

## Artículo científico

Efecto sobre parámetros zootécnicos y composición tisular de tilapia aurea (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia foetida*)<sup>1</sup>Alejandra Zumbado-Salas<sup>2</sup>, Alejandro Chacón-Villalobos<sup>3</sup>, Juan Ignacio Herrera-Muñoz<sup>4</sup>

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de tres niveles de sustitución del consumo de materia seca de alimento balanceado por lombriz roja (*Eisenia foetida*) sobre parámetros zootécnicos y la composición tisular en los estadios iniciales de tilapia aurea (*Oreochromis aureus*). El estudio se llevó a cabo entre agosto y octubre del 2020, en el Módulo de Investigación Acuícola de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica (Cartago, Costa Rica), y tuvo una duración de 46 días, con un fotoperiodo de 12 h/12 h utilizando un control de luz artificial. Se establecieron 12 peceras con un total de ocho tilapias reversadas hormonalmente en cada una, de un peso inicial de  $3,25 \pm 0,35$  g. Las lombrices se obtuvieron del módulo de vermicompost de la misma unidad académica, donde fueron deshidratadas por convección de calor para uso experimental. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado de un factor y tres repeticiones por nivel con cuatro tratamientos: el Tratamiento Control (T0) y tres tratamientos de sustitución de alimento balanceado por lombriz deshidratada, en porcentajes de 25 % (T1), 50 % (T2) y 75 % (T3) de la materia seca. Se anestesiaron los peces cada dos semanas, para evaluar los parámetros de ganancia de peso total (GPT), incremento de longitud estándar (iSL), factor de condición (K), tasa de crecimiento específico (TCE), tasa de conversión alimenticia (FCR), tasa de eficiencia proteica (PER) y mortalidad acumulada. Al finalizar el experimento, se evaluó la composición bioquímica de los peces; la composición química no mostró diferencias

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

<sup>2</sup> Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. San Pedro. San José. Correo electrónico: [alejandra.zumbadosalas@ucr.ac.cr](mailto:alejandra.zumbadosalas@ucr.ac.cr). (<https://orcid.org/0000-0002-2928-2721>)

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

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

Recibido: 10 diciembre 2021      Aceptado: 30 julio 2022

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



significativas por tratamiento, esta no fue afectada por la sustitución con lombriz deshidratada. Se obtuvieron diferencias significativas entre el tratamiento T3 y el T0, para GPT, iSL, TCE, FCR y PER al final del ensayo, y se determinó que puede brindarse hasta un 50 % de lombriz en la ración diaria para los alevines, sin afectar dichos parámetros. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones en aspectos relevantes del uso de la lombriz como insumo nutricional, tales como: digestibilidad, propiedades antinutricionales y un mayor detalle en el perfilado nutricional.

**Palabras Clave:** *Oreochromis aureus*, alevines, *Eisenia foetida*, parámetros zootécnicos, composición química, niveles de sustitución, nutrición acuícola.

#### ABSTRACT

Effect on zootechnical parameters and tissue composition of aurea tilapia (*Oreochromis aureus*) fed with red worm (*Eisenia foetida*). This research aimed to evaluate the effects of three levels of the substitution of the dry matter consumption of balanced feed by redworm (*Eisenia foetida*) on zootechnical parameters and the tissue composition in the initial stages of blue tilapia (*Oreochromis aureus*). The study was carried out between august and october 2020, in the Aquaculture Research Module of the Alfredo Volio Experimental Station of the University of Costa Rica (Cartago, Costa Rica), and lasted 46 days, with a photoperiod of 12h/12h using artificial light control. A system was established with 12 fish tanks, having a total of eight hormonally reversed tilapia, weighing initially  $3,25 \text{ g} \pm 0,35 \text{ g}$ . The red worm was obtained from the vermicompost module of the same Experimental Station, where it was dehydrated by heat convection for its experimental use. A completely randomized design of one factor and three repetitions per level with four treatments was performed: the Control Treatment (T0) and three balanced feed substitution levels for dehydrated worms in percentages of 25 % (T1), 50 % (T2), and 75 % (T3) of the dry matter. The fish were anesthetized every two weeks to evaluate the parameters of total weight gain (GPT), increase in standard length (iSL), condition factor (K), specific growth rate (TCE), feed conversion rate (FCR), protein efficiency ratio (PER) and cumulative mortality. At the end of the experiment,

the biochemical composition of the fish was also evaluated; the chemical composition did not show significant differences by treatment and was not affected by the substitution of dehydrated earthworms. Significant differences were obtained between the T3 and T0 treatments for GPT, iSL, TCE, FCR and PER at the end of the trial; determining that up to 50 % of worm can be provided in the daily ration for the fingerlings without affecting those parameters. However, more research is needed on relevant aspects of the use of earthworms as a nutritional input, such as digestibility, antinutritional properties, and greater detail in nutritional profiling.

**Keywords:** *Oreochromis aureus*, fingerlings, *Eisenia foetida*, zootechnical parameters, chemical composition, substitution levels, aquaculture nutrition.

## INTRODUCCIÓN

Como actividad económica, la acuicultura presenta el mayor crecimiento en el sector pecuario actual. Para el año 2016, el consumo de pescado superó al de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y otras especies tradicionales (FAO, 2018). Esta alta demanda conllevó a intensificar los sistemas de producción de esta especie, buscando obtener alimentos balanceados de mejor calidad nutricional que se ajusten a la especie de producción particular y de bajo costo (Halwart, 2021), ya que sólo el alimento podría representar el 63 % o más de los costos productivos en sistemas de cultivo de subsistencia o comercial (Cambroner y Sánchez, 2016).

En Costa Rica, la producción de tilapia representa el 80 % de la producción acuícola presente y es manejada esencialmente por la empresa Aquacorporación Internacional S.A., la cual abarca el 76 % de la producción total de tilapia (INCOPECA, 2019). La demanda productiva de tilapia no se logra cubrir debido a causas multifactoriales, tales como un limitado apoyo gubernamental, una escasa agremiación de los productores, variaciones en el precio del producto final, así como el uso ineficiente o inexistente de registros económicos dentro de la actividad (Cambroner y Sánchez, 2016). Además, el manejo alimenticio es complejo de sobrellevar debido al alto costo de los insumos, ya que, en la industria de alimentos balanceados para especies acuícolas, generalmente se formula con ingredientes de alto valor

proteico, como las harinas de pescado, para satisfacer los altos requerimientos proteicos de estas especies (Cambroner y Sánchez, 2016). Estas necesidades suelen superar valores de hasta un 32 % de proteína (Torres y Hurtado, 2012), siendo aún más pronunciado en especies carnívoras de alto valor. Asimismo, al estancarse la pesca de captura y presentar competencia contra la industria alimentaria humana (Musyoka et al., 2019), estos ingredientes poseen un alto precio por ser importados en la mayoría de los países, aumentando aún más su costo (Sarker et al., 2018).

Razones como las anteriores provocan que el sector acuícola se encuentre en búsqueda de ingredientes de menor costo, que cumplan los requerimientos nutricionales de las diferentes especies y etapas de producción acuícola. La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es una alternativa de alimentación para estas especies (Musyoka et al., 2019); contiene niveles de proteína, aminoácidos esenciales y lípidos acordes a los requerimientos nutricionales de algunas especies acuícolas, como la *Oreochromis spp*, además de promover parámetros adecuados de producción como baja mortalidad, alto nivel reproductivo, ciclo de maduración rápido y alta supervivencia en condiciones extremas (Gunya et al., 2016; Musyoka et al., 2019).

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar los efectos de tres niveles de sustitución del consumo de materia seca de alimento balanceado por harina de *Eisenia foetida* sobre parámetros zootécnicos y la composición química del tejido en los estadios iniciales de tilapia aurea (*Oreochromis aureus*), ya que actualmente no se conoce el nivel de sustitución o el efecto que esta alimentación pueda causar en dicha etapa de crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y obtención de los animales

El estudio se realizó entre agosto y octubre del 2020, en el Módulo de Investigación Acuícola de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica, ubicado en Ochomogo, Cartago, Costa Rica. Durante los 30 días previos al inicio del experimento, la totalidad de la biomasa de *E. foetida* se obtuvo del módulo de vermicompost de la EEAVM, alimentado con excretas de bovino lechero. Los alevines de tilapia aurea (*Oreochromis aureus*) provinieron de la Estación Acuícola Diamantes ubicada en Guápiles, Pococí, perteneciente al Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA).

### Diseño experimental

Los tratamientos correspondieron a un Tratamiento Control (T0), compuesto en un 100 % por alimento comercial y tres tratamientos de sustitución de alimento balanceado comercial por lombriz deshidratada en términos de materia seca (MS), para porcentajes de sustitución de: 25 % (T1), 50 % (T2) y 75 % (T3) de MS. Los tratamientos fueron asignados a las diferentes peceras, en un diseño completamente aleatorizado de un factor con cuatro tratamientos y tres repeticiones por nivel, siendo cada tratamiento representado en cada una de las líneas de peceras conectadas entre sí.

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

Se utilizaron 300 animales reversados con el protocolo de aplicación de hormona 17 alfa-metiltestosterona, con una dosificación de 60 mg/kg de alimento, realizado en las instalaciones de la Estación Acuícola Diamantes. Estos individuos fueron recibidos en el laboratorio acuícola de la EEAVM, con un peso promedio inicial de  $1,7 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$ . Al momento de su llegada, se realizó una selección previa por pesos similares antes de colocarlos en las peceras para la aclimatación, la cual tuvo una duración de dos semanas y los animales se alimentaron a saciedad con alimento comercial código DAA:774103 (Feednet, 2021). Una vez finalizada la aclimatación, se colocaron 8 alevines por pecera con un volumen real de 56 L y

una densidad inicial de 0,5 kg/m<sup>3</sup>. Cada repetición (línea) de 4 peceras, estuvo acoplada a un filtro externo tipo "canister" con espuma de poliuretano de baja densidad como material filtrante y con filtración biológica de tipo lecho móvil, con una capacidad de 800 litros por hora. Los alevines iniciaron el experimento con un peso de 3,25 g ± 0,35 g. La prueba tuvo una duración de 46 días, con un fotoperiodo de 12 h/12 h, utilizando un control de luz artificial con dos bombillos fluorescentes marca Phillips de 32 watt y 2600 lúmenes para todas las peceras.

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

Se recolectaron las lombrices separándolas del sustrato por medio de la exposición a una fuente de luz, dada su fotofobia (Girón, 2006). Se sometieron seguidamente a un proceso de escaldado, que consistió en una inmersión en agua hirviendo por 1-2 minutos, seguida de otra por un minuto en agua helada, esto con el fin de sacrificarlas rápidamente por choque térmico, y para inactivar metabolitos no deseados como la lisenina, que podrían causar una reducción de la digestibilidad y palatabilidad de la lombriz (Musyoka et al., 2019). Posterior al escaldado, los anélidos se escurrieron utilizando un tamiz para alimentos durante aproximadamente cinco minutos y se secaron utilizando un bombillo térmico durante una hora a 65 °C, para reducir su humedad hasta un 20 %. Al sustrato deshidratado se le disminuyó el tamaño de partícula utilizando un cuchillo convencional de cocina hasta una granulometría aproximada de 2 mm o menos, empacándose en una bolsa plástica y congelándose a -20 °C para efectos de conservación hasta el momento de su uso.

#### Manejo alimenticio

El alimento comercial empleado durante la aclimatación inicial y en el ensayo de alimentación reportó una composición nutricional certificada (DAA:774-103), en porcentajes de MS mínimos de: 42 % de proteína, 5 % de extracto etéreo, 1 %-2 % calcio, 1 % fósforo, 1000 mg/kg de Vitamina C, 300 UI/kg de Vitamina E y 3500 kcal/kg de energía digestible. Además, valores máximos en MS de: 10 % de humedad, 6 % de fibra cruda y 11 % de cenizas. Posteriormente, con el fin de corroborar los datos presentados en la etiqueta, se aplicó un

análisis proximal al alimento balanceado, en términos de materia seca y por los medios detallados más adelante en esta metodología.

La ración diaria ofrecida a cada tratamiento se estimó considerando la capacidad máxima de consumo de MS de los alevines como un porcentaje de la biomasa en las distintas fases de crecimiento, utilizando una tasa inicial de alimentación (TAD) de 7 %, la cual fue disminuyendo en un 1 % cada dos semanas (Arce, 2014; Saavedra, 2006). Estas dietas no fueron isoproteicas ni isoenergéticas.

La ración diaria se distribuyó en tres raciones según el ritmo circadiano de alimentación: a las siete en punto de la mañana se brindó el 40 % de la ración, al medio día el 30% y el restante 30 % a las cinco de la tarde, monitoreando el consumo y llevando un registro de las cantidades de alimento residuales o no ofrecidas (Spieler, 2000); sin embargo, el alimento residual o no consumido fue tan insignificante que no se consideró necesaria su cuantificación. Por otro lado, hubo periodos entre el día 30 y 46 en los que se restringió el consumo de alimento a todos los tratamientos, debido a limitaciones en la disponibilidad de lombrices propias del lombricario de la EEAVM.

### Control de la calidad del agua

En cada repetición se monitorearon y controlaron parámetros de calidad de agua (pH, oxígeno disuelto, salinidad, amoníaco, nitritos, nitratos y temperatura). Para la medición del oxígeno, salinidad, temperatura y pH, se utilizó diariamente un medidor multiparamétrico (Professional Plus, YSI) antes de la primera alimentación. De forma semanal, se utilizó un kit colorimétrico para medir los nitratos (Freshwater Master Test Kit, API) y se hizo uso de fotómetros portátiles para evaluar el nitrito y amoníaco (Checkers HI707-HI700, Hanna Instruments). Se realizaron recambios periódicos al sistema de aproximadamente un 5 % diario y limpiezas completas a los sistemas de filtración de forma semanal.

La temperatura del agua se mantuvo estable, con un promedio de 26,4 °C durante todo el experimento, mientras que el oxígeno disuelto, expresado como porcentaje de saturación y concentración, fue en promedio 73,50 % y 5,93 mg/L, respectivamente. En lo que concierne a

la salinidad, se agregaron pequeñas cantidades de sal (NaCl) para mantenerla en 1,40 ppt y el pH se mantuvo en un valor promedio de 7,24; el comportamiento de estos parámetros se puede observar en la Figura 1. Cabe mencionar que estos datos son promedios totales de toda la etapa experimental e incluyen las tres repeticiones de cada tratamiento. Todos los tratamientos fueron representados en cada una de las tres líneas de peceras, cada cual con su propio sistema de filtración mecánico y biológico independiente, razón por la cual se presentan los datos gráficamente por línea (repetición).

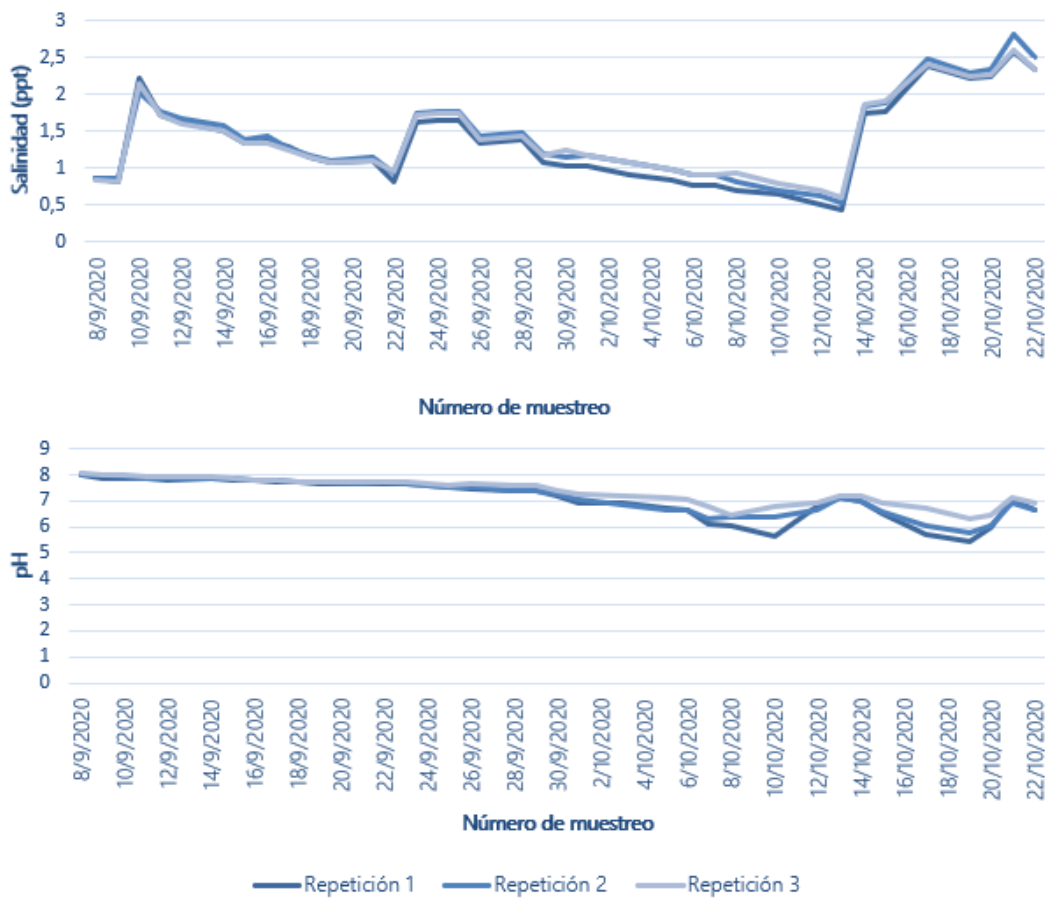


Figura 1. Comportamiento de la salinidad (Panel A) y del potencial de hidrógeno (Panel B) según la repetición durante la fase experimental.

Por otro lado, los valores promedio de amoníaco (NH<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub>) y nitrato (NO<sub>3</sub>) fueron de 0,78 ppm, 0,52 ppm, y 31,67 ppm, respectivamente. El NH<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> mostraron un



comportamiento similar entre repeticiones en el caso del primer parámetro mencionado; mientras que para el NO<sub>2</sub>, una de las repeticiones divergió del patrón en la cuarta semana experimental. Asimismo, el NO<sub>3</sub> durante las dos primeras semanas se mantuvo en 20 ppm, aumentando a 40 ppm desde la cuarta semana hasta el final del experimento.

### VARIABLES EVALUADAS

Al concluir la aclimatación de los alevines, inició el experimento con el pesaje y medición de la longitud estándar de la totalidad de los individuos, que se repitió cada 15 días. Los parámetros zootécnicos evaluados y las ecuaciones para su determinación se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros zootécnicos evaluados y su ecuación asociada en el presente estudio.

| Parámetro Zootécnico            | Ecuación asociada  |
|---------------------------------|--|
| Ganancia de peso total          | $GPT = \text{Peso}_{Final} - \text{Peso}_{Inicial}$  |
| Incremento de longitud estándar | $iSL = SL_{Final} - SL_{Inicial}^{**}$   |
| Factor de condición K           | $K = 100 \left( \frac{\text{Peso individuo}}{SL^3} \right)$                                      |
| Tasa de crecimiento específico  | $TCE = \left( \frac{\ln \text{peso final} - \ln \text{peso inicial}}{\text{tiempo}} \right) 100$ |
| 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 acumulada            | $Mor = \text{Individuos}_{Inicio} - \text{Individuos}_{Final}$                                   |

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

Las mediciones morfométricas y pesajes se realizaron con un calibrador Vernier y una balanza granataria ( $\pm 0,1$  g), anestesiando a los animales vía inmersión en eugenol (Dharma, Eugenol 100 %-USP Grade) a una concentración de 40 mg por litro de agua (Ackerman et al., 2005). Los alevines se mantuvieron bajo anestesia tres minutos, durante el proceso de

medición, y luego se regresaron a sus peceras donde se recuperaron en un tiempo aproximado de cinco minutos o menos (Charoendat et al., 2009).

Al concluir el ensayo de alimentación, se analizó una muestra compuesta de tejido cárnico de seis animales por pecera (unidad experimental), para un total de tres repeticiones de análisis químico por tratamiento. Esto para determinar, por medio de un análisis de datos, si existieron diferencias en la composición del tejido, producto de niveles crecientes de sustitución de alimento balanceado por lombriz en los diferentes tratamientos.

### Métodos de análisis proximal

Las muestras de alimento balanceado y lombriz deshidratada se evaluaron en el Laboratorio de Bromatología de la EEAVM para determinar su humedad, mientras que el resto de los parámetros fueron evaluados en el Centro de Investigación de Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica, ubicado en San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Las muestras fueron analizadas bajo la metodología de la Asociación de Analistas Químicos Oficiales (AOAC) para los métodos de Humedad a 105° (AOAC 930.15), Proteína Cruda (AOAC 2001.11), Fibra Cruda (AOAC 978.10), Extracto Etéreo (AOAC 920.39) y Cenizas (AOAC 942.05).

### Análisis de datos

Para los parámetros zootécnicos se utilizó un análisis de varianza de un factor con un diseño de bloques completamente al azar donde el pez está anidado en la pecera, excepto en las variables morfométricas (GTP, iSL y K); se consideró a cada individuo como una repetición. Se usó un nivel de significancia del 5 %, comparando entre sí cada tratamiento.

Igualmente, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey al 5 % de probabilidad estadística, utilizando el programa estadístico SPSS® (versión 25.0).

## RESULTADOS

### Composición de dietas

Como se muestra en la Figura 2, el consumo de la totalidad del alimento fresco ofrecido por tratamiento varió debido a que la porción diaria se calculó según la materia seca, la cual fue diferente para ambos ingredientes (Cuadro 2).

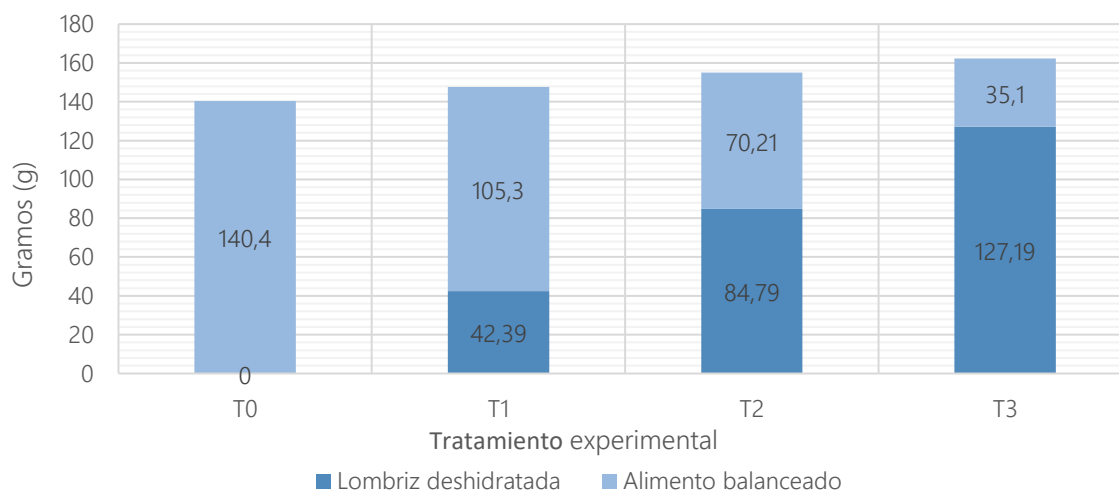


Figura 2. Consumo total de alimento (base fresca) por tratamiento al final del experimento durante la fase experimental.

Cuadro 2. Composición nutricional de los ingredientes utilizados durante la fase experimental.

| Parámetro                 | Lombriz deshidratada | Alimento balanceado |
|---------------------------|----------------------|---------------------|
| Materia Seca (g/100 g)    | 77,8                 | 95,00               |
| Proteína Cruda (g/100 g)  | 57,97                | 42,99               |
| Fibra Cruda (g/100 g)     | 2,23                 | 1,98                |
| Extracto Etéreo (g/100 g) | 5,14                 | 4,72                |
| Energía Bruta (Cal/g)     | 5251                 | 4568                |
| Cenizas (g/100 g)         | 7,71                 | 10,98               |

Por otro lado, cada tratamiento obtuvo raciones distintas en términos de cantidad de nutrientes, las cuales tienen una composición nutricional diferente; tal como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición nutricional obtenida de las raciones totales brindadas a cada unidad experimental por tratamiento durante la fase experimental.

| Parámetro                  | Tratamiento |        |        |        |
|----------------------------|-------------|--------|--------|--------|
|                            | T0          | T1     | T2     | T3     |
| Materia Seca (%)           | 95,00       | 90,06  | 85,59  | 81,52  |
| *Proteína Cruda (%)        | 42,99       | 47,46  | 51,96  | 56,48  |
| *Fibra Cruda (%)           | 1,98        | 2,04   | 2,10   | 2,17   |
| *Extracto Etéreo (%)       | 4,72        | 4,86   | 5,00   | 5,14   |
| *Energía Bruta (Cal/g)     | 4568        | 4737   | 4908   | 5079   |
| *Cenizas (%)               | 10,98       | 10,18  | 9,38   | 8,57   |
| *Relación PC (g)/EB (Mcal) | 94,11       | 100,19 | 105,88 | 111,21 |

\*En base seca.

### Parámetros zootécnicos

#### Peso final y ganancias de peso

En el Cuadro 4 se presenta el peso promedio inicial y final para cada tratamiento. Tanto el análisis de varianza como la prueba de diferencia mínima significativa de Tukey mostraron que los diferentes niveles de inclusión de lombriz roja californiana deshidratada en la formulación de las proporciones alimenticias ofrecidas a alevines de *Oreochromis aureus* produjeron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) sobre los pesos finales. Se observaron diferencias entre el peso final de los alevines alimentados con el Tratamiento Control y el de 75 % de inclusión de lombriz deshidratada, siendo el Control el más alto. Por otro lado, los tratamientos con inclusión del 25 % y 50 % tuvieron un comportamiento intermedio.

Cuadro 4. Peso promedio del alevín de tilapia al inicio y al final de los 46 días del ensayo, en los diferentes tratamientos durante la fase experimental.

| Tratamiento Evaluado | N  | Peso promedio (g) día 1 | *DE día 1 | Peso promedio (g) día 14 | *DE día 14 | Peso promedio (g) día 30 | *DE día 30 | Peso promedio (g) día 46 | *DE día 46 |
|----------------------|----|-------------------------|-----------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|
| T0                   | 24 | 3,25 <sup>a</sup>       | 0,67      | 7,85 <sup>a</sup>        | 1,89       | 17,00 <sup>a</sup>       | 5,46       | 23,62 <sup>a</sup>       | 7,72       |
| T1                   | 23 | 3,31 <sup>a</sup>       | 0,71      | 7,40 <sup>ab</sup>       | 2,01       | 15,10 <sup>a</sup>       | 4,80       | 21,56 <sup>ab</sup>      | 7,19       |
| T2                   | 23 | 3,33 <sup>a</sup>       | 0,67      | 6,65 <sup>ab</sup>       | 1,93       | 13,23 <sup>ab</sup>      | 5,19       | 19,35 <sup>ab</sup>      | 8,19       |
| T3                   | 24 | 3,38 <sup>a</sup>       | 0,64      | 6,17 <sup>b</sup>        | 1,76       | 11,48 <sup>b</sup>       | 3,86       | 17,11 <sup>b</sup>       | 6,34       |

\*DE= Desviación estándar

Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

La Figura 3 indica el comportamiento de los diferentes pesos registrados por los tratamientos durante los 46 días del ensayo. Cabe destacar que todos los tratamientos tuvieron un desempeño similar, con una tendencia homogénea y ascendente.

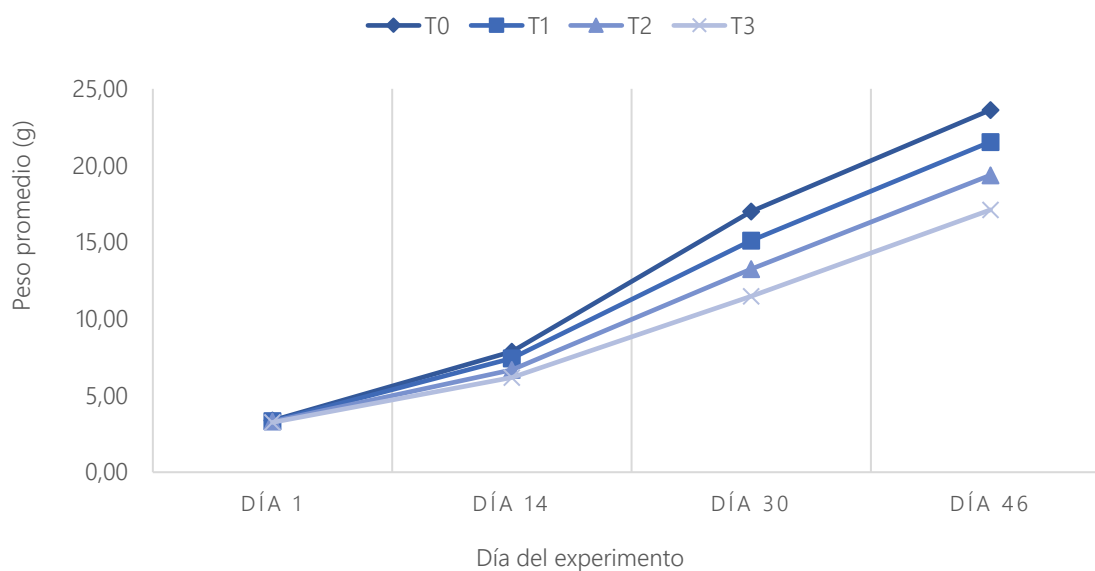


Figura 3. Peso promedio (g) por tratamiento (n= 23 o 24 por tratamiento) durante la fase experimental.

En el Cuadro 5 se muestra la ganancia de peso promedio de cada tratamiento por muestreo, durante los 46 días experimentales. Se puede observar una ganancia de peso que aumenta durante el primer mes del ensayo, posteriormente todos los tratamientos se estabilizaron en una ganancia aproximada de 6 g, en un periodo de 16 días.

Cuadro 5. Ganancias de peso promedio (g) por tratamiento a partir del segundo muestreo (día 14) hasta el final del experimento (n= 23 o 24 por tratamiento).

| Tratamiento Evaluado | N  | Ganancia promedio (g) día 14 | *DE día 14 | Ganancia promedio (g) día 30 | *DE día 30 | Ganancia promedio (g) día 46 | *DE día 46 |
|----------------------|----|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
| T0                   | 24 | 4,50 <sup>a</sup>            | 0,26       | 9,17 <sup>a</sup>            | 0,13       | 6,63 <sup>a</sup>            | 0,22       |
| T1                   | 23 | 4,10 <sup>a</sup>            | 0,35       | 7,67 <sup>b</sup>            | 0,45       | 6,47 <sup>a</sup>            | 0,69       |
| T2                   | 23 | 3,37 <sup>b</sup>            | 0,13       | 6,57 <sup>c</sup>            | 0,15       | 6,13 <sup>a</sup>            | 0,24       |
| T3                   | 24 | 2,93 <sup>b</sup>            | 0,24       | 5,30 <sup>d</sup>            | 0,65       | 5,63 <sup>a</sup>            | 0,46       |

\*DE= Desviación estándar.

Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

#### Incremento de longitud estándar (iSL)

En lo que respecta a la longitud estándar (iSL), inicialmente no se mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, conforme avanzó el experimento, se obtuvieron diferencias significativas similares a las obtenidas en el parámetro de peso promedio al final del experimento; esto se puede observar en el Cuadro 6. El T3 obtuvo la menor longitud estándar promedio al final de los 46 días del ensayo con 7,76 cm; seguido por T2 y T1, los cuales no muestran diferencias significativas contra el Tratamiento Control ni T3; y el T0 fue el de mayor longitud estándar promedio al final del experimento. Asimismo, en la Figura 4 se puede observar el comportamiento de la longitud estándar a través del experimento.

Cuadro 6. Longitud estándar promedio (cm) obtenida de alevines de tilapia al inicio y al final del ensayo en los diferentes tratamientos durante la fase experimental.

| Tratamiento Evaluado | N  | Longitud estándar promedio (cm) día 1 | *DE día 1 | Longitud estándar promedio (cm) día 14 | *DE día 14 | Longitud estándar promedio (cm) día 30 | *DE día 30 | Longitud estándar promedio (cm) día 46 | *DE día 46 |
|----------------------|----|---------------------------------------|-----------|--|------------|--|------------|--|------------|
| T0                   | 24 | 4,70 <sup>a</sup>                     | 0,30      | 6,05 <sup>a</sup>                      | 0,47       | 7,69 <sup>a</sup>                      | 0,75       | 8,53 <sup>a</sup>                      | 0,92       |
| T1                   | 23 | 4,70 <sup>a</sup>                     | 0,34      | 5,96 <sup>ab</sup>                     | 0,49       | 7,50 <sup>a</sup>                      | 0,77       | 8,40 <sup>ab</sup>                     | 0,89       |
| T2                   | 23 | 4,74 <sup>a</sup>                     | 0,34      | 5,74 <sup>ab</sup>                     | 0,54       | 7,14 <sup>ab</sup>                     | 0,91       | 7,95 <sup>ab</sup>                     | 1,10       |
| T3                   | 24 | 4,75 <sup>a</sup>                     | 0,32      | 5,58 <sup>b</sup>                      | 0,52       | 6,84 <sup>b</sup>                      | 0,73       | 7,76 <sup>b</sup>                      | 0,99       |

\*DE= Desviación estándar

Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

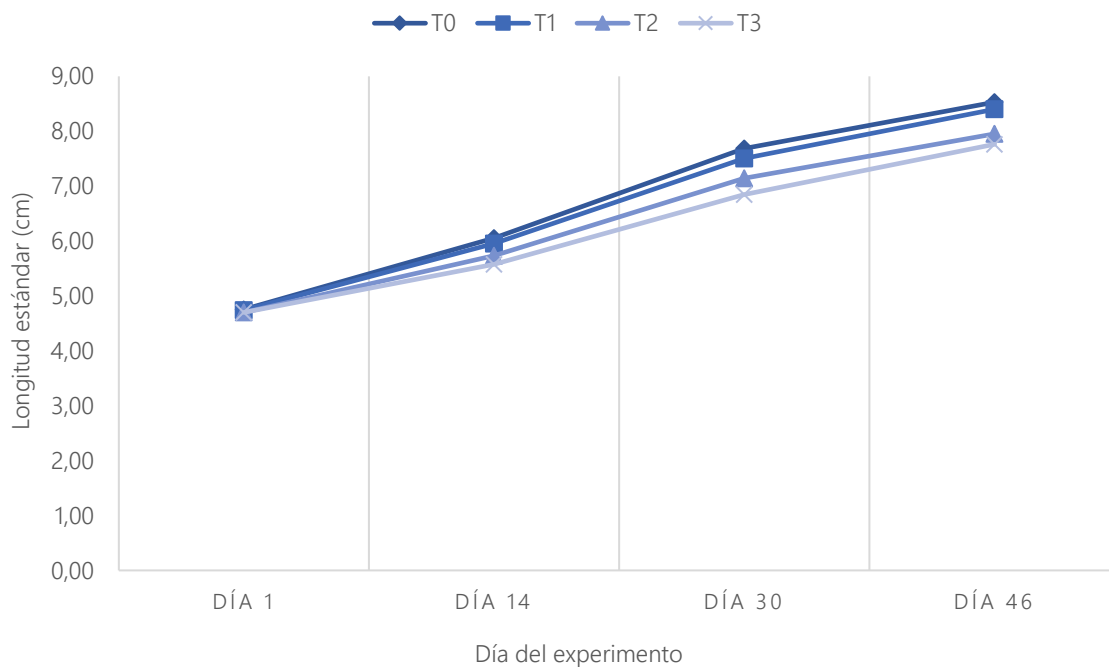


Figura 4. Longitud estándar promedio (cm) por tratamiento (n= 23 o 24 por tratamiento) durante la fase experimental.

#### Factor de condición o factor K (K)

El factor de condición (K) se calculó en los días 14, 30 y 46. Para el día 14 y 30, este se mantuvo estable entre tratamientos, sin mostrar diferencias significativas; sin embargo, en el último muestreo se presentaron diferencias significativas entre algunos tratamientos, como

se determina en el Cuadro 7. De la misma forma, en la Figura 5 se puede observar el comportamiento de este factor a través del experimento.

Cuadro 7. Factor de condición (K) promedio a lo largo del ensayo en los diferentes tratamientos.

| Tratamiento Evaluado | N  | Factor K día 14   | *DE día 14 | Factor K día 30   | *DE día 30 | Factor K día 46    | DE día 46 |
|----------------------|----|-------------------|------------|-------------------|------------|--------------------|-----------|
| T0                   | 24 | 3,11 <sup>a</sup> | 0,24       | 3,49 <sup>a</sup> | 0,28       | 3,62 <sup>a</sup>  | 0,25      |
| T1                   | 23 | 3,08 <sup>a</sup> | 0,21       | 3,42 <sup>a</sup> | 0,27       | 3,46 <sup>ab</sup> | 0,23      |
| T2                   | 23 | 3,15 <sup>a</sup> | 0,18       | 3,43 <sup>a</sup> | 0,25       | 3,43 <sup>b</sup>  | 0,22      |
| T3                   | 24 | 3,10 <sup>a</sup> | 0,19       | 3,49 <sup>a</sup> | 0,26       | 3,47 <sup>ab</sup> | 0,21      |

\*DE= Desviación estándar.

\*Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

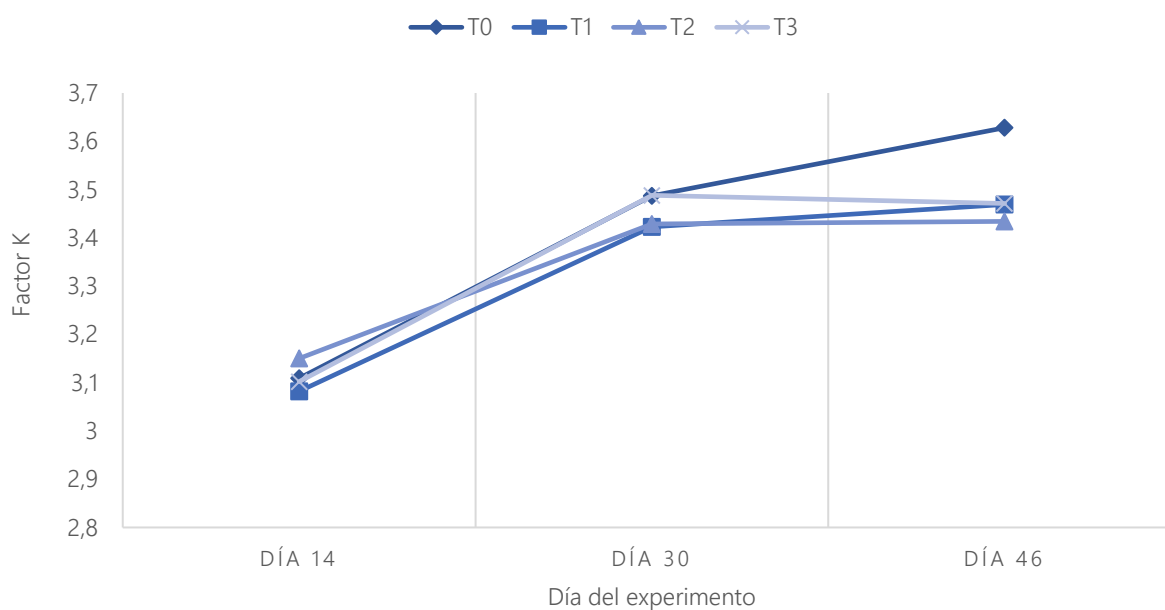


Figura 5. Factor de condición (K) promedio por tratamiento (n= 23 o 24 por tratamiento) durante la fase experimental.



## Tasa de crecimiento específico (%) (TCE)

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de la tasa de crecimiento específico promedio (TCE) para cada tratamiento según el día de muestreo. Asimismo, se puede observar que en el día 14, los T0 y T1 no muestran diferencias significativas entre ellos, al igual que T2 y T3; pero sí existen entre ambos grupos. Por otro lado, para el día 30 y el 46, se determina que existen diferencias significativas entre el T0 y T3; mientras que entre T0, T1 y T2, así como entre T1, T2 y T3, no hubo diferencias en el tercer muestreo ni en el cuarto.

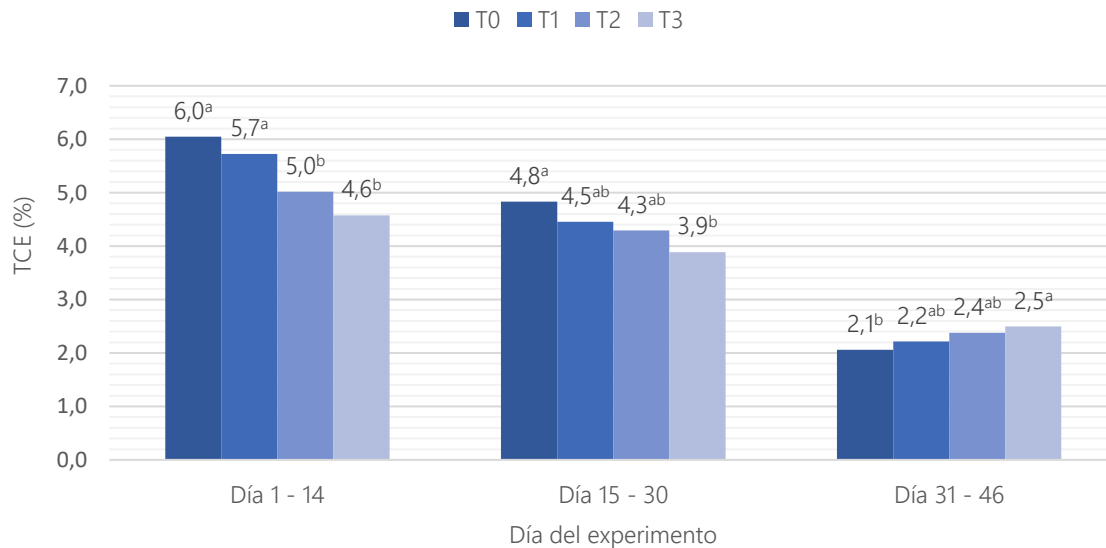


Figura 6. Tasa de crecimiento específico promedio (%) por tratamiento (n= 23 o 24 por tratamiento) durante la fase experimental.

## Tasa de conversión alimenticia (FCR)

En la Figura 7 se observa el comportamiento de la tasa de conversión alimenticia (FCR) para cada tratamiento según el día de muestreo; en este se detalla que el T0 y T1 no exhiben diferencias significativas entre ellos a lo largo del ensayo, mientras que sí las hubo entre el T0 y el T1 con el T2 y el T3 en el periodo experimental. Asimismo, no es hasta el final del experimento donde los tratamientos muestran más similitud entre los datos, presentando diferencias significativas entre el T0 y el T3; más no entre el T1 y el T2, así como entre el T2 y el T3.

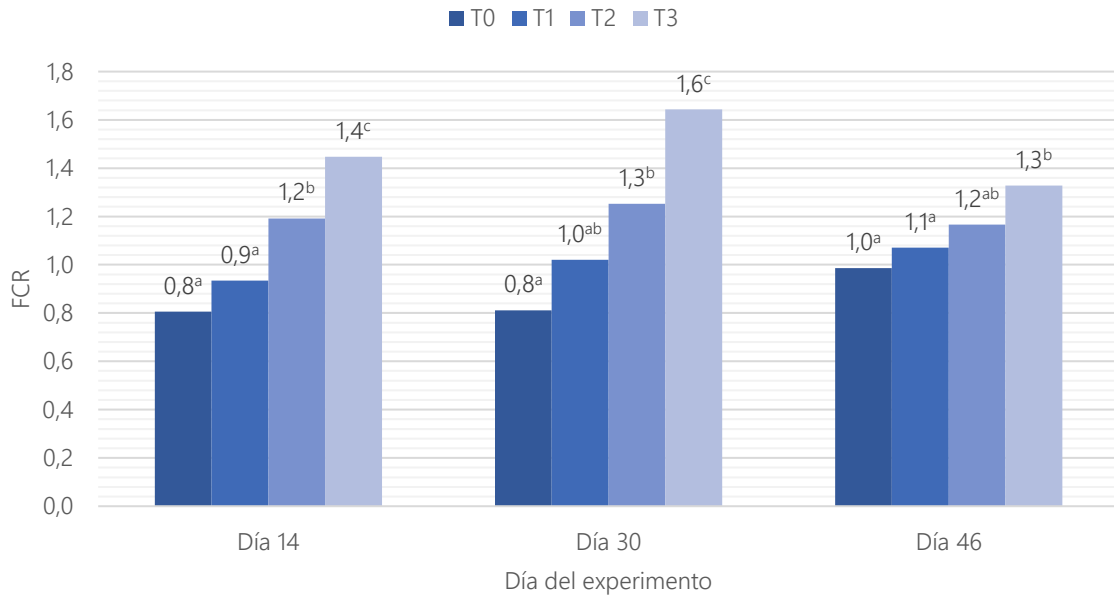


Figura 7. Tasa de conversión alimenticia promedio por tratamiento (n= 23 o 24 por tratamiento) durante la fase experimental.

#### Tasa de eficiencia proteica (PER)

En la Figura 8 se observa el comportamiento de la tasa de eficiencia proteica (PER) para cada tratamiento según el día de muestreo, mostrando diferencias significativas entre todos los tratamientos para el día 14. No obstante, igual que la conversión alimenticia, para el día 46, los tratamientos se equipararon entre sí y sólo mostraron diferencias significativas el T0, T2 y T3.

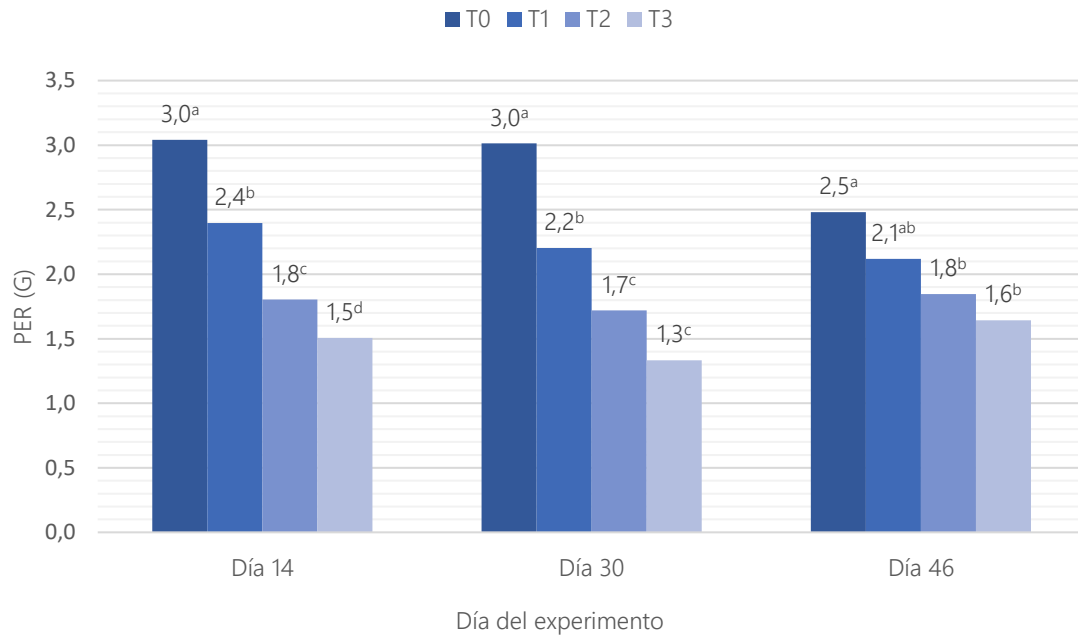


Figura 8. Tasa de eficiencia proteica (PER) por tratamiento (n= 23 o 24 por tratamiento) durante la fase experimental.

#### Mortalidad

Durante la fase experimental sólo se presentó la mortalidad de dos individuos, durante la primera semana del experimento; lo que representa un 2,08 % de la población del ensayo. Uno de ellos sucumbió por saltar fuera de la pecera, por lo cual no se relaciona directamente a los tratamientos y el otro individuo murió por causas no identificadas. Sin embargo, previo al inicio del experimento, durante la fase de aclimatación, se presentaron mortalidades debido a la presencia de un hongo patógeno, lo cual podría estar relacionado. Por lo tanto, la mortalidad observada se considera muy baja y no fue significativamente diferente entre tratamientos.

#### Parámetros de composición química

Los análisis de composición química del tejido de alevines, según tratamiento, se muestran en el Cuadro 8; en él se observa que ningún parámetro analizado mostró diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 8. Resultado del análisis químico proximal para los alevines de tilapia azul al final del experimento.

| Parámetro            | Tratamiento |       |       |       |
|----------------------|-------------|-------|-------|-------|
|                      | T0          | T1    | T2    | T3    |
| Humedad (%)          | 79,22       | 79,62 | 78,77 | 81,29 |
| Materia Seca (%)     | 20,78       | 20,37 | 21,23 | 18,71 |
| *Proteína Cruda (%)  | 71,55       | 73,41 | 72,40 | 74,45 |
| *Extracto Etéreo (%) | 9,94        | 7,19  | 9,47  | 8,21  |
| *Energía (Cal/g)     | 5339        | 4969  | 5073  | 5176  |
| *Cenizas (%)         | 15,29       | 15,59 | 14,89 | 15,11 |

\*Valores presentados según la materia seca.

## DISCUSIÓN

A lo largo del periodo del experimento se mantuvieron los parámetros zootécnicos dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de *Oreochromis spp.*. La temperatura se mantuvo dentro del rango de 22 a 30 °C, según lo recomendado por Saavedra (2006) y Pacic (2010). Igualmente, valores bajos de oxígeno disuelto en el agua tienden a disminuir el consumo de los peces (Saavedra, 2006), por lo que este parámetro se mantuvo por encima de 5 mg/L en todas las repeticiones (Guzmán, 2001). La salinidad del agua mostró variaciones en las tres repeticiones por igual; sin embargo, se mantuvo por debajo del límite de 14,5 ppt reportado por Alceste (2017) para asegurar el crecimiento y supervivencia de los animales, así como la promoción de mucus como barrera física e inmunitaria (Blancas et al., 2014). Durante la mayor parte del ensayo, el rango de pH se mantuvo dentro del adecuado para el crecimiento de los alevines de esta especie, el cual se encuentra entre 8 y 7 (Saavedra, 2006). Se observó un descenso controlado conforme progresó el experimento hasta un punto mínimo de 5,42 en el caso de la primera repetición; no obstante, Nobre et al. (2014) aseguran que los alevines de tilapia pueden manejarse correctamente en un pH dentro de un rango de 5 a 8, siempre que los cambios sean controlados, como sucedió en este ensayo.

En cuanto al nivel de  $\text{NH}_3$ , este se vio en aumento durante el experimento llegando a valores de 2,5 ppm en los últimos muestreos, sobrepasando el nivel óptimo reportado por Saavedra (2006) de 0 a 0,1 ppm. Esto pudo deberse a que la excreción de TAN (total de nitrógeno) por parte de los alevines depende de su biomasa, la cual aumentó con el crecimiento de los animales a lo largo del experimento (Timmons et al., 2002), tal como se puede observar en la Figura 1. Pese a este aumento constante, el pH disminuyó con el tiempo, lo que aumentó la basicidad del agua y evitó intoxicaciones de los animales (Carvajal, 2014). Altas concentraciones de nitritos y nitratos pueden generar altos niveles de estrés en los animales. En diversas ocasiones a lo largo del experimento, los valores de nitritos reportados se acercaron al límite de 0,75 ppm, pero se disminuyeron haciendo un recambio de agua más fuerte en todas las repeticiones. Por el contrario, los nitratos se mantuvieron dentro del rango óptimo para las tilapias, entre 0 ppm y 40 ppm (Bautista y Marcial, 2011).

En relación con los parámetros zootécnicos, el comportamiento presentado en términos de peso final del presente estudio se asemeja al reportado por Alvarenga et al. (2017) en su ensayo con harina de lombriz; en el que alevines de *Oreochromis niloticus* tratados con un 75 % de sustitución de harina de pescado por harina de lombriz, presentaron menores resultados de peso final, mientras que el Tratamiento Control y el de 25 % de inclusión no presentaron diferencias significativas. Otros autores como Vodounnou et al. (2016) obtuvieron resultados similares en tratamientos de 75 % y 100 % de sustitución de alimento balanceado por lombriz (*Eisenia foetida*) deshidratada en alevines de *Parachanna obscura*, donde se mostraron menores pesos finales a mayor inclusión de *E. foetida*, asegurando que los mejores niveles de sustitución son los de 25 % y 50 % en esta especie.

Varios elementos pudieron generar las diferencias en términos de peso final, como la calidad y cantidad de proteína del alimento, siendo el contenido de proteína de la *Eisenia foetida* comparable con la reportada en harinas de pescado incluidas en alimentos balanceados comerciales para peces (NRC, 2011). No obstante, su eficiencia como ingrediente proteico depende de factores como la especie de lombriz y el sustrato de la que esta se alimente, así como la especie de pez alimentada con este ingrediente (Musyoka et al., 2019). Por otro lado,

si bien existen pocos estudios relacionados con la digestibilidad de la proteína y energía de la *Eisenia foetida* en acuicultura, autores como Isea et al. (2008) reportan un 90 % de digestibilidad proteica y 72,5 kJ/g de digestibilidad energética de este anélido, al brindarse como alimento para *Oncorhynchus mykiss*, por lo que aseguran que este ingrediente también se puede agregar en formulaciones con cierto nivel de sustitución en alimentos para esta especie.

Las ganancias totales de peso reportadas en el presente estudio se pueden comparar con las obtenidas por Alvarenga et al. (2017), quienes presentan valores con un comportamiento similar a las presentadas en la Figura 3. Estos autores encontraron un aumento en la ganancia de peso en los animales de todos los tratamientos, incluido el control, durante las primeras semanas del experimento. No obstante, en ambos experimentos este parámetro se detuvo y disminuyó en las dos últimas semanas de ambos experimentos.

Tal como se observa en la Figura 4, conforme avanzó el experimento, los comportamientos de cada tratamiento se distanciaron entre sí (en términos de iSL), lo que se relaciona con el aumento de peso presentado en la Figura 3. En peces, el crecimiento proporcional entre la longitud estándar del animal y el incremento de peso es conocido como crecimiento isométrico (Olurin y Aderibigbe, 2006; Ayode, 2011; Khalaff et al., 2018); los datos obtenidos en el ensayo concuerdan con este tipo de desarrollo. Por otro lado, los valores de iSL obtenidos se pueden comparar con los alcanzados al final del ensayo de Alvarado y Guzmán (2020), en el que alevines de *Oreochromis aureus* alimentados con dietas de distinto nivel proteico, presentaron valores de 9,4 cm y 10,2 cm para animales entre 17 g y 21 g, siendo los valores del presente estudio más bajos. Para las tilapias, la literatura señala el uso de porcentajes proteicos en el rango de 45 %-50 % en las fases iniciales de crecimiento (Alvarado y Guzmán, 2020; Nicovita, 2020; Torres y Hurtado, 2012). No obstante, en etapas posteriores se tienen mejores resultados en el aumento de la longitud estándar con dietas con porcentajes de proteína entre el rango de 30 %-40 %. Esto implica que sostener porcentajes de proteína entre 45 %-50 % al avanzar en el ciclo de vida no es necesariamente mejor, pues en determinado momento se alcanza un límite superior donde se maximiza la

eficiencia (Llanes et al., 2006). Por otro lado, Nicovita (2020) establece que especies omnívoras como la tilapia requieren niveles de proteína entre 35 %-45 %, por lo que se podría considerar que esta especie presenta un mayor aumento de la longitud estándar bajo una alimentación con porcentajes proteicos menores a 45 % en comparación con dietas que poseen contenidos proteicos por encima de 45 %; como se muestra en el Cuadro 3, donde el mayor consumo proteico se dio en el T3.

El factor de condición (K) proviene de la relación entre el peso corporal y longitud estándar de un pez, e indica un crecimiento isométrico conveniente y buena condición corporal de los peces (Olurin y Aderibigbe, 2006; Ayode, 2011; Khalaff et al., 2018). Durante el experimento se mantuvieron valores entre 3 y 3,6, lo que indica que las diferencias significativas entre tratamientos no perjudicaron el crecimiento de los animales. En tilapias, este coeficiente se ve influenciado por el sexo, la alimentación y la edad del animal (Olurin y Aderibigbe, 2006). En *Oreochromis niloticus* se han reportado resultados entre 2,01 y 1,39 en animales de aproximadamente 22 g (Anani y Nunno, 2016), de entre 1,5 y 2,3 en animales silvestres de canales del Delta del Nilo (Khalaff et al., 2018) y de entre 0,78 y 1,58 en alevines (Olurin y Aderibigbe, 2006). En cuanto a este coeficiente, los resultados obtenidos en el experimento pueden compararse con los reportados por Cerdá et al. (1998), quienes alimentaron alevines de tilapia con alimento balanceado extruído con diversos niveles proteicos y obtuvieron resultados aproximados de 3,2 y 3,6. Del mismo modo, El-Saidy y Gaber (2005) no obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos con diferente porcentaje proteico, mas sí entre distintos niveles de alimentación según la biomasa de los organismos; reportando aumentos del coeficiente (K) conforme aumentó la frecuencia.

En el presente experimento, la TCE reporta un comportamiento de crecimiento exponencial durante las primeras semanas de vida, característico en los alevines de diversas especies de *Oreochromis spp.* (Escobar et al., 2006). Este parámetro resulta práctico para comparar grupos de peces con distintas alimentaciones y en plazos de tiempo cortos; se obtienen mejores resultados al evaluarse en peces jóvenes debido a que el crecimiento en esta etapa genera una curva exponencial (Lugert et al., 2014). Existen diversidad de factores que impactan este parámetro, principalmente el consumo de alimento y su calidad (Slawski et al.,

2011). No obstante, otros como la densidad de población, factores bióticos (sexo, edad, genética) y abióticos (temperatura, química del agua, oxígeno disuelto y el fotoperíodo) también pueden influir (Ma et al., 2006). Sin embargo, en la Figura 6, se observa que entre el día 30 y 46 el crecimiento se desacelera. Esto es habitual, pues al tener mayor biomasa se desacelera la TCE, pero se cree que pudo haberse dado un efecto mayor debido a dificultades logísticas experimentadas durante el ensayo, ya mencionadas, donde se tuvo que disminuir la TAD. Por otro lado, Cortés (2010) reporta valores de TCE de 4,92 y 3,53 después de 75 días de alimentar bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) con 30 % y 40 % de harina de lombriz (*E. foetida*) respectivamente. Morillo et al. (2013) alimentaron alevines de *Colossoma macropomum* con una dieta que contenía 23 % de harina de lombriz por 32 días y obtuvieron valores de TCE de 7,43.

Además, en otros ensayos como el de Küçük et al. (2013) y Nole y Herrera (2016), donde se evaluó este parámetro en alevines de *Oreochromis aureus* y *Oreochromis niloticus*, utilizando dietas sin contenido de harina de lombriz, que mostraron una baja en la TCE luego del día 20-30 de su experimento; obteniendo, en el caso de Nole y Herrera (2016), valores entre 5,46 y 3,71 (dependiendo del tratamiento) para el día 30; en el ensayo de Küçük et al. (2013), se obtuvieron valores entre 4,04 y 3,61 (dependiendo del tratamiento).

Estos resultados son similares a los del presente estudio, por lo que se podría atribuir el detrimento en la tasa de crecimiento tanto a la disminución en la cantidad de alimento brindado, como al comportamiento generalizado de la tilapia y muchas otras especies, de presentar una curva de crecimiento sigmoidea (Nole y Herrera, 2016).

Si bien el requerimiento proteico en esta etapa para alevines de tilapia en general ya está establecido, la TCE en diversos estudios varía según este nutriente (Cerdá et al., 1998; El-Saidy y Gaber, 2005; Qiang et al., 2012). Qiang et al. (2012) reportaron que, en alevines de tilapia con un peso inicial aproximado de 27,64 g, la TCE mejoró al utilizar dietas de 45 % de proteína, ya que presentaron valores significativamente mayores a dietas con 25 %; este comportamiento es similar al reportado en estudios mencionados anteriormente en el caso de longitud estándar (Alvarado y Guzmán, 2020; Nicovita, 2020; Torres y Hurtado, 2012). Por otro lado, Abdel et al. (2010) indicaron mejores resultados de TCE con dietas de 35 % de



proteína versus dietas de 45 %; mientras que El-Saidy y Gaber (2005) mencionan que niveles de proteína de 25 %-30 % en dos dietas utilizadas en la alimentación de alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) no tuvieron efecto significativo sobre la TCE, mas sí lo hubo según la tasa de alimentación, mostrando mejores resultados de crecimiento al tener una mayor tasa de alimentación según su peso vivo (2 % versus 1 %). Esto podría explicar la reducción en la TCE, ya que en el presente estudio se realizó paulatinamente una disminución en la TAD, por los motivos especificados en la metodología.

Los valores de FCR obtenidos en el ensayo se encuentran cercanos al óptimo, reportado entre 0,86 y 1,75 (Chowdhury, 2011; Lezcano y Borjas, 2017) para tilapia en fase de alevinaje. Esto se debe principalmente a ventajas fisiológicas que presentan los peces, como un costo metabólico menor de excreción de compuestos nitrogenados, un menor costo energético de termorregulación por su naturaleza ectotérmica, así como una concentración mayor de nutrientes en la dieta (NRC, 2011). Este parámetro puede modificarse al cambiar la composición nutricional de los alimentos, el manejo y la reproducción selectiva (NRC, 2011), por lo que se puede considerar que en el ensayo existe una adecuada relación entre el alimento consumido y la ganancia de peso de los animales (Chowdhury, 2011). Zafra et al. (2019) indican que las tilapias requieren entre 20 %-50 % de proteína durante las diferentes fases de producción para obtener una buena conversión alimenticia. Sin embargo, esto depende también de otros factores como la calidad de dicha proteína, la talla del animal, la salinidad del ambiente, y la disponibilidad y manejo del alimento. En las etapas de alevinaje, se requieren entre 40 %-50 % de proteína. Zafra et al. (2019), en su experimento con alevines de *Oreochromis aureus* y dietas de 35 % y 28 % de proteína, obtuvieron valores de entre 1,3 y 1,69 de CA para la dieta de 35 %, mientras que la dieta de menor proteína obtuvo valores de 1,79 y 2,14 de CA. Por otro lado, Pizzini (2017) alcanzó conversiones alimenticias entre 1,0 y 1,1 en alevines de *Oreochromis mossambicus* alimentados con niveles de proteína cruda de 40 %.

Valores de FCR más cercanos a los obtenidos en el presente estudio fueron reportados en alevines de tilapia por Jauncey (1982), el cual reporta 1,38 utilizando una dieta de 56 % de proteína. Sin embargo, diversos investigadores han obtenido mejores resultados utilizando

dietas con menor porcentaje proteico (25 % de proteína cruda) versus dietas con mayores niveles de proteína (30 % de proteína cruda) (El-Saidy y Gaber, 2005), y dicho comportamiento se repite en este estudio. Asimismo, Alvarenga et al. (2017), en su estudio con alevines *Oreochromis niloticus* alimentados con los mismos porcentajes de sustitución, pero con harina de lombriz, obtuvieron conversiones finales de entre 1,9 y 2,3, presentando variaciones durante las cinco semanas experimentales, desde los 0,5 a 2,3. Esta variación se puede deber a condiciones fisicoquímicas atípicas en el medio donde se mantenían los animales (Alvarenga et al., 2017), y en el presente ensayo, aunque hubo parámetros fisicoquímicos que se mantuvieron estables, otros como la salinidad, el amonio y el pH tuvieron variaciones, lo cual pudo afectar el metabolismo del animal (Saavedra, 2006; Küçük et al., 2013; Carvajal, 2014).

Varios autores, indican que la relación entre la proteína y la energía de la dieta tiene una influencia directa en el crecimiento y conversión alimenticia en *Oreochromis spp.* (Al-Hafedh, 1999; El-Saidy y Gaber, 2005). Los excesos de proteína en relación con la cantidad energética generan una demanda metabólica excesiva de excreción de nitrógeno reduciendo el crecimiento; mientras que excesos de energía conducen a los peces a una condición de sobrepeso, reduciendo el consumo de alimento, y a su vez el consumo de proteína (Winfrey y Stickney, 1981; NRC, 2011). Esta relación cambia según la estrategia alimenticia de la especie, ya que, en especies carnívoras con mayores requerimientos proteicos, el valor de esta relación es más elevado que en especies omnívoras o herbívoras (Winfrey y Stickney, 1981). Esta relación en la mayoría de las especies piscícolas se encuentra entre 84 g y 105 g de proteína digestible por megacaloría de energía digestible (NRC, 2011).

En el presente ensayo, los mejores resultados, tanto en FCR como en otros parámetros (peso final y longitud estándar), fueron obtenidos de dietas con una relación de proteína y energía por debajo de 105,88 (Cuadro 3), es decir, las dietas del Tratamiento Control, 25 % y 50 % de lombriz; mientras que la dieta con una relación de 111,21 mostró menores resultados en estos parámetros. Desde una perspectiva proteica, la dieta del tratamiento de 75 % posee una mayor composición que la requerida, por lo que, al exceder este requerimiento, el pez genera un gasto energético no deseable asociado a aminoácidos.

El desvío en el uso de estos nutrientes para producir energía por procesos como la desaminación y excreción de aminoácidos absorbidos de forma excesiva (Escobar et al., 2006), podría explicar parcialmente los parámetros zootécnicos obtenidos.

La tasa de eficiencia proteica mostró diferencias significativas entre el alimento balanceado y los tratamientos con *E. foetida* durante todo el ensayo, y no fue hasta el final del experimento donde se presentaron menores diferencias entre tratamientos. Este parámetro puede relacionarse con la manera en que las fuentes proteicas de la dieta pueden proveer los aminoácidos esenciales requeridos por el pez; y se basa en mediciones que relacionan el peso del animal con la cantidad de proteína ofrecida, viéndose influenciado por varios factores, entre ellos el nivel de proteína de la dieta y la especie (Wrigley et al., 2016). Soltan et al. (2002) reportaron en su estudio, que las mejores PER provienen de dietas que reportan menores valores en crecimiento máximo y eficiencia alimenticia en alevines de tilapia *O. niloticus*. Del mismo modo, Xue-xi et al. (2017) y De Silva y Gunasekera (1989) reportaron que con *Oreochromis niloticus*, dietas con menor cantidad de proteína presentaban mejores PER, este comportamiento se evidenció también en ensayos con otras especies de peces de producción, como *Micropterus salmoides* (Escobar et al., 2006).

Asimismo, la mejor PER fue obtenida en el T0, mientras que entre tratamientos con lombriz no se obtuvo diferencias significativas entre sí. Si bien en la literatura se señala que la lombriz posee los aminoácidos requeridos por los peces en cantidades adecuadas (Musyoka et al., 2019), es posible que la cantidad o calidad de esta proteína, especialmente en los tratamientos de 50 % y 75 % no fuera la ideal o no se haya metabolizado adecuadamente, quizá por la presencia de factores antinutricionales, más estos no fueron medidos en este ensayo. Por otro lado, debido a que no se realizaron análisis como el perfil de aminoácidos de la lombriz o sobre la digestibilidad de esta, merece la pena abordar el tema en futuros trabajos para alcanzar conclusiones más sólidas.

En lo que respecta a la composición química del tejido de alevines, el contenido energético de grasa, cenizas y proteína reportado por El-Saidy y Gaber (2005) no mostró diferencias significativas entre tratamientos con distinto nivel proteico, mientras que sí las hubo entre

tratamientos con diversas tasas de alimentación. Asimismo, Soltan et al. (2006) presentaron en su estudio un valor similar en el porcentaje de proteína, donde utilizaron dietas desde 25 % hasta 35 % de proteína en alevines experimentales; entre más proteína tenía la dieta brindada, más proteína alcanzaba la composición de los alevines. Por otro lado, Chaves et al. (2015) compararon una dieta comercial con una dieta basada en harina de lombriz como fuente principal de proteína, con valores de 54 % y 35 % de proteína cruda respectivamente; obteniendo diferencias en los niveles de minerales del tejido de los animales, sin que se presentaran diferencias significativas en la proteína tisular de estos, lo que indica una alta asimilación del alimento basado en harina de lombriz.

El contenido energético, de grasa, de cenizas y de proteína reportado por El-Saidy y Gaber (2005) no mostró diferencias significativas entre tratamientos con distinto nivel proteico, mientras que sí las hubo entre tratamientos con diversas tasas de alimentación. Asimismo, Al-Hafedh (1999) obtuvo en su estudio un valor similar en el porcentaje de proteína, donde utilizó dietas desde 25 % hasta 45 % de proteína en alevines experimentales; entre más proteína tenía la dieta brindada, más proteína alcanzaba la composición de los alevines.

De la misma forma, Cerdá et al. (1998) indicaron que los alimentos con menor proteína mostraron mayor cantidad de hidratos de carbono y mayores porcentajes de grasa; a medida que aumentan los carbohidratos de la dieta, aumenta la grasa corporal del animal, ya que su capacidad de síntesis de lípidos a partir de estos compuestos en peces es elevada, comportamiento también observado al utilizar dietas altas en lípidos (El-Sayed y Garling, 1988). Sin embargo, se cuenta con datos insuficientes para hacer esta afirmación en el presente estudio.

## CONSIDERACIONES FINALES

El presente estudio reflejó que la composición proteica de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) utilizada se encuentra dentro de los rangos esperados para esta especie. Asimismo, si bien los animales ingirieron la misma cantidad de materia seca en todos los tratamientos, estos consumieron una composición nutricional variable de proteína cruda, fibra cruda, extracto etéreo, energía bruta y cenizas. Se obtuvo como resultado un peso promedio final

entre tratamientos con diferencias significativas solamente entre el tratamiento de 75 % de lombriz deshidratada y el tratamiento control. Por esta razón, y tomando en consideración los resultados del resto de parámetros, se determinó que se puede brindar hasta un 50 % (MS) de *E. foetida* en la ración diaria para alevines de *Oreochromis aureus* sin afectar los parámetros zootécnicos analizados ni la composición química de los animales, con una mortalidad casi nula, mientras se controle la calidad del agua. No obstante, es necesario considerar que, dado que este estudio abarcó un periodo de tiempo corto y se realizó bajo condiciones controladas, se recomiendan ensayos longitudinales que puedan establecer posibles variables asociadas a estacionalidad.

La metodología utilizada en el presente ensayo para la obtención de la lombriz roja deshidratada se abordó considerando procedimientos accesibles para pequeños productores, en zonas donde la obtención de alimento balanceado comercial para esta fase de producción fuese compleja y, por tanto, justificara la utilización de alternativas locales. Sin embargo, se recomienda efectuar más estudios que permitan establecer el desarrollo de nuevos métodos para optimizar el proceso de obtención de la lombriz deshidratada, considerando factores como tiempos utilizados en cada etapa y la uniformidad nutricional del producto final obtenido.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean extender un agradecimiento a las siguientes unidades de investigación, cuyo apoyo permitió la concreción del presente trabajo: Centro de Investigación de Nutrición Animal (CINA) y Estación Experimental Alfredo Volio Mata, ambas pertenecientes a la Universidad de Costa Rica.

#### LITERATURA CITADA

- Abdel-Tawwab, M. 2012. Effects of dietary protein levels and rearing density on growth performance and stress response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). International Aquatic Research, 4 (3): 1-13.
- Ackerman, P., J. Morgan y G. Iwama. 2005. Guidelines on the care and use of fish in research, teaching, and testing. Canadian Council on Animal Care. Ottawa, Canada.

- Alceste, C. 2017. Consideraciones para el cultivo de tilapia en ambientes de agua salada. Aquaculture Alliance. Nuevo Hampshire, Estados Unidos. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/cultivo-de-tilapia/> (Consultado 14 de feb., 2021).
- Al-Hafedh, Y. 1999. Effects of dietary protein on growth and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research*, 30: 385-393.
- Alvarado, M. y Y. Guzmán. 2020. Efecto de tres dietas en el crecimiento de *Oreochromis aureus* "tilapia" en el Módulo Piscícola La Balsa, Jaén – San Ignacio. Tesis Lic., Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Alvarenga, M., A. Escobar y F. Flores. 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 Bach., Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
- Anani, F. y F. Nunno. 2016. Length-weight relationship and condition factor of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fed farm-made and commercial tilapia diet. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4 (5): 647-650.
- 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.
- Ayode, A. 2011. Length-Weight Relationship and Diet of African Carp *Labeo ogunensis* (Boulenger, 1910) in Asejire lake Southwestern Nigeria. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 6: 472-478.
- Blancas, G., R. Frías, E. De la Rosa, V. Suárez, J. Castro y J. Magaña. 2014. Efecto de la salinidad en la sobrevivencia de peces silvestres del género *Chirostoma* durante el transporte y mantenimiento en laboratorio. *Hidrobiológica*, 24 (3): 223-230
- Cambronero, A. y P. Sánchez. 2016. Diagnóstico sobre el mercado de la carne de pescado en Costa Rica. Informe DIEM-INF-009-016 de la Dirección de Investigaciones Económicas y de Mercados. Ministerio de Economía, Industria y Comercio. <http://reventazon.meic.go.cr/informacion/estudios/2016/pescado.pdf>
- Carvajal, J. 2014. Comparación de parámetros zootécnicos y de calidad de agua de tres sistemas de pre-cría de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en el Municipio de Puerto Triunfo, Caldas-Antioquia. Tesis Bach., Unilasallista Corporación Universitaria. Antioquia, Colombia.
- Cerdá, J., L. Pérez, L. Zaragoza y J. Fernández. 1998. Crecimiento de tilapias (*Oreochromis nilotucus*, L.) con piensos extrusionados de diferente nivel proteico. *Archivos de Zootecnia*, 47: 11-20.

- Charoendat, U., N. Areechon, P. Srisapoome y D. Chantasart. 2009. Efficacy of synthetic eugenol as an anesthetic for tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.) Revista Natural Science, 43: 132-140.
- Chaves, R.C., R. Quieroga de Paula, B. Gücker, I.E. Marriel, A. Oliveira y I.G. Boëchat. 2015. An alternative fish feed based on earthworm and fruit meals for tilapia and carp postlarvae. Brazilian Journal of Biosciences, 13 (1): 15-24.
- Chowdhury, D.K. 2011. Optimal feeding rate for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Tesis Master, Norwegian University of Life Sciences. Ås, Norway.
- Cortés, V. 2010. Sustitución parcial de harina de pescado (*Plecostomus spp.*) por harina de lombriz (*Eisenia foetida*) em alimento para bagre de canal (*Ictalurus punctatus*). Tesis Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Xoxocotlán, México.
- De Silva, S. y R. Gunasekera. 1989. Effect of dietary protein level and amount of plant ingredient (*Phaseolus aureus*) incorporated into the diets on consumption, growth performance, and carcass composition in *Oreochromis niloticus* (L.) fry. Aquaculture, 80 (1-2): 121-133.
- El-Saidy, D. y M. Gaber. 2005. Effect of dietary protein levels and feeding rates on growth performance, production traits, and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) cultured in concrete tanks. Aquaculture Research, 36 (2): 163-171.
- El-Sayed, A.F. y D.L. Garling. 1988. Carbohydrate-to-lipid ratios in diets for Tilapia fingerlings. Aquaculture, 73, 157-163.
- Escobar, J., Reinoso, R. y Landinez, M. 2006. Efecto del nivel de energía y proteína en la dieta sobre el desempeño productivo de alevinos de *Oreochromis niloticus*, variedad chitralada. Revista de Medicina Veterinaria, 12: 89-97.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/3/i9540es/i9540es.pdf> (Consultado 5 de may., 2020).
- Girón, M. 2006. Evaluación de dos métodos en la extracción de lombriz coqueta roja (*Eisenia foetida*), tradicional y de capas en la producción de lombrihumus. Tesis Bach., Universidad de San Carlos de Guatemala. San Carlos, Guatemala.
- 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.
- Guzmán, A. 2001. Proyecto para el establecimiento de un centro de cultivo de Tilapia Roja, en la provincia de Esmeraldas, cantón San Lorenzo, recinto La Florida. Tesis Bach., Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

- Halwart, M. 2021. FAO Aquaculture newsletter. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.fao.org/3/cb1550en/cb1550en.pdf> (Consultado 5 de may., 2020).
- INCOPESCA (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura). 2019. Plan estratégico de la acuicultura 2019-2023. Costa Rica: INCOPESCA. [http://www.infoagro.go.cr/Documents/Plan\\_Estrategico\\_Acuicultura\\_Costa\\_Rica\\_2019-2023.pdf](http://www.infoagro.go.cr/Documents/Plan_Estrategico_Acuicultura_Costa_Rica_2019-2023.pdf) (Consultado 13 de abr., 2021).
- Isea, F., B. Célestin, A. Medina, P. Aguirre, G. Bianchi y S. Kaushik. 2008. Estudio de digestibilidad aparente de la harina de lombriz (*Eisenia andreä*) en la alimentación de trucha arco iris (*Onchorinchus mykiss*). Revista Chilena de Nutrición, 35 (1): 62-68.
- Jauncey, K. 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization, and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). Aquaculture, 27 (1): 43-54.
- Khalaff, E., A. Mohammad, M. Galal y R. Zaid. 2018. A comparative biological study on *Oreochromis niloticus* from two Nilotic Canals in the Delta of Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries, 22 (5): 39-63.
- Küçük, S., K. Aslihan, S. Yildirim y K. Gamsiz. 2013. Effects of salinity on growth and metabolism in blue tilapia (*Oreochromis aureus*). African Journal of Biotechnology, 12 (19): 2715- 2721.
- Llanes, J., J. Toledo, I. Fernández y J.M. Lazo De la Vega. 2006. Nutrición y alimentación de tilapias. Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA), 4: 51-54.
- Lezcano, J. F. y G. J. Borjas. 2017. Optimización en la elaboración de harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente proteica en alimento para alevines de tilapia (*Oreochromis spp.*). Tesis Grado, Zamorano, Honduras.
- Lugert, V., G. Thaller, J. Tetens, C. Schulz y J. Krieter. 2014. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. Reviews in Aquaculture, 8 (1): 30-42.
- Ma, A., C. Chen, J. Lei, S. Chen, Z. Zhuang y Y. Wang. 2006. Turbot *Scophthalmus maximus*: stocking density on growth, pigmentation, and feed conversion. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 24: 307-312.
- Morillo, M., T. Visbal, D. Altuve, F. Ovalles y A.L. Medina. 2013. Valoración de dietas para alevines de *Colossoma macropomum* utilizando como fuentes proteicas harinas: de lombriz (*Eisenia foetida*), soya (*Glycine max*) y caratoas (*Phaseolus vulgaris*). Revista Chilena de Nutrición, 40 (2): 147-154.
- Musyoka, S., Mbeva, D., Ogello, E., y Waidbacher, H. 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.



- Nicovita. 2020. Manual de Crianza de Tilapia. Guayaquil, Ecuador. <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf> (Consultado 24 de mar. 2021).
- Nobre, M., F. Lima y F. Magalhães. 2014. Alternative liming blends for fish culture. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 36 (1): 11-16.
- Nole, J. y R. Herrera. 2016. Evaluación del fotoperiodo en el crecimiento y parámetros productivos del cultivo de alevines de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Tesis Lic., Universidad Nacional del Callao. Callao, Perú.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Animal Nutrition Series. The National Academies Press. National Research Council of the National Academies. Washington, Estados Unidos.
- Olurin, K. y O. Aderibigbe. 2006. Length-Weight Relationship and Condition Factor of Pond Reared Juvenile *Oreochromis niloticus*. *World Journal of Zoology*, 1 (2): 82-85.
- Pacic, A. 2010. Cría de Pacú en cautiverio. Chaco, Argentina: INTA Centro Regional Chaco Formosa. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta> (Consultado 22 de jun., 2021).
- Pizzini, P. 2017. Evaluación de la inclusión de harina de camote (*Ipomoea batatas*) en dietas de alevinos de tilapia roja (*Oreochromis spp*) sobre su comportamiento productivo en condiciones de laboratorio. Tesis Lic., Universidad Nacional Agraria "La Molina". Lima, Perú.
- Programa de Registro y Control de Calidad de Alimentos para Animales (Feednet). 2021. Sistema de Información de Registro y Control de Calidad de Alimentos para Animales Costarricenses. <http://feednet.senasa.go.cr/index.htm> (Consultado 15 de mar., 2022).
- Qiang, J., H. Yang, H. Wang, M. Kpundeh y P. Xu. 2012. Growth and IGF-I response of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to changes in water temperature and dietary protein level. *Journal of Thermal Biology*, 37 (8): 686-695.
- Saavedra, M. 2006. Manejo del Cultivo de Tilapia. Managua, Nicaragua. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf> (Consultado 8 de jun., 2020).
- 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*). *Plos One*, 13 (7): 1– 25.
- Slawski, H., H. Adem, R. Tressel, K. Wysujack, Y. Kotzamanis y C. Schulz. 2011. Sustitución de la harina de pescado por concentrado de proteína de colza en los piensos para rodaballo (*Psetta máxima* L). *Cliente de Cría*, 83: 451–460.
- Soltan, M.A., A.A. Radwan y I.M. Sara. 2002. Effect of varying protein, energy, and protein to energy ratio on growth, feed efficiency, and body composition of Nile Tilapia,

*Oreochromis niloticus*. The 1st Annual Conference of the Egyptian Aquaculture Society, North Sinai, Egipto.

- Spieler, R.E. 2000. Revisión sobre ritmos circadianos, frecuencia de alimentación y crecimiento en peces. En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México. pp 220-236.
- Timmons, M., J. Ebeling, F. Wheaton, S. Summerfelt y B. Vinci. 2002. Recirculating aquaculture systems (2da edición). Cayuga Aqua Ventures LLC. Nueva York, Estados Unidos.
- Torres, D.M. y V.L. Hurtado. 2012. Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Orinoquia, 16 (1): 63-68.
- Vodounnou, D., V. Juste, D. Kpogue, M. Apollinaire y F. Didier. 2016. Culture of earthworm (*Eisenia fetida*), production, nutritive value, and utilization of its meal in diet for *Parachanna obscura* fingerlings reared in captivity. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 4 (5): 01-05.
- Winfree, R. y Stickney, R.R. 1981. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. Journal of Nutrition 111, 1001-1012.
- Wrigley, C., H. Corke, K. Seetharaman y J. Faubion. 2016. Encyclopedia of Food Grains. Academic Press. Massachusetts, United States.
- Xue-xi, W., G. Meng-yao, W. Kun y Y. Ji-dan. 2017. Growth and metabolic responses in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) subjected to varied starch and protein levels of diets. Italian Journal of Animal Science, 16 (2): 308-316.
- Zafra, A., M. Díaz, F. Dávila, R. Fernández, K. Vela y H. Guzmán. 2019. Conversión y eficiencia alimenticia de *Oreochromis aureus* var. *suprema* (*Cichlidae*) con diferente alimento balanceado en sistema cerrado, Trujillo, La Libertad, Perú. Arnaldoa, 26 (2): 815-82.