados de PER de los tratamientos. Estos resultados coinciden con Jabir (2012) y Musyoka et al. (2020), que probaron una sustitución del 50% de lombriz roja en la etapa inicial de tilapias y encontraron diferencias significativas entre dos tratamientos con valores menores en su control.

Los resultados obtenidos en este estudio fueron distintos a los mencionados, ya que el consumo de proteína por el tratamiento T1 fue mayor que con el control, pero el PER durante la fase de inicio fue mayor para el T0. El contenido proteico del T1 fue considerablemente mayor (casi un 60% MS) al requerimiento promedio que se reporta en la literatura (Alcívar-Cedeño et al., 2016; De Gyves-Córdoba et al., 2013; Gunya y Masika, 2022; Hleap-Zapata et al., 2017).

Sin embargo, estos niveles proteicos, mayores a los requerimientos para la dieta en esta fase, pueden provocar ineficiencias en el uso de los nutrientes, debido a que se necesita un mayor costo metabólico para excretar el nitrógeno (Konnert et al., 2022). Esto puede explicar la razón

por la que, durante la fase de inicio, el tratamiento T1 no generó ganancias de peso positivas, mientras que el T0 presentó un contenido de proteína adecuado para la fase.

No se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en el IHS de los tratamientos; resultado que concuerda con lo reportado por Melenchón et al. (2022) en el estudio que realizaron, donde indicaron que el consumo de lombriz roja californiana no afecta negativamente el tamaño ni el estado del hígado. Además, en el mismo estudio no se encontraron elementos tóxicos en la lombriz que pudieran tener un efecto negativo en los peces; no obstante, en el presente estudio no se realizaron estos análisis.

Con respecto al IVS, sí se encontraron diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre los tratamientos, donde el tratamiento T1 obtuvo valores mayores. Mombach et al. (2014) reportaron resultados similares para este índice; ellos observaron que el IVS era mayor por el alto consumo de lípidos, debido a que las tilapias no aprovechan de manera eficiente los lípidos como fuente de energía cuando sus niveles son elevados y los depositan como grasa. Igualmente, un consumo de proteína mayor al requerido y provocado por el tratamiento T1 pudo haber generado una mayor deposición de grasa visceral, esto puede ser la razón por la cual el tratamiento T1 obtuvo un mayor IVS.

Cabe mencionar que la relación PC:EB no fue la misma en ambos tratamientos, como se observa en el Cuadro 5. Esto pudo deberse a que la EB consumida por el tratamiento T0 fue menor que la del tratamiento T1, ya que el consumo de PC del tratamiento T1 fue mayor. No obstante, se considera que la relación PC:EB de ambos tratamientos es adecuada, por la similitud encontrada por Bermúdez et al. (2012); quienes obtuvieron una relación de 78,5 en juveniles de tilapia nilótica alimentados con una dieta formulada con recursos alternativos orgánicos.

Con respecto al IGS, no se observó un efecto directo del uso de lombriz roja californiana en el tamaño de las gónadas, ya que no se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos. No obstante, la existencia de un efecto derivado de la madurez temprana de las hembras no se descarta, dado que esta medición se efectuó tiempo después de que los peces alcanzaran la madurez sexual y de haberse presentado comportamiento reproductivo. Moreno

et al. (2019) realizaron un experimento con la especie *Eremophilus mutisii* en el que midieron los índices corporales y reportaron valores menores en el IGS de los machos, en comparación con las hembras. En la Figura 8 se observa que, en el presente trabajo, el tratamiento T0 tuvo una menor proporción de hembras y que presentaron un IGS mayor que los machos ( $p < 0.05$ ); tal como se observó en el estudio de Moreno et al. (2019).

La relación cabeza/cuerpo tuvo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos, como se observó en la Figura 7. Rodrigues de Souza et al. (2015) probaron que los peces más pequeños tenían una mayor relación cabeza/cuerpo. Este trabajo presenta esa misma afirmación, ya que, como se ve en la Figura 4, si bien los peces del tratamiento T1 no fueron estadísticamente más pequeños que los del tratamiento control, sí se observaron diferencias numéricas considerables. Esto puede traducirse en diferencias al calcular el índice de relación cabeza/cuerpo. Algunos autores reportan que entre más grande la cabeza del pez, más pequeño el cuerpo (Peterman y Phelps, 2012; Vandeputte et al., 2019).

Los resultados del análisis bromatológico del tejido de los peces no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ). Lezcano-Cerrud y Borjas-Ferrera (2017) obtuvieron resultados similares al probar una sustitución de *Eisenia fetida* en dietas de tilapia, ya que no encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre estos mismos datos. Lo mismo ocurrió para Reynaldy et al. (2019), quienes probaron una sustitución de lombriz en una dieta para truchas y al finalizar su experimento no reportaron diferencias significativas en los resultados. Mohanta et al. (2016) también realizaron una sustitución de lombriz roja en la dieta de *Labeo rohita* y tampoco encontraron diferencias significativas en el análisis al tejido de los peces con ninguno de los tratamientos. Esto indica que una sustitución del 50% de lombriz roja californiana en la dieta de tilapia no tiene un efecto en la composición del tejido de la carne.

## CONSIDERACIONES FINALES

La lombriz roja californiana presenta un perfil nutricional adecuado que permite considerar una sustitución directa del alimento balanceado en fases iniciales de producción de tilapia (1-20 g PV). En el presente estudio no se observaron efectos negativos considerables sobre índices de crecimiento hasta los 200 g de peso vivo, producto de la sustitución en un 50% del alimento balanceado por lombriz roja californiana. Sin embargo, sí se observaron efectos sobre algunos parámetros de rendimiento, como el IVS y la relación cabeza/cuerpo. Por lo que el uso de la lombriz podría tener un mayor o menor efecto según el tipo de producto final que se busque (pescado entero vs. filete).

La viabilidad económica de la sustitución es un poco más compleja de definir y se escapa del alcance de la presente investigación, pero para su definición se recomienda cuantificar de forma precisa los costos de procesamiento de la lombriz, así como los beneficios económicos adicionales que brinda el lombricompostaje y que no se limitan a la producción de biomasa de lombriz. Debido a la presencia de una cantidad mayor a la esperada de hembras en el ensayo y la consecuente actividad reproductiva observada, se considera valioso explorar los efectos de la inclusión de lombriz roja en la dieta sobre el desempeño reproductivo de la tilapia, ya que podría aportar otros nutrientes o moléculas beneficiosas no cuantificadas en el presente estudio. Por último, se podría repetir el estudio asumiendo una población mixta desde el inicio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean extender un agradecimiento tanto a la Estación Experimental Alfredo Volio Mata como a la Escuela de Ingeniería de Biosistemas, ambas unidades pertenecientes a la Universidad de Costa Rica, cuyo apoyo permitió la concreción del presente trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Ackerman, P., J. Morgan y G. Iwama. 2005. Anesthetics. Canadian Council on Animal Care. [http://www.ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Add\\_PDFs/Fish\\_Anesthetics.pdf](http://www.ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Add_PDFs/Fish_Anesthetics.pdf) (Consultado 7 de jul., 2022).
- Ahmed, R.A., H.S. Eissa, M.E. Shafi, M. Aly y O.M. Al-Kareem. 2020. Influence of replacement of fish meal with the earthworm *Eisenia fetida* on growth performance, feed utilization and blood parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, 9 (2): 37-42. doi: 10.15406/jamb.2020.09.00275
- Alcívar-Cedeño, U., A. Dueñas-Rivadeneira, E. Sacon-Vera, L. Bravo-Sánchez y G. Villanueva-Ramos. 2016. Influencia de los tipos de secado para la obtención de harina de Lombriz Roja californiana (*Eisenia foetida*) a escala piloto. *Revista RTQ*, 36 (2): 187-196. <http://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/1134/1065> (Consultado 7 de jul., 2022).
- Allaman, I.B., R.V., Reis Neto, R.T.F., Fonseca de Freitas, T.A., de Freato, A., Assis Lago, A.C, Costa y R. Ribeiro de Lima. 2013. Weight and morphometric growth of different strains of tilapia (*Oreochromis sp*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42 (5): 305-311. doi: 10.1590/S1516-35982013000500001
- Alvarado-Ruiz, C. 2015. Comparación del crecimiento de machos y hembras de la tilapia *Oreochromis Niloticus* cultivadas en jaulas. *Revista Uniciencia*, 29 (1): 2-9. doi: 10.15359/ru.29-1.1
- Alvarenga Pérez, M.S., A.G., Escobar Machuca y F.B, Flores Hernández. 2017. Evaluación de tres niveles de sustitución con harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) como fuente proteica, en la alimentación de alevines de tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*). Tesis Lic. Universidad del Salvador. El Salvador. [---

Nutrición Animal Tropical 17 \(1\): 1-35 ISSN: 2215-3527/ 2023](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Cwa9I-</a></p></div><div data-bbox=)

1juZUJ:ri.ues.edu.sv/14642/1/13101642.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=cr (Consultado 7 de jul., 2022).

Arce, J. 2014. Determinación de la tasa de alimentación para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1759) en condiciones comerciales corregida por el Coeficiente térmico de crecimiento Tesis Lic. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. <http://www.zootecnia.ucr.ac.cr/images/tesis/pdfs/arce-vega-jose-javier.pdf> (Consultado 2 feb., 2021).

Bombardelli, R.A., E.S. dos Reis Goes, S.M., de Negreiros Sousa, M.A. Syperreck, M.D.Goes, A.C. de Oliveira Pedreira. 2017. Growth and reproduction of female Nile tilapia fed diets containing different levels of protein and energy. *Aquaculture*, 479: 817-823. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.07.031

Bermúdez, A., A.P. Muñoz-Ramírez y G.A. Wills. 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 (3): 165-175. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remevez/article/view/37724> (Consultado 7 jul., 2022).

Bhambri, A., N. Dhaunta, S. Singh Patel, M. Hardikar, A. Bhatt, N. Srikakulam, S. Shridar, Vellarikkal, R. Pandey, R. Jayarajan, A. Verma, V. Kumar, P. Gautam, Y. Khanna, J.A. Khan, B. Fromm, K.J. Peterson, V. Scaria, S. Sivasubbu y B. Pillai. 2018. Large scale changes in the transcriptome of *Eisenia fetida* during regeneration. *PLoS One*, 13 (9): e0204234. doi: 10.1371/journal.pone.0204234

CITA (Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos). 2020. Métodos P-AS-MQ-004, P-SA-MQ-005 y P-SA-MM-015. En: Servicios Analíticos: métodos de análisis. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. San José.

Dampin, N., W. Tarnchalanukit, K. Chunkao y M. Maleewong. 2012. Fish Growth Model for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Wastewater Oxidation Pond, Thailand. The 18th

Biennial Conference of International Society for Ecological Modelling. *Procedia Environmental Science*, 13: 513-524. doi: 10.1016/j.proenv.2012.01.042

De Gyves-Córdoba, M.G., M.D.L. Adriano-Anaya, J.A. Vásquez-Ovando, J.A. López-García y E. Jiménez-Silvano. 2013. Efecto del proceso de secado de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en sus características nutricionales. *Revista Quehacer Científico en Chiapas*, 8 (2). [https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2013-Jul-dic/Efecto\\_del\\_proceso\\_de\\_secado.pdf](https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2013-Jul-dic/Efecto_del_proceso_de_secado.pdf) (Consultado 7 de jul., 2022).

De Verdal, H., C.M. O'Connell, M. Wagdy, M. Vandeputte, B. Chatain, M.L. Bégout y J.A.H. Benzie. 2019. Agonistic behaviour and feed efficiency in juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 505: 271-279. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.02.067

Dedeke, G.A., S.O. Owa, K.B. Olurin, A.O. Akinfe y O.O. Awotedu. 2013. Partial replacement of fish meal by earthworm meal (*Libyodrilus violaceus*) in diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 5 (9): 229–233. doi: 10.5897/IJFA2013.0354

Djissou, A.S.M., A. Ochiai, S. Koshio y E.D. Fiogbe. 2017. Effect of total replacement of fishmeal by earthworm and *Azolla filiculoides* meals in the diets of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) reared in concrete tanks. *Indian Journal of Fisheries*, 64 (1): 31-36. doi: 10.21077/ijf.2017.64.1.55317-05

El-Hawarry, W.N., R.M. Shourbela, Y.G. Haraz, S.A. Khatab y M.A.O. Dawood. 2021. The influence of carbon source on growth, feed efficiency, and growth-related genes in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under biofloc conditions and high stocking density. *Aquaculture*, 542 (15): 736919. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736919

- Forestieri-Muñoz, D.E. 2013. Comparación de la sobrevivencia y ganancia de peso de alevines de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) sembrados a 1000, 3000 y 5000/m<sup>3</sup> de agua durante 30 días. Tesis Lic. Escuela Agrícola Panamericana, Universidad Zamorano. Honduras.
- Gonçalves-de Freitas, E., M.C. Bolognesi, A.C. dos Santos-Guay, M. Lombardi-Brandão, P. Cardoso-Gianquinto y M. Fernandes-Castilho. 2019. Social behavior and welfare in Nile Tilapia. *Fishes*, 4 (23): 1-14. doi: 10.3390/fishes4020023
- Gunya, B., P. Masika, A. Hugo y V. Muchenje. 2016. Nutrient composition and fatty acid profiles of oven-dried and freeze-dried earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Food and Nutrition Research*, 4 (6): 343-348. doi: 10.12691/jfnr-4-6-1
- Gunya, B. y P.J. Masika. 2022. *Eisenia fetida* worm as an alternative source of protein for poultry: a review. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42 (1): 1-8. doi: 10.1007/s42690-021-00531-6
- Herrera, C.H., N. Bolaños y G. Lutz. 2017. *Química de alimentos: Manual de Laboratorio*. 1ª Ed. Impresa. Editorial Universidad de Costa Rica. [https://libreriaucr.fundacionucr.ac.cr/index.php?route=product/product&product\\_id=1949](https://libreriaucr.fundacionucr.ac.cr/index.php?route=product/product&product_id=1949) (Consultado 2 de feb., 2021).
- Hleap-Zapata, J.I., J.M. González-Ochoa y M.F. Mora-Bonilla. 2017. Análisis sensorial de salchichas de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con adición de harina de lombriz (*Eisenia foetida*). *Revista Orinoquia Ciencia y Sociedad*, 21 (1): 15. doi: 10.22579/20112629.390
- Jabir, M.A.R., S.A. Razak y S. Vikineswary. 2012. Nutritive potential and utilization of super worm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *African Journal of Biotechnology*, 11 (24): 6592–6598. doi: 10.5897/AJB11.1084

- Karaket, T., A. Reungkhajorn y R. Ponza. 2021. The optimum dose and period of 17 $\alpha$ -methyltestosterone immersion on masculinization of red tilapia (*Oreochromis* spp.). *Aquaculture and Fisheries*. doi:10.1016/j.aaf.2021.09.001.
- Konnert, G.D.P., E. Martin, W.J.J., Gerrits, S.W.S., Gussekloo, K., Masagounder, K. Mas-Muñoz y J.W. Schrama. 2022. Interactive effects of protein and energy intake on nutrient partitioning and growth in Nile tilapia. *Animal*, 16: 100494. doi: 10.1016/j.animal.2022.100494
- Lezcano-Cerrud, J.F. y G.J. Borjas-Ferrera. 2017. Optimización en la elaboración de harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente proteica en alimento para alevines de tilapia (*Oreochromis* sp.). Proyecto de Graduación. Escuela Agrícola Panamericana, Universidad Zamorano. Honduras.
- Little, D.C. y P. Edwards. 2004. Impact of nutrition and season on pond culture performance of mono-sex and mixed-sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International*, 232 (1-4): 279–292. doi: 10.1016/S0044-8486(03)00482-4
- Lugert, V., G. Thaller, J. Tetens, C. Schulz y J. Krieter. 2016. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. *Aquaculture*, 8 (1): 30-42. doi: 10.1111/raq.12071
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2022. DAASIRE-Dirección de Alimentos para Animales, MAG, SENASA, Costa Rica. Registro de Alimentos Balanceados. <https://sis.senasa.go.cr/daasire> (Consultada 20 de abr., 2022).
- Melenchón, F., E. de Mercado, H.J. Pula, G. Cardenete, F.G. Barroso, D. Fabrikov, H.M. Lourenco, M.F. Pessoa, I. Lagos, P. Weththasing, M. Cortés y C. Tomás-Almenar. 2022. Fishmeal dietary replacement up to 50%: A comparative study of two insect meals for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 12: 179. doi: 10.3390/ani12020179

- Mohanta, K.N., S. Subramanian y V.S. Korikanthimath. 2016. Potential of earthworm (*Eisenia foetida*) as dietary protein source for rohu (*Labeo rohita*) advanced fry. *Cogent Food & Agriculture*, 2 (1): 1138594. doi: 10.1080/23311932.2016.1138594
- Mombach, P.I., D. Pianesso, T.J. Adorian, J. Uczay y R. Lazzari. 2014. Farinha de minhoca em dietas para juvenis de jundiá. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 44 (2): 151-157. doi: 10.1590/S1983-40632014000200014
- Moreno, J.M., F.A. Aguilar, N.S. Boada, J.A. Rojas y C.A. Prieto. 2019. Análisis morfométrico e índices corporales del capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*). *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 66 (2): 141-153. doi: 10.15446/rfmvz.v66n2.82433
- Musyoka, S.N., D. Mbeva-Liti, E. Ogello y H. Waidbacher. 2019. Utilization of the earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as an alternative protein source in fish feeds processing: A review. *Aquaculture Research*, 50: 2301-2315. doi: 10.1111/are.14091
- Musyoka, S.N., D. Liti, E.O. Ogello, P. Meulenbroek y H. Waidbacher. 2020. Earthworm, *Eisenia fetida*, bedding meal as potential cheap fishmeal replacement ingredient for semi-intensive farming of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research*, 51 (6): 2359–2368. doi: 10.1111/are.14579
- Nicovita. 2022. Manual de Crianza de Tilapia. Nicovita. <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf> (Consultado 2 de feb., 2022).
- Peña-Navarro, N. y J. Chacón-Guzmán. 2019. Acuicultura en Costa Rica. Sociedad Mundial de la Acuicultura. <https://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/123456789/345/Acuicultura%20en%20Costa%20Rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consultado 2 de feb., 2022).

- Peterman, M.A. y R.P. Phelp. 2012. Fillet yields from four strains of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and a Red Variety. *Journal of Applied Aquaculture*, 24 (4): 342-348. doi: 10.1080/10454438.2012.731480
- Rakocy, J.E. 2022. Cultured Aquatic Species Information Programme: *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.  
[https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/oreochromis\\_niloticus/en](https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/oreochromis_niloticus/en) (Consultado 2 de feb., 2022).
- Rairat, Y., Y. Chi, C.Y. Hsieh, Y.K. Liu, N. Chucird y C.C. Chou. 2021. Determination of optimal doses and minimum effective concentrations of Tricaine Methanesulfonate, 2-Phenoxyethanol and eugenol for laboratory managements in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals*, 11: 1521. doi: 10.3390/ani11061521
- Reynaldy, G.F., M. Krisna, M.W. Lazuardi, E.U. Prasetiawan, M. Lamid, W.P. Lokapirnasari y M.A. Al Arif. 2019. Substitution of fish meal with earthworm meal (*Lumbricus rubellus*) on feed toward unsaturated fatty acids, triglyceride, low-density lipoprotein and high-density lipoprotein content on Nile tilapia's (*Oreochromis niloticus*) meat. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 8 (1): 24. doi: 10.20473/jafh.v8i1.11775
- Rodrigues de Souza, M.L., E.M. Macedo-Viegas, J.A. Sampaio-Zuanon, M.R. Barbieri-de Carvalho y E.S. Souza-dos Reis Goes. 2015. Processing yield and chemical composition of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) with regard to body weight. *Acta Scientiarum*, 37 (2): 103-108. doi: 10.4025/actascianimsci.v37i2.24165
- Romana-Eguia, M.R., R.V., Eguia y R.V., Makingking Jr. 2020. Tilapia culture: the basics. Aquaculture Extension Manual No. 66. Southeast Asian Fisheries Development Center. Philippines.

- Sánchez, A. y P. Cambroner. 2016. Diagnóstico sobre el mercado de la carne de pescado en Costa Rica. Ministerio de Economía, Industria y Comercio. Costa Rica. <http://reventazon.meic.go.cr/informacion/estudios/2016/pescado.pdf> (Consultado 7 de jul., 2022).
- Santamaría-Miranda, A., J.H. Heredia-Bacasegua, J.P. Apún-Molina, M.A. Román-Vega, L.D. García-Rodríguez y J.A. Trigueros-Salmerón. 2012. Masculinización de la tilapia roja *Oreochromis spp.* con el esteroide acetato de trembolona (atb) suministrado en el alimento. Ra Ximhai, 8 (3b): 137-142. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/53875> (Consultado 7 de jul., 2022).
- Sarker, P.K., A.R. Kapuscinski, A. Bae, E. Donaldson, D. Fitzgerald y O. Edelson. 2018. Towards sustainable aquafeeds: Evaluating substitution of fishmeal with lipid-extracted microalgal coproduct (*Nannochloropsis oculata*) in diets of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). PlosOne, 13 (7): 1-25. doi: 10.1371/journal.pone.0201315
- Subasinghe, R.P., J. Delamare-Deboutteville, C.V. Mohan y M.J. Phillips. 2019. Vulnerabilities in aquatic animal production. Revue Scientifique et Technique, 38 (2): 423-436. doi: 10.20506/rst.38.2.2996
- Tirado, D.F., P.M. Montero y D. Acevedo. 2014. Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. International Journal of Information Technology, 26 (2): 3-10. doi:10.4067/S0718-07642015000200002
- Torres-Novoa, D.M. y V.L. Hurtado-Nery. 2012. Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Orinoquia, 16 (1): 63-68. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-37092012000100007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092012000100007) (Consultado 7 de jul., 2022).

- Trinh, T.Q., S.K. Agyakwah, H.L. Khaw, J.A.H. Benzie. y F.K.Y. Attipoe. 2021. Performance evaluation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) improved strains in Ghana. *Aquaculture*, 530 (15): 735938. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735938
- Vandeputte, M., J. Bugeon, A. Bestin, A. Desgranges, J.M. Allamellou, A.S. Tyran, F. Allal, M. Dupont-Nivet y P. Haffray. 2019. First evidence of realized selection response on fillet yield in Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*, using sib selection or based on correlated ultrasound measurements. *Frontiers and Genetics*, 10: 1225. doi: 10.3389/fgene.2019.01225
- Vega-Galarza, E., N. Sandoval-Chaupe y E.B. Angeles-Escobar. 2021. Masculinización de alevinos de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con el inhibidor de aromatasa letrozol. *Anales Científicos*, 82 (2): 262-278. doi:10.21704/ac.v82i2.1789