

---

ARTÍCULO CIENTÍFICO

## Desempeño zootécnico de alevines de tilapia blanca (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) a distintas temperaturas<sup>1</sup>

Hugo Arnoldo Espinoza-Quesada<sup>2</sup>, Alejandro Chacón-Villalobos<sup>3</sup>, Juan Ignacio Herrera-Muñoz<sup>4</sup>

### RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar parámetros de eficiencia y crecimiento en la fase temprana de alevinaje de tilapia blanca (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus* var. "Rocky Mountain") bajo dos distintos regímenes de temperatura. El experimento se realizó en el Módulo Acuícola de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica durante 56 días, para lo cual se utilizaron 160 alevines con un peso promedio inicial de  $0,304 \pm 0,009$  g. Luego de una aclimatación de 10 días, los alevines se dividieron, según su peso, en grupos de 10 individuos por pecera, en 16 peceras colocadas en cuatro líneas; cada una de estas con su sistema de filtración mecánica y biológica y su control de la temperatura. Se reguló la temperatura de dos líneas seleccionadas de forma aleatoria a 27 °C y las otras dos a 22 °C. Se realizó una medición inicial y final de longitud y ancho. Se monitoreó y registró diariamente el consumo de alimento. Se pesaron cada 15 días para evaluar las ganancias de peso (GP), el coeficiente térmico de crecimiento (CTC), la tasa específica de crecimiento (TEC), el factor de condición K (FK), la tasa de conversión alimenticia (FCR) y la tasa de eficiencia proteica (PER). Al final del ensayo, se generaron también los índices viscerosomáticos (IVS) y la relación cabeza-cuerpo (C/C); además se registró la mortalidad. Se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos para casi la totalidad de los parámetros (GP, CTC, TEC, FCR, PER, IVS y C/C), exceptuando la mortalidad y el factor de condición

---

<sup>1</sup>Este trabajo formó parte del proyecto de investigación: "Indicadores zootécnicos de desempeño en alevines de tilapia azul (*Oreochromis aureus*) bajo distintos regímenes de alimentación y temperatura" - 737-C1-158.

<sup>2</sup>Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. San Pedro, San José, Costa Rica. hugo.espinoza@ucr.ac.cr. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-0364-7661>

<sup>3</sup>Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. San Pedro, San José, Costa Rica. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. La Unión, Cartago, Costa Rica. alejandro.chacon@ucr.ac.cr. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8454-9505>

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

Recibido: 28 noviembre 2023 Aceptado: 30 mayo 2024

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



K. Se evidenció un efecto negativo sobre el desempeño zootécnico de la tilapia blanca a baja temperatura, lo que resultó en ganancias de peso hasta 5 veces mayores para los peces desarrollados a 27 °C ( $2,72 \text{ g} \pm 0,19$ ) con respecto a aquellos desarrollados a 22 °C ( $0,54 \text{ g} \pm 0,05$ ).

**Palabras Clave:** Tilapia blanca, temperatura, desempeño, crecimiento y alevín.

## ABSTRACT

Zootechnical performance of white tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) at different temperatures. This study aimed to evaluate the efficiency and growth parameters in the early growth phase of white tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus* var. "Rocky Mountain") with two different temperature regimes. The experiment was carried out at the Aquaculture Module of the Alfredo Volio Mata Experimental Station (EEAVM) of the University of Costa Rica over a period of 56 days, using 160 fingerlings with an initial averaged weight of  $0.304 \pm 0.009 \text{ g}$ . After a 10-day acclimatization, they were divided into groups of 10 fingerlings per tank based on their weight, in a total of 16 tanks arranged in four rows: each with its own mechanical and biological filtration system and temperature control. Two rows were randomly selected and regulated at 27°C and the other two were maintained at 22°C. Initial and final measurements of length and width were taken. Food consumption was monitored and registered daily. Weighings were conducted every 15 days to assess weight gain (WG), thermal growth coefficient (TGC), specific growth rate (SGR), K condition factor (KF), feed conversion ratio (FCR), and protein efficiency ratio (PER). At the end of the test, viscerosomatic index (VSI) and head-body ratio (H/B) rating were generated; also, mortality was registered. Significant differences ( $p < 0.05$ ) were observed between the treatments in almost all parameters (WG, TGC, SGR, FCR, PER, VSI, and H/B), except for mortality and the K condition factor. A negative effect of temperature on white tilapia performance was observed under low temperatures, which resulted in weight gains 5 times higher for fish developed at 27°C ( $2.72 \pm 0.19 \text{ g}$ ), compared to those at 22°C ( $0.54 \pm 0.05 \text{ g}$ ).

**Keywords:** White tilapia, temperature, performance, growth, and fingerlings.

## INTRODUCCIÓN

La mejora genética y el desarrollo de variedades genéticamente superiores a través del tiempo ha sido una de las estrategias utilizadas para incrementar la productividad de especies por unidad de tierra y agua. De este modo, se obtiene un aumento en la cantidad de producto final, ayudando a solventar la problemática asociada a la demanda de proteína de origen animal derivada del crecimiento en la población mundial. Una de estas especies es la tilapia (*Oreochromis spp.*), de la cual se han obtenido diversas líneas genéticas a través de esquemas de cruzamientos (Nguyen, 2015).

La tilapia es el segundo grupo de peces de aleta con mayor producción global, superado únicamente por la carpa (FAO, 2020). En Costa Rica esta especie representa aproximadamente un 80% de la producción acuícola total. El consumo de la tilapia se encuentra en constante crecimiento y se comercializa a través de diversos mercados, desde supermercados y puntos de venta de grandes empresas, hasta estanques de pesca recreativa de pequeños y medianos productores (Peña-Navarro y Chacón-Guzmán, 2019).

Las tilapias poseen una gran capacidad de adaptación a distintos sistemas y ambientes de cultivo, además de un alto rendimiento productivo (Prabu et al., 2019), por lo que son producidas en un gran número de países con diferencias climatologías considerables. Esto se asocia a cambios importantes en los perfiles térmicos del agua y diversidad de sistemas de cultivo e intensificación de la producción, desde sistemas extensivos o de subsistencia hasta sistemas de cultivo superintensivos (Chowdhury et al., 2013). La temperatura es un factor crítico dentro del medio acuático, ya que afecta diferentes funciones del organismo como las reacciones químicas y el metabolismo en general (Núñez et al., 2021). Esta no solo influye los organismos ectotermos en su tasa metabólica y crecimiento, sino también en su condición, sobrevivencia y distribución (Noyola et al., 2015).

En general, las tilapias poseen una limitada tolerancia a las bajas temperaturas en el agua, aunque se desempeñan muy bien en las cálidas (Santos et al., 2013; Abdel-Tawwab y Wafeek, 2014). Cambios irregulares en la temperatura pueden generar un tamaño heterogéneo en el cultivo que lleva a ineficiencias en el sistema de producción (Medina, 2018). Tradicionalmente, y de forma empírica, en la industria se maneja el concepto de que algunas especies y/o líneas genéticas de tilapia son tolerantes a temperaturas considerablemente por debajo (22-24 °C) del óptimo de la especie (27-30 °C) (Salazar-Bustos et al., 2017). Entre estas especies se encuentra la *Oreochromis aureus*, o tilapia azul, y, consecuentemente, algunas de las líneas híbridas producto del cruce de esta con otras especies, como el caso de la variedad "Rocky Mountain White" (El-Hack et al., 2022).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar los parámetros de eficiencia y crecimiento en la fase temprana de alevinaje de tilapia blanca (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) bajo dos distintos regímenes de temperatura, considerando la temperatura óptima para la especie (27 °C) y una temperatura menor (22 °C). Esta última corresponde a una temperatura media observada en la mayoría de los sistemas de producción acuícola en Costa Rica, según la experiencia de campo de los investigadores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2022, se llevó a cabo el estudio en el Módulo Acuícola de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica, localizado en Ochomogo, Cartago, Costa Rica.

### Diseño y condiciones experimentales

El experimento se ejecutó en un sistema de recirculación de cuatro líneas independientes: cada una con su propio sistema de filtración y regulación de temperatura; con cuatro peceras por línea,

para un total de 16 unidades experimentales; con un volumen de agua de 40 x 40 x 36 cm (58 L) por pecera. Para el tratamiento del agua del sistema de recirculación se usó un filtro externo multicapa tipo "canister" (JT, JHW-303B, Ningbo JT Pump Co., China) por cada línea. Se utilizó, como filtro mecánico, espuma de poliuretano de baja densidad; y piezas de cerámica cilíndricas como sustrato para la filtración biológica de tipo lecho móvil. Cada filtro presentó una capacidad de recambio real de 800 litros de agua por hora.

Se adquirieron 160 alevines de aproximadamente 35 días post eclosión (DPE) y se distribuyeron en las 16 peceras. Los alevines de tilapia blanca (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus* var. "Rocky Mountain") utilizados en el experimento provenían del módulo de reproducción de tilapia de dicha estación y no fueron sometidos a un proceso de inducción sexual, por lo cual se trabajó con una población de sexo mixto. Se realizó una aclimatación de 10 días con 14 animales por pecera, recibéndolos a una temperatura de 27 °C y adaptándolos a 24,5 °C durante los primeros 3 días, con una salinidad de 3 g/L durante toda la aclimatación y manteniendo condiciones iguales para todas las líneas. Durante el período de adaptación se les brindó a los animales alimento balanceado en 3 porciones iguales durante el día. El alimento utilizado de código DAA:774-118 (DAASIRE, 2022) contó con una granulometría menor a 0,8 mm y un valor mínimo reportado según la etiqueta de 45% de proteína cruda y 5% de extracto etéreo.

El experimento se ejecutó bajo dos tratamientos: en el primero, se reguló la temperatura del agua a 22 °C y se denominó tratamiento Frío; en el segundo, se reguló el agua a 27 °C y fue llamado tratamiento Caliente. Cada pecera representó una unidad experimental para los tratamientos y, a su vez, alojó 10 alevines (unidad básica).

Para la regulación de la temperatura se utilizó un termostato (PennPlax, Cascade 75W) en cada una de las peceras, sincronizados a la temperatura respectiva de cada línea. Luego se realizó un pesaje inicial con una balanza de 1 kg de capacidad y una precisión de 0,01 g (Biobase, BE10002). Además, se realizaron las mediciones iniciales de longitud estándar y ancho total con un micrómetro Vernier digital (Truper, 150 mm). Al mismo tiempo, se unificó el peso al separar los 2 peces de mayor tamaño y los 2 de menor tamaño de cada pecera, los cuales fueron eliminados del experimento.

El período experimental resultó en un total de 56 días. En esta etapa se midieron y regularon los siguientes parámetros de forma diaria: pH, oxígeno disuelto, salinidad y temperatura (Figura 1).

Se utilizó un equipo de sondas multiparamétricas (YSI, Professional Plus); dicha medición se realizó dos veces por día: una previa a la primera alimentación del día y otra anterior a la última ración. En cuanto a los compuestos nitrogenados [nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal total (TAN)], se utilizó un kit colorimétrico (API, Freshwater Master Test Kit) para realizar un monitoreo cada cuatro días, mientras la alcalinidad y la dureza se midieron con otro kit colorimétrico (Prodac, LaboreTest GH-KH) semanalmente.

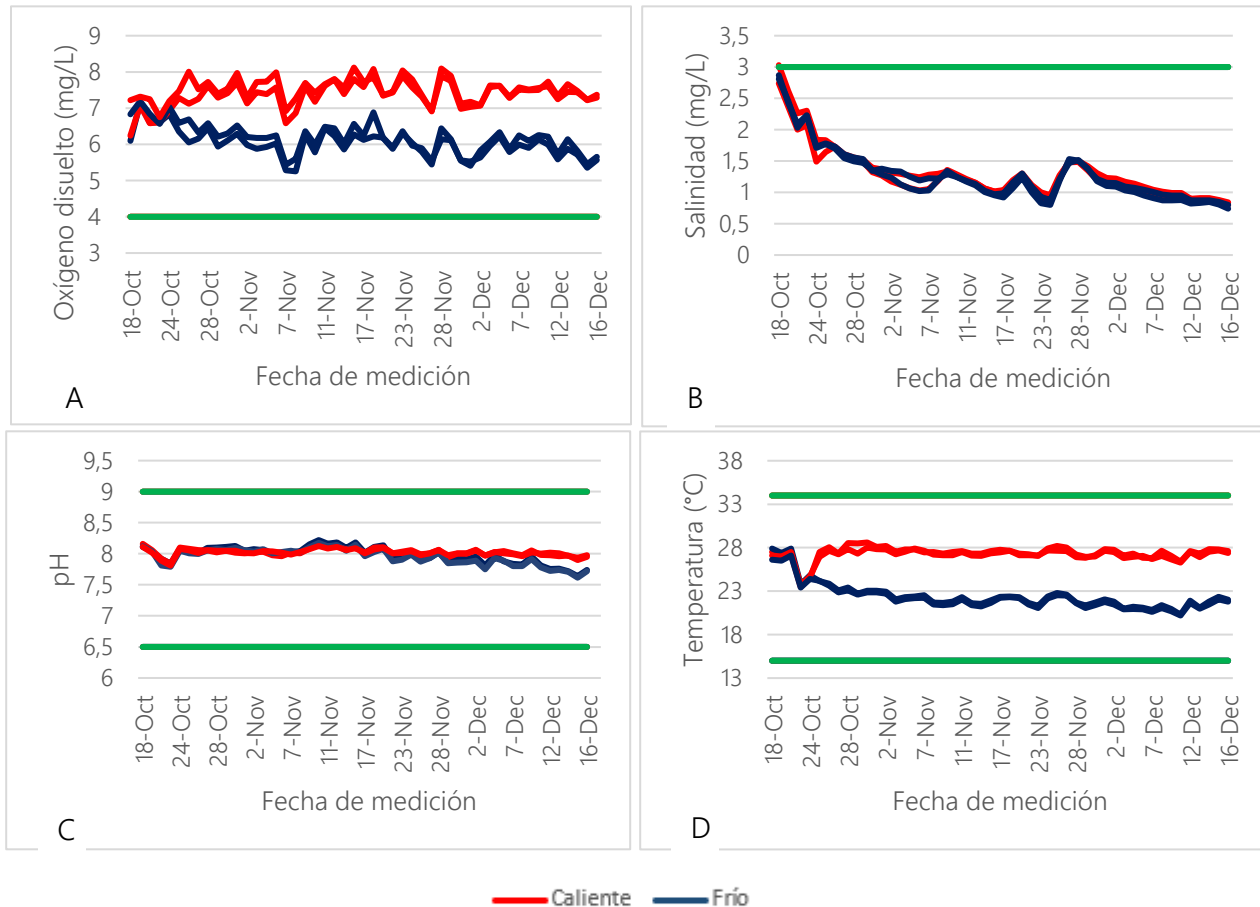


Figura 1. Parámetros diarios promedio de calidad del agua, oxígeno disuelto (A), salinidad (B), pH (C) y temperatura (D) para las líneas con tratamiento Frío y Caliente.

\*Como referencia, las líneas constantes definen los límites mínimos y máximos letales para el pH y la temperatura, y el mínimo óptimo para el oxígeno y la salinidad durante el período de aclimatación.

### Estrategia de alimentación y alimento balanceado

Las raciones de alimento aproximadas se calcularon diariamente según el peso obtenido en el pesaje con mayor proximidad como punto de referencia, tomando en cuenta un incremento proyectado de peso y el desperdicio observado en la alimentación anterior. Sin embargo, se procuró obtener un consumo máximo al observar saciedad y se cuantificó el consumo total real diario de alimento por unidad experimental. La ración diaria calculada se dividió en 3 porciones y se ofreció manualmente.

La primera se brindó a las 7:00 a. m. (30% de la ración), la segunda a la 1:00 p. m. (40% de la ración) y el resto del alimento (30% de la ración) se dio a las 5:00 p. m. Después de 25 minutos de ofrecida cada alimentación, se registró la cantidad de alimento no consumido mediante la recolección y posterior conteo de los pellets flotantes; cantidad que luego fue transformada a peso gracias a una calibración previa que correlacionó el peso de una muestra con la suma de pellets en la misma. En el Cuadro 1 se presenta el análisis proximal del alimento experimental, en el que se evaluó humedad, proteína bruta, extracto etéreo y cenizas, así como la energía bruta.

Cuadro 1. Análisis proximal de alimento balanceado para fase de inicio en tilapia realizado por el Laboratorio de Bromatología de la EEAVM.

Nutriente	Laboratorio
Humedad (%)	8,80
Proteína Cruda (%)	47,45
Extracto Etéreo (%)	3,82
Energía bruta kcal/kg	4780
Cenizas (%)	5,37

### Manipulación de los animales y recolección de datos

Se realizó un pesaje cada 15 días a la totalidad de la población experimental, para un total de 5 pesajes. Utilizando dichos muestreos, se dividió la etapa experimental en cuatro períodos: del día 1

al 15, del 16 al 28, del 29 al 42 y del 43 al 56. Las mediciones de largo y ancho se realizaron únicamente al inicio y al final de la prueba, con el fin de minimizar la manipulación de los alevines en una etapa vulnerable.

Para facilitar dicha manipulación, en cada muestreo se realizó una anestesia por inmersión con eugenol (Dharma, Eugenol 100%-USP Grade) a una concentración de 50 mg/L (Campos-Mas, 2023). Durante la anestesia, se realizaron los pesajes y mediciones en un tiempo menor a 5 minutos para disminuir el tiempo de inducción de los animales; inmediatamente posterior a esto se regresaron a sus peceras para la recuperación (Rairat et al., 2021). Durante el último muestreo, se sacrificaron los animales utilizando una dosis 10 veces mayor de eugenol (500 mg/L) para la obtención del peso de las vísceras y cabezas.

#### Variables evaluadas

Los datos obtenidos permitieron estimar parámetros mediante las ecuaciones planteadas por Lugert et al. (2014) presentadas en el Cuadro 2.



Cuadro 2. Parámetros zootécnicos evaluados y su ecuación asociada.

Parámetro Zootécnico	Ecuación Asociada
Ganancia de Peso Total	$GPT = \text{Peso}_{\text{Final}} - \text{Peso}_{\text{inicial}}$
Incremento de Longitud Estándar	$iLE = LE_{\text{Final}} - SE_{\text{inicial}}^*$
Incremento de Ancho Total	$iAT = AT_{\text{Final}} - AT_{\text{inicial}}^{**}$
Coefficiente Térmico de Crecimiento	$CTC = \left( \frac{(\text{Peso final})^{1/3} - (\text{Peso inicial})^{1/3}}{\sum \text{Temp } (^{\circ}\text{C})} \right) 1000$
Tasa de Crecimiento Específico	$TCE = \left( \frac{\ln \text{peso final} - \ln \text{peso inicial}}{\text{tiempo (días)}} \right) 100$
Tasa de Conversión Alimenticia	$FCR = \frac{\text{kg Alimento consumido}}{\text{kg Incremento en biomasa}}$
Tasa de Eficiencia Proteica	$PER = \frac{\text{kg Incremento en biomasa}}{\text{kg Proteína consumida}}$
Mortalidad	$Mor = \frac{\text{Peces muertos}}{\text{Peces totales sembrados}} \times 100$
Índice Viscerosomático	$IVS = \frac{\text{Peso de las vísceras}}{\text{Peso corporal}} \times 100$
Relación Cabeza-Cuerpo	$C/C = \frac{\text{Peso de la cabeza}}{\text{Peso corporal}} * 100$
Factor de Condición K	$FK = \left( \frac{\text{Peso}(g)}{LE(cm)^3} \right) \times 100$

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

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

En la etapa experimental se tomó como ganancia el cambio del peso, el largo y el ancho de los alevines en función del tiempo y tratamiento. Mediante estos datos y con el uso de estadística descriptiva (media + Error Estándar), se evidencia la conducta de las variables a través del tiempo. Esta información se presenta para que pueda ser utilizada como insumo adicional en el diseño de sistemas y la proyección de producción en fases de desarrollo. Los factores FK, TCE, CTC, FCR y PER también se calcularon para cada período. Sin embargo, para el análisis estadístico inferencial, se utilizaron los totales generados en todo el periodo experimental. La relación cabeza-cuerpo, el IVS y el incremento en largo y ancho se calcularon solamente al final del experimento y para todo el período experimental.

El análisis inferencial se realizó con el software estadístico SPSS IBM Versión 25 (IBM, 2017). Se realizaron pruebas de normalidad y homocedasticidad para determinar las variables aptas para una prueba *t* de Student (comparación de medias de dos grupos independientes). Para las variables que no presentaron normalidad, se llevó a cabo un análisis no paramétrico Mann-Whitney U. Se utilizó un 95% de confianza en todos los análisis estadísticos para determinar significancia.

## RESULTADOS

### Curva de crecimiento

El primer día del experimento se determinó un peso promedio de  $0,313 \pm 0,007$  g en el grupo de los peces destinados al tratamiento Caliente y de  $0,309 \pm 0,011$  g en el de Frío, y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0.695$ ). Se obtuvo, además, un promedio inicial de 21,09 mm y de 21,42 mm en la longitud ( $p = 0.352$ ) y de 7,15 mm y 7,04 mm en el ancho ( $p = 0.380$ ) para los grupos de Caliente y Frío, respectivamente.

Como se puede observar en la Figura 2, las curvas de crecimiento de ambos tratamientos empezaron a divergir de forma más pronunciada a partir del segundo muestreo, resultando en diferencias de peso cada vez mayores a favor del tratamiento Caliente.

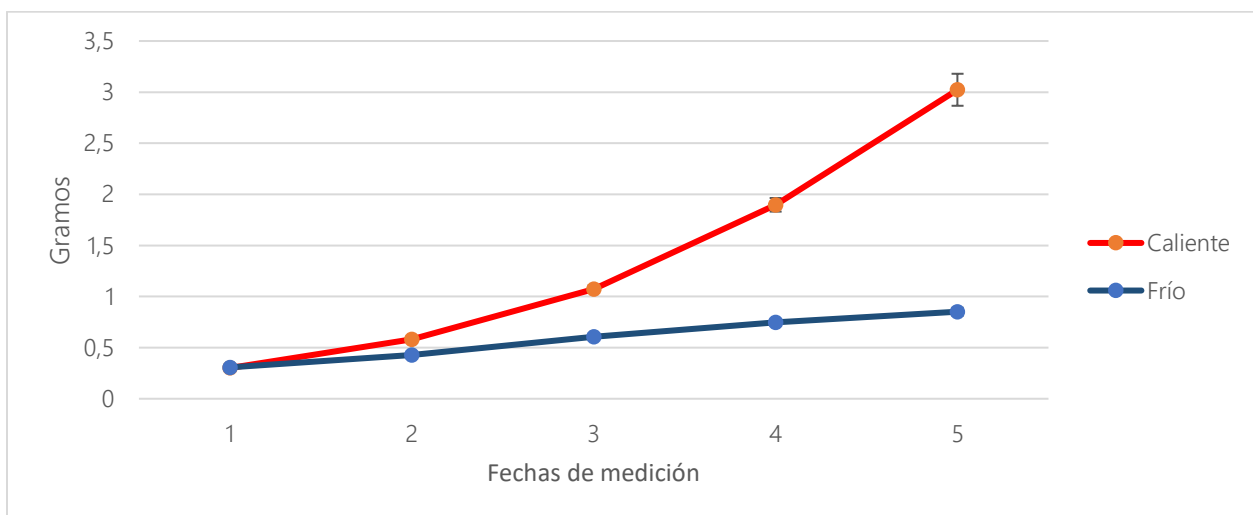


Figura 2. Curva de crecimiento del peso de las tilapias durante el periodo experimental.

Al final del experimento, la media de los pesos con el tratamiento Caliente fue de  $3,025 \pm 0,187$  g, y de  $0,851 \pm 0,049$  g con el Frío. Asimismo, las medias finales de longitud estándar para Caliente fueron de  $44,75 \pm 0,78$  mm y  $14,73 \pm 0,61$  mm para el ancho; y para Frío de  $29,77 \pm 0,54$  mm y  $9,23 \pm 0,21$  mm, respectivamente. Sin embargo, no se generaron curvas respectivas para LE y AT, pues estas mediciones se realizaron solamente al inicio y final del experimento.

### Variables de crecimiento

Tal como se puede apreciar en el Cuadro 8, se observaron diferencias significativas para casi todas las variables de crecimiento, con excepción del factor de condición K.

Cuadro 3. Efecto de la temperatura sobre los indicadores de crecimiento en las tilapias durante los 56 días del período experimental.

Parámetro	Caliente	Frío	Relación Caliente/Frío	p-valor *
GPT (g)	$2,72 \pm 0,19$	$0,54 \pm 0,05$	5,04	< 0.001**
iAT (mm)	$7,58 \pm 0,65$	$2,11 \pm 0,18$	3,59	< 0.001**
iLE (mm)	$23,65 \pm 0,85$	$8,34 \pm 0,61$	2,84	< 0.001**
FK Final	$3,34 \pm 0,15$	$3,20 \pm 0,18$	1,04	0.13*
CTC Total	$0,51 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,02$	2,32	< 0.001**
TEC (%) Total	$4,10 \pm 0,10$	$1,80 \pm 0,10$	2,28	< 0.001**

\*El análisis utilizado para obtener los p-valor fue una prueba *t* de Student.

\*\*El análisis utilizado fue el no paramétrico Mann-Whitney U.

El peso fue la variable con mayor diferencia entre los tratamientos. De forma general, el tratamiento Frío reportó una mayor variabilidad relativa de los datos, observándose un efecto positivo de la temperatura sobre la uniformidad.

### Variables de eficiencia

Se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos para las variables de eficiencia, con excepción solamente de la mortalidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la temperatura sobre los indicadores de eficiencia en las tilapias durante los 56 días del período experimental.

Parámetro	Caliente	Frío	p-valor *
Mortalidad (%)	5,00 ± 2,70	3,80 ± 1,80	0.880**
FCR	0,87 ± 0,03	1,23 ± 0,15	0.020**
IVS (%)	8,60 ± 1,50	8,00 ± 3,60	0.020**
Relación cabeza-cuerpo (%)	31,30 ± 0,70	34,60 ± 2,10	0.001*
PER	2,92 ± 0,09	2,19 ± 0,21	0.005**

\*El análisis para los p-valor fue una prueba *t* de Student.

\*\*El análisis utilizado fue el no paramétrico Mann-Whitney U.

### Comportamiento de las variables a través del tiempo

#### Ganancia de peso (GPT)

A lo largo del experimento, las ganancias de peso de los animales en cada tratamiento se diferenciaron entre sí (Figura 3). Las ganancias de peso aumentaron a lo largo del período experimental con el tratamiento Caliente; mientras que, con el tratamiento Frío, se presentó una ligera tendencia a la baja, pero se mantuvieron constantes.

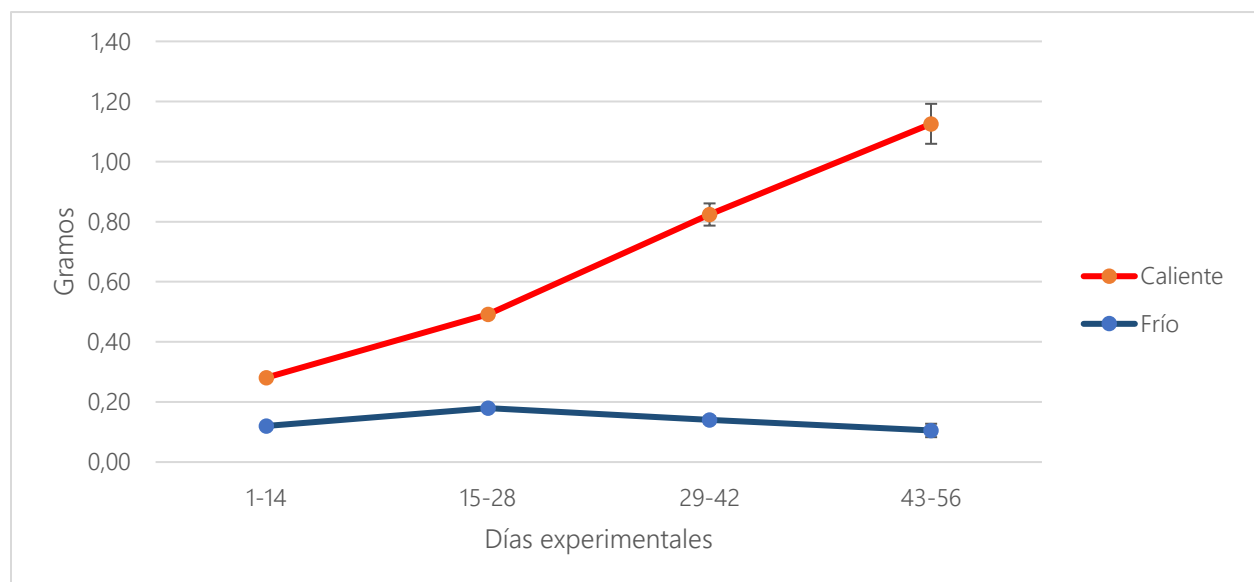


Figura 3. Ganancia de peso de los alevines durante los muestreos según tratamiento.

### Incremento en longitud estándar (ile) y en ancho total (iat)

La longitud estándar y el ancho total de todos los animales aumentaron conforme pasó el tiempo. No obstante, como se aprecia en la Figura 4, el tratamiento Caliente resultó en valores significativamente ( $p < 0.05$ ) mayores para todas las repeticiones de ambas variables.

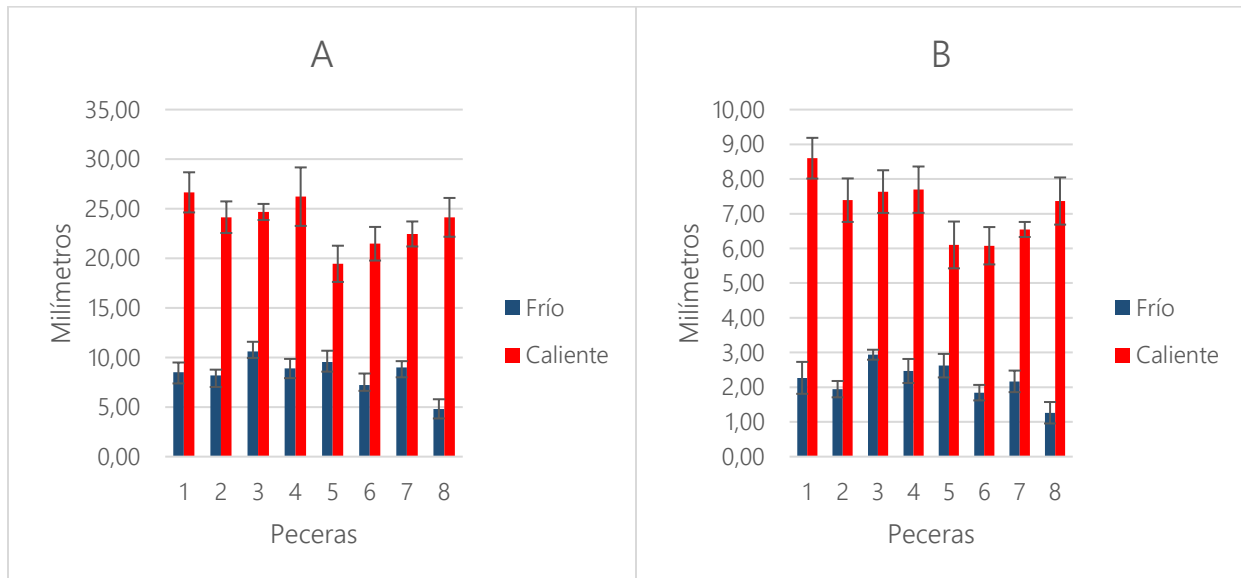


Figura 4. Incremento en el largo (A) y ancho (B) de los animales al final del experimento.

Tanto para el iLE como para el iAT, la repetición que presentó el menor incremento en cada caso para el tratamiento Caliente fue cercano al doble que aquella que presentó el mayor incremento para cada caso en el tratamiento Frío. Se observó un aumento en el tamaño corporal de los animales de 112,1% en Caliente y de 38,8% en Frío.

### Factor de condición K (FK)

La comparación entre los valores de FK iniciales y finales se presenta en la Figura 5. En esta se puede observar una diferencia mínima entre tratamientos y una disminución muy leve en la condición general de los animales.

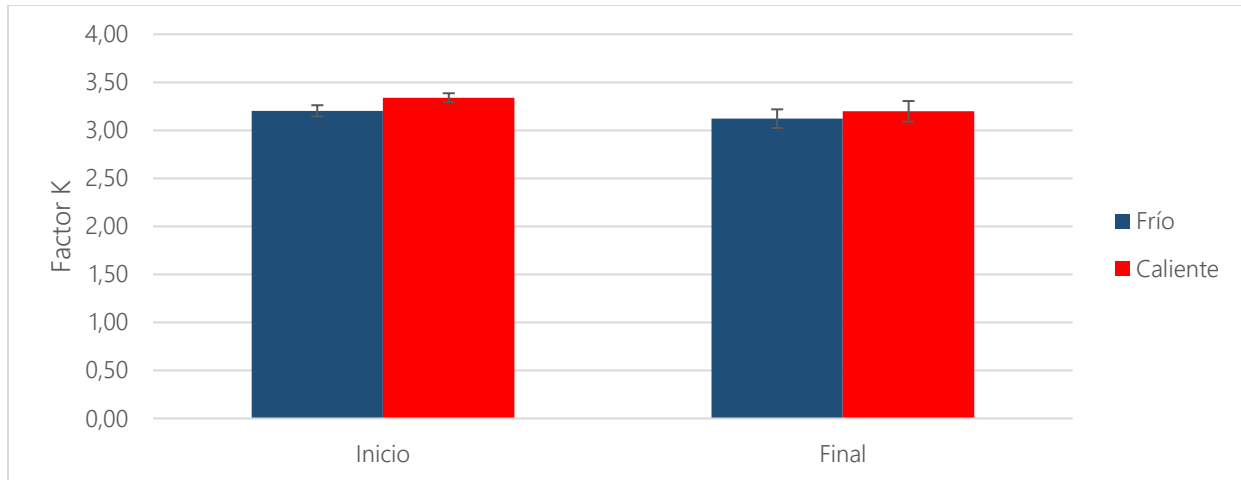


Figura 5. Factor de condición K al inicio y al final de la etapa experimental.

#### Tasa de crecimiento específico (TCE)

Con el fin de observar el cambio de la TCE a lo largo del periodo experimental, se calculó su valor en cada uno de los muestreos. De acuerdo con lo presentado en la Figura 6, la diferencia entre las tasas de crecimiento de los tratamientos se mantuvo constante a través de todos los períodos muestrales. Para ambos tratamientos se observó una tendencia de la TCE a disminuir con el tiempo.

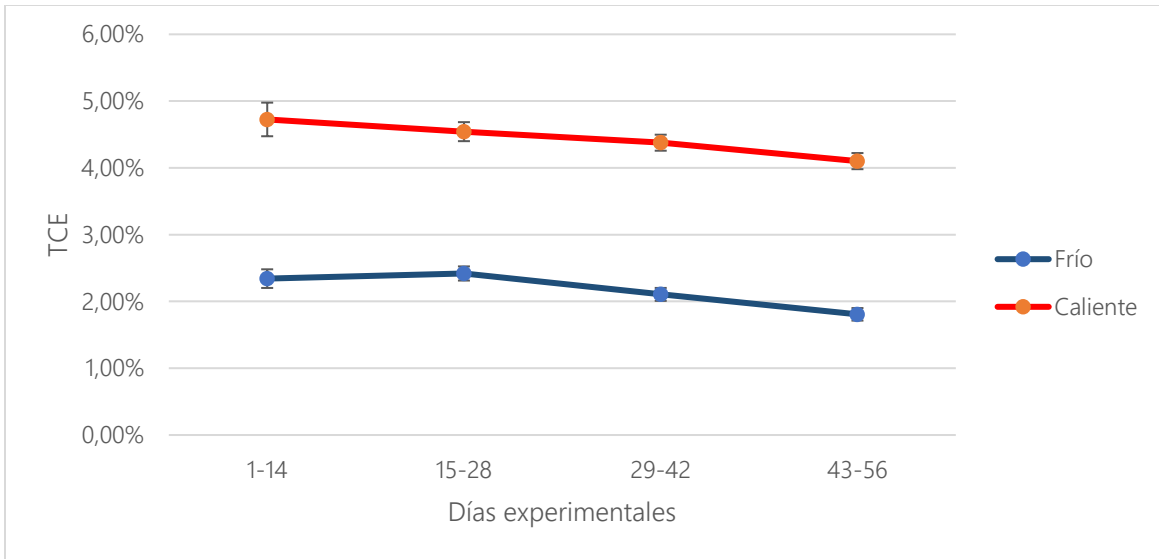


Figura 6. Datos de TCE obtenidos durante el periodo experimental.

#### Coefficiente térmico de crecimiento (CTC)

La diferencia entre los valores de CTC calculados en cada muestreo a lo largo del experimento se presenta en la Figura 7.

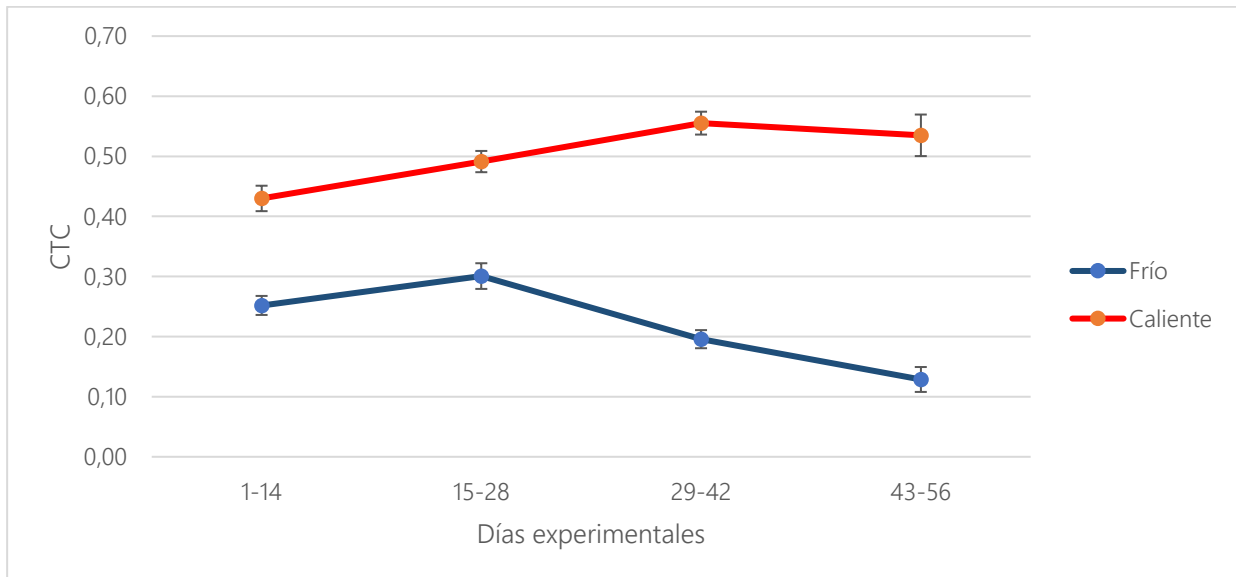


Figura 7. CTC obtenidos durante la fase experimental.

A diferencia de la TCE, los valores de CTC no disminuyeron desde el segundo período muestral. Sin embargo, posteriormente sí se observa una tendencia marcada a la baja desde el tercer período muestral para el tratamiento Frío. Mientras que, para el Caliente, esta disminución no fue tan marcada e inició hasta el cuarto período muestral. Esta diferencia entre los comportamientos de los índices de crecimiento posiblemente se debe a que el CTC considera los grados-días dentro de su cálculo.

#### Tasa de conversión alimenticia (FCR)

El FCR se calculó, según el tratamiento, en cada muestreo, con el fin de observar su comportamiento a lo largo del periodo experimental (Figura 8).

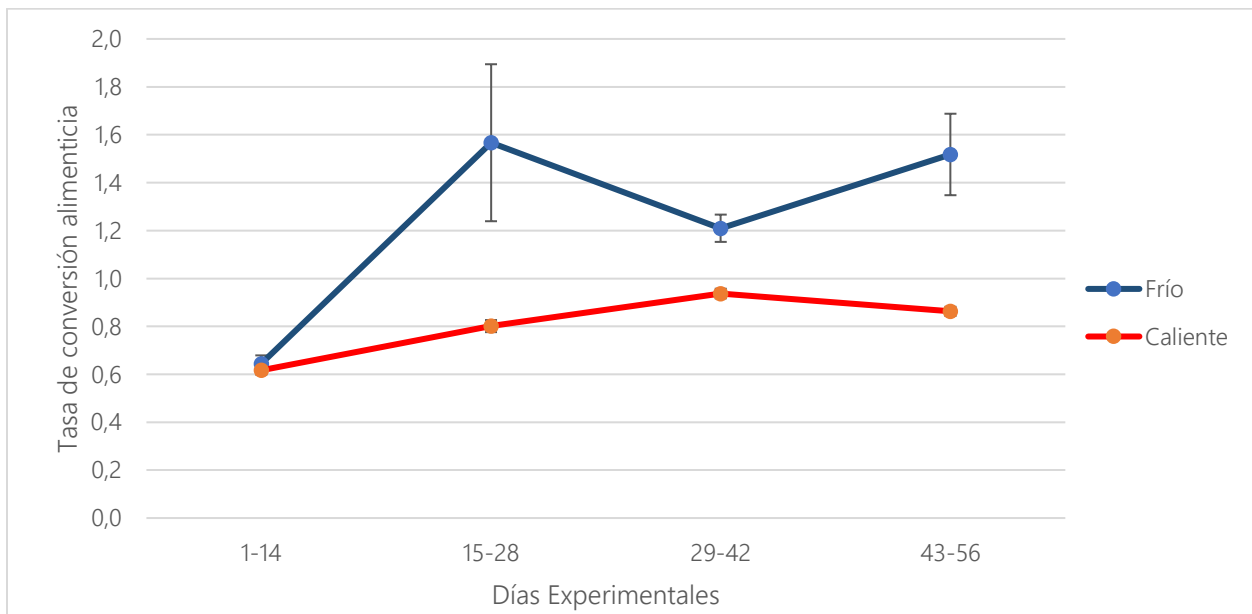


Figura 8. Datos de FCR obtenidos a lo largo del periodo experimental.

Los FCR de ambos tratamientos fueron similares para el primer período muestral y aumentaron a lo largo del experimento a partir del segundo periodo, tal y como se esperaba, aunque el tratamiento Frío generó un crecimiento más abrupto. En los períodos muestrales 2 y 4 se observa una mayor variabilidad en los datos para el tratamiento Frío, que fue cuando incrementó considerablemente el FCR con respecto a los otros períodos del mismo tratamiento y al Caliente en general. Cabe destacar



que los valores obtenidos en el presente experimento se encontraron siempre dentro del rango de 0,6 y 1,6.

### Tasa de eficiencia proteica (PER)

La tasa de eficiencia proteica se calculó en cada muestreo según el tratamiento, tal como se presenta en la Figura 9. En esta se observa un inicio muy similar entre tratamientos, pero se da una tendencia al incremento de la diferencia de la tasa conforme avanza el tiempo, aunque en ambos casos disminuye.

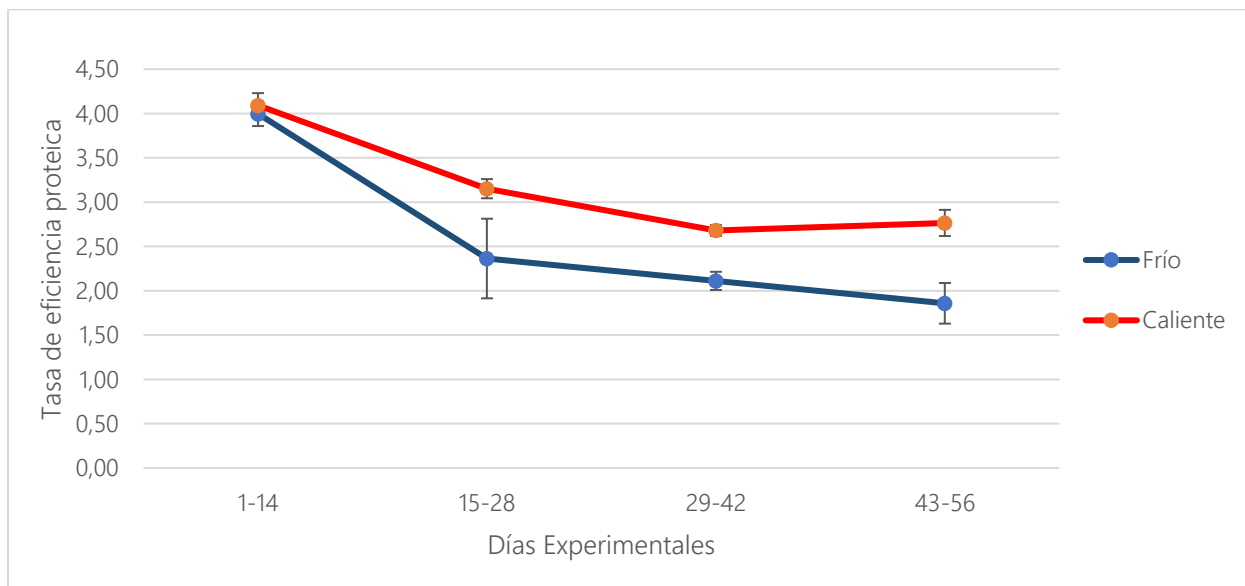


Figura 9. Datos de PER obtenidos a lo largo del periodo experimental.

Según los resultados, los animales del tratamiento Caliente tuvieron una mayor eficiencia en el uso de la proteína a lo largo de todo el experimento.

## DISCUSIÓN

La temperatura tuvo un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la mayor parte de las variables medidas de crecimiento en alevines de tilapia blanca; en especial, sobre la ganancia de peso, el incremento

en largo y ancho, el coeficiente térmico de crecimiento y la tasa específica de crecimiento; con excepción del factor de condición K. El registro de todas estas variables en sistemas acuícolas es importante, ya que se utilizan para proyectar con mayor precisión los requerimientos a través del tiempo y optimizar así la producción (El-Sherif y El-Feky, 2009).

De acuerdo con los resultados del presente estudio, no se encontraron diferencias significativas entre las medias de FK según el tratamiento (Cuadro 3). Además, por los valores observados, es posible asumir que los animales no sufrieron de estrés excesivo y que las condiciones fueron las adecuadas para su desarrollo.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son cercanos a los reportados por Castillo-Soto et al. (2015), quienes, utilizando alevines de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) con peso promedio de 2,97 g, compararon una temperatura de 27 °C con una de 23 °C en una prueba de dos meses de duración, y observaron mejoras en el consumo de los animales y mayores ganancias de peso con el tratamiento de mayor temperatura. No obstante, también observaron ganancias de peso mayores a las estimadas con el tratamiento de menor temperatura, lo que puede atribuirse a la dieta utilizada y la diferencia en el tamaño de los alevines tratados con agua fría en ambos experimentos. Estos autores señalan que una mayor concentración de nutrientes en la dieta no compensa la diferencia en el comportamiento productivo de las tilapias criadas en agua caliente y fría.

Por su parte, Dos-Santos et al. (2013) investigaron el efecto de tres temperaturas en el desarrollo de tilapia nilótica por un periodo de 120 días sin encontrar diferencias significativas entre 28 °C y 30 °C. Sin embargo, observaron ganancias de peso utilizando temperaturas de 22 °C, al igual que en el presente estudio.

Por otro lado, Said et al. (2020) probaron cuatro temperaturas (20°, 24°, 28° y 32 °C) con tilapia nilótica de 34 g de peso inicial por un periodo experimental de 8 semanas, y afirmaron un mayor desarrollo conforme aumentó la temperatura, con diferencias de hasta 120% en el peso entre el tratamiento de 20 y 28 °C. Este mayor crecimiento puede implicar una ventaja metabólica en los animales que se desarrollaron a 28 °C sobre el resto, pero no encontraron diferencias significativas entre los pesos a esta temperatura y a los 30 °C, por lo que se reportan los 28 °C como la temperatura ideal para alevines de tilapia nilótica.

Autores como Kaneshima-Gonzalez et al. (2022) observaron aumentos longitudinales de 2,20 y 1,26 cm a temperaturas de 25 y 21 °C, respectivamente, aplicadas a tilapias *O. niloticus* en distintas etapas de desarrollo, lo que concuerda con los resultados del presente estudio (Figura 4). Las tilapias que utilizaron fueron tratadas con agua caliente, alcanzando valores dos veces mayores a los encontrados en este experimento. Sin embargo, el peso inicial de los alevines contribuye a la diferencia en el crecimiento ya que, en el experimento, se aplicaron los tratamientos en peces de 6,03 g; por el contrario, los utilizados del presente estudio iniciaron de 0,31 g, por lo que se espera un crecimiento absoluto menor.

No obstante, el incremento porcentual total en peso, con relación al tamaño inicial en ambos experimentos, presenta valores de 32,1% a 25 °C y 17,9% a 21 °C, según Kaneshima-Gonzalez et al. (2022); y de 112,1% a 27 °C y 38,8% a 22 °C en esta investigación. Estas diferencias se asocian al tamaño de los peces, ya que animales más pequeños tienen una mayor tasa metabólica y mayor potencial de crecimiento (Kaneshima-Gonzalez et al., 2022; Said et al., 2020).

La diferencia entre los tratamientos fue mucho mayor en la presente prueba, siendo el crecimiento en el tratamiento Caliente 1,8 veces y 2,9 veces mayor que en el Frío para el ensayo de Kaneshima-Gonzalez (2022) y la presente prueba, respectivamente.

La TCE es un indicador utilizado de forma general en la industria, ya que se calcula fácilmente y permite comparar valores, principalmente en las mismas fases de crecimiento. Esta tasa depende de muchas variables internas, como el sexo, la edad y la genética de los animales; y otras externas, como el consumo del alimento, la calidad del agua, la densidad de la siembra, la composición del alimento y la temperatura del agua (Abdel-Aziz et al., 2021; Abdel-Fattah et al., 2021; Kembanya y Ondiba, 2021; Bombardelli et al., 2017; Genschick et al., 2021).

Los valores de TCE iniciales fueron de 4,73% (Figura 6), lo que coincide con lo reportado por Cadorin et al. (2021) y Malik-Daudpota et al. (2014), que registraron valores de 4,7% y 4,2% en alevines de *O. niloticus* con un peso inicial de 6,5 y 5,8 g, respectivamente. Por su parte, Kaneshima-Gonzalez et al. (2022) obtuvieron tasas de 0,98% y 0,63% con unas TCE que fueron considerablemente menores a las encontradas en el presente experimento; posiblemente por las bajas temperaturas y la dieta, ya

que contenían un 5% menos de proteína. Por otra parte, Villafuerte-Vega (2014) reportó unas TCE de 2,09% y 2,68% a 24 °C y 25-28 °C, respectivamente. Además, reporta valores cercanos a los de este experimento. En ambos casos las temperaturas calientes favorecieron significativamente el desarrollo de los animales.

Las tilapias tienen una capacidad reducida para controlar su temperatura corporal misma que afecta su crecimiento y metabolismo (Shizari, 2020). Por esta razón, el control de la temperatura ambiental y del crecimiento de los animales es indispensable para optimizar la producción.

Al contrastar los resultados con diversas investigaciones, se observa una amplia variabilidad de la tasa calculada, reportándose datos de tasas muy bajas como lo son 0,089 a 28 °C (Barreto-Curiel et al., 2015) y 0,092 a 26 - 27 °C (Nole-Altamiza y Herrera-Calderón, 2016). Por otra parte, también hay autores que presentaron datos de hasta 3,45 de 25,1 a 26,9 °C (Arce-Vega, 2014) y 1,99 de 24 a 32 °C (Salazar-Murillo et al., 2023). Por esta razón, se intentaron ajustar los valores reportados en literatura a la fórmula utilizada en el presente estudio y eliminar en la medida de lo posible la presencia de un factor multiplicador de la variable, con el fin de poder comparar los datos de forma directa.

A pesar de esto, al utilizar dichos datos en modelos de predicciones, los resultados que se presentan son biológicamente improbables en el caso de los valores mayores, ya que resultarían en ganancias de peso excesivamente altas en periodos de tiempo muy cortos (El-Sherif y El-Feky, 2009; Genschick et al., 2021). Por otra parte, los datos menores solo se lograrían en caso de utilizar temperaturas lo suficientemente bajas como para detener la tasa metabólica, lo que induciría a una mortalidad elevada (Dos-Santos et al., 2013; Mirea et al., 2013). Esto lleva a pensar que dichos errores podrían estar asociados, de forma más probable, a un error de cálculo o de aplicación de la fórmula, ya que dichos resultados no concuerdan con las temperaturas reportadas en cada estudio.

A pesar de la gran diferencia de las tasas, si se analiza el comportamiento entre los tratamientos para cada experimento, se resalta un patrón en el cual los tratamientos de agua caliente poseen mayores CTC que sus respectivos tratamientos de agua Fría. Tomando esto en cuenta, el comportamiento de los resultados concuerda con lo observado por Balkew-Workagegn (2012) y

Mirea et al. (2013), los cuales observaron disminuciones en el crecimiento de alevines de tilapia conforme la temperatura en el experimento bajó de 28 a 24 °C.

Durante el presente experimento se dio una disminución del CTC de forma más gradual en el tratamiento Frío y más marcada en el Caliente (Figura 7). En ambos casos, estos resultados pueden explicarse debido a que el enfriamiento del agua desacelera el crecimiento porque los animales pueden metabolizar de forma parcial los nutrientes de la dieta, aunado a que requieren una menor cantidad de energía (Genschick et al., 2021). No obstante, un incremento de la temperatura permite un aumento en la eficiencia de digestión y metabolismo, tanto para crecimiento del músculo, como depósito de grasa (Medina, 2018).

La variedad de tilapia "Rocky Mountain" ha demostrado tener las mismas limitaciones en el crecimiento en bajas temperaturas. Por ende, se contradice la creencia popular de tener un mejor desempeño en producción que otras líneas genéticas en bajas temperaturas (Salazar-Bustos et al., 2017).

La mortalidad total del experimento fue baja, solamente el 4,4% de la población (Cuadro 4). Paradójicamente, una desventaja que presenta la baja o ausente mortalidad en la producción es la falta de una alerta para los productores, ya que, si no se lleva un registro o control de pesos, los animales podrían mantenerse en los sistemas por períodos excesivamente largos. Durante este período, los peces siguen alimentándose y consumiendo recursos, pero, al no presentar ganancias de peso adecuadas, se generan ineficiencias productivas que se traducen en pérdidas económicas con el tiempo (Ma et al., 2015).

Cuando se genera mortalidad puntual debido a un problema con algún parámetro, como, por ejemplo, una elevación de compuestos nitrogenados tóxicos en el agua, la mortalidad atípica y evidente actúa como una alarma. De esta manera el productor logra detectar la necesidad de hacer análisis para encontrar los problemas en el sistema y evitar que incremente dicha mortalidad (Zeitoun et al., 2016). Sin embargo, bajo temperaturas sub-óptimas, no necesariamente se presenta mortalidad y el productor no detectaría el problema. Lo que ocurre en el caso de las tilapias en temperaturas de 22 °C es el desperdicio de recursos que no se detectaría por la falta de una alarma, ya sea por mortalidad gradual o por registros de control de peso (Mayorga, 2012).

De acuerdo con el análisis estadístico obtenido en el presente estudio, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el FCR de cada tratamiento (Cuadro 1), siendo este más bajo para el tratamiento Caliente (Figura 8). Ambos tratamientos presentaron valores similares al inicio del experimento y aumentaron con el paso del tiempo. Sin embargo, el incremento del Frío fue más abrupto a partir del segundo periodo. La diferencia principal entre tratamientos puede atribuirse a una disminución de la tasa metabólica observada con el tratamiento Frío de Castillo-Soto et al. (2015).

Autores como Fry et al. (2018) reportan valores de FCR dentro de un rango de 1,4 a 2,4 en alevines de tilapia, mientras que Khalafalla et al. (2020) encontraron valores entre 2,1 y 2,7 en tilapias de 40 y 50 g. Por otro lado, Zumbado-Salas et al. (2022), utilizando alevines de 1,7 g en una prueba de 46 días, y Campos-Mas (2023), con animales de 5 g en una prueba de 56 días, encontraron valores de 1 o menores en fases tempranas del desarrollo. Esto concuerda con lo observado en el presente estudio, donde se utilizaron alevines aún más pequeños.

La diferencia entre los valores de FCR obtenidos no puede ser compensada con los nutrientes en la dieta, ya que, según Castillo-Soto et al. (2015), no existe una interacción entre la temperatura del agua y la densidad de nutrientes que afecte este parámetro. En este estudio, los animales de ambos tratamientos tuvieron a disposición la misma cantidad de alimento con respecto al peso vivo. Sin embargo, debido a que la temperatura caliente favorece la tasa metabólica de los animales, fueron más eficientes en la conversión de alimento en músculo, lo que puede relacionarse con los resultados reportados por Khalafalla et al. (2020) y Fry et al. (2018).

Los resultados del presente estudio para la variable de PER son similares a los reportados por Ma et al. (2015), quienes calcularon los valores de PER con tres temperaturas (22, 28 y 34 °C) y observaron mejores resultados con la condición térmica media. Temperaturas mayores y cercanas al óptimo para la especie aumentan el consumo de alimento, así como la eficiencia intestinal para la digestión y absorción de nutrientes. No obstante, temperaturas muy elevadas, como 34 °C, son contraproducentes.

A lo largo del período experimental, el tratamiento Caliente resultó en un mayor aprovechamiento de la proteína, lo que pudo deberse a una combinación del aumento de alimento consumido y un incremento de la proteína metabolizable disponible. Aunado a esto, el estímulo metabólico producido por este tratamiento genera un proceso de transformación del alimento en músculo más eficiente (Medina, 2018). El metabolismo y bienestar de estos animales puede verse afectado por la temperatura del agua, ya que ambientes más calientes aceleran su metabolismo basal y crecimiento, mientras que las frías los desaceleran y aumentan el requerimiento relativo de proteína dietética (Shizari, 2020).

Las tilapias tienen la capacidad de utilizar la proteína dietética como fuente de energía metabólica, lo que podría resultar en una deficiencia proteica cuando la energía disponible no cubre los requerimientos de los animales, misma que puede verse afectada directamente por la temperatura ambiental (Konnert et al., 2022; Castillo-Soto et al., 2015; Malik-Daudpota et al., 2014). Por otro lado, la relación ideal entre proteína y energía reportada en la literatura es de 84-105 g PD/Mcal ED (NRC, 2011). El alimento ofrecido presentó una relación de 91,04 g PD/Mcal ED, por lo que se considera que este no afectó negativamente el crecimiento de los animales por un desbalance nutricional.

La temperatura del agua tiene un impacto sobre el metabolismo del animal. Por ende, esta afecta el crecimiento de músculo y órganos de los peces, la deposición de grasa como energía no utilizada, el índice viscerosomático y la relación cabeza-cuerpo. En el presente estudio, el tratamiento Caliente resultó en vísceras más pesadas (Cuadro 4); lo que es esperado según los resultados de Afram et al. (2021), quienes reportan valores de 7,4% a 9,3% en tilapias alimentadas a 28 °C. Ambos tratamientos en dicho ensayo se aplicaron con la misma temperatura, por lo que se puede asumir que el cambio se da por la diferencia en las dietas aplicadas.

El tratamiento Frío también resultó en un mayor porcentaje del tamaño de la cabeza con respecto al cuerpo (Cuadro 4), lo que puede ser atribuido al desarrollo natural del pez, ya que animales más jóvenes tienen una cabeza más grande en comparación a su cuerpo. Esta temperatura retrasa el desarrollo corporal de los peces, por lo que conservan la condición corporal de las etapas tempranas de alevinajes (Rodríguez de Souza et al., 2015; Vandeputte et al., 2019).

Estas dos variables comparan partes del cuerpo del pez que no suelen consumirse comúnmente, por lo que permiten tener una idea de la proporción disponible para consumo en el mercado y dan una idea de la eficiencia de la conversión de la dieta en productos comercializables de mayor valor. De igual forma, un mayor peso de las vísceras en relación con el cuerpo implica una menor producción de músculo. Sin embargo, estas podrían utilizarse en la producción de harina de pescado, utilizada en alimentos acuícolas (Suarez et al., 2018).

En producciones acuícolas, el costo energético de mantener la temperatura del agua estable depende de factores como la salinidad, la temperatura del ambiente exterior, la densidad de población y si es un sistema de recirculación cerrado o un estanque abierto. Algunos de estos factores también dependen de la exposición solar, ya que aporta un cierto nivel de energía (Martínez y Valencia, 2016). Es posible trabajar en el diseño de infraestructura que optimice la conservación de calor en los espacios cerrados y maximice el uso de los recursos naturales disponibles, para disminuir la factura eléctrica.

Durante el proceso de calentamiento del agua, el cálculo de la variación de la energía de un sistema se realiza utilizando la ecuación en la que el calentamiento es igual a la diferencia entre la energía que ingresa y la que sale del sistema. Esta ecuación debe tomar en cuenta la radiación solar y pérdidas de energía por evaporación, radiación, convección y conducción (Espín-Padilla y Jurado-Olalla, 2019). Este balance permite calcular la demanda total de calor para mantener la temperatura en cierto volumen de agua y, con este dato, seleccionar el tipo de sistema de termorregulación que permita el mejor aprovechamiento del calor. Otro método para elegir el tipo de sistema es el análisis de costos, de implementación y mantenimiento, de forma que se conozca si el costo económico que implica el sistema de calentamiento es económicamente viable para el proyecto (Martínez y Valencia, 2016; Espín-Padilla y Jurado-Olalla, 2019; Garnica-Delgado, 2017).

Después de elegir el sistema a utilizar, es necesario establecer una rutina de mantenimiento que puede realizarse después de la cosecha de los animales, cuando el sistema térmico no tenga que estar encendido. Estos sistemas son formas de optimizar la producción acuícola en zonas en las que



la temperatura del agua esté por debajo de los 27-28 °C, temperatura considerada óptima para tilapia (Martínez y Valencia, 2016).

## CONSIDERACIONES FINALES

La tilapia variedad "Rocky Mountain" sufrió un efecto negativo considerable en magnitud y altamente significativo en sus indicadores de crecimiento y eficiencia al desarrollarse en un medio con una temperatura 5 grados menor a la considerada como óptima (22 °C vs. 27 °C). Si se comparan los datos obtenidos en el presente ensayo con la literatura, es difícil sostener la hipótesis que señala que la tilapia blanca se desempeña mejor, o inclusive sufre en menor medida, que otras especies de tilapia en temperaturas menores a la óptima.

El efecto observado sobre el crecimiento de las tilapias del tratamiento Frío se podría atribuir, en gran parte, a una disminución del metabolismo de los animales y sus requerimientos de mantenimiento y crecimiento. Aunque esto no fue directamente medido en el experimento, se infiere por la buena condición corporal de los animales con ambos tratamientos durante todo el período experimental.

La mortalidad no se vio afectada por la diferencia en temperaturas ensayada, lo que es un aspecto importante por considerar en sistemas de producción comercial. Por tanto, esto puede limitar la percepción de los productores en cuanto al desempeño real de los animales e invertir tiempo y recursos en un sistema poco eficiente.

Es posible la producción de tilapia en zonas no convencionales u óptimas para su desarrollo. Sin embargo, se deben mantener los parámetros del agua dentro de los rangos óptimos para el crecimiento eficiente de los animales. Para lograr mantener estos parámetros, cada sistema tiene un costo asociado a la diferencia entre las características propias del agua de la zona y las requeridas para la producción de tilapia. De esta manera, se determinará en gran medida la viabilidad económica de la producción.

Si bien en el presente estudio no se evidencia un mejor desempeño zootécnico del híbrido Rocky Mountain a bajas temperaturas, se recomienda realizar estudios que puedan determinar si existe una mejor respuesta a desafíos inmunitarios por parte de este híbrido y bajo estas condiciones. Además, se podría incluir la medición de actividad metabólica en futuros experimentos sobre el efecto de la temperatura en el desempeño de los animales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean extender un agradecimiento a la Estación Experimental Alfredo Volio Mata; unidad perteneciente a la Universidad de Costa Rica. Su apoyo permitió la concreción del presente trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Abdel-Aziz, M. F. A., H. U. Hassan, A. M. Yones, Y. A. Abdel-Tawwab y A. A. Abdel-Tawwab Metwalli. 2021. Assessing the effect of different feeding frequencies combined with stocking density, initial weight, and dietary protein ratio on the growth performance of tilapia, catfish and carp. *Scientific African*, 12: e00806. doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00806
- Abdel-Fattah, A. F., F. A. Ahmed, E. N. Said y M. R. Farag. 2021. Impact of feeding system on the behaviour and performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 538: 736514. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736514
- Abdel-Tawwab, M. y M. Wafeek. 2014. Influence of water temperature and waterborne cadmium toxicity on growth performance and metallothionein-cadmium distribution in different organs of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Thermal Biology*, 45: 157-162. doi: 10.1016/j.jtherbio.2014.09.002
- Afram, F., N. W. Agbo, D. Adjei-Boateng y H. Eгна. 2021. Effects of Feeding Strategies on Growth Performance and Economic Returns on the Production of Nile Tilapia (*Oreochromis*

*niloticus*) in Fertilized Ponds. *Aquaculture Studies*, 21 (2): 63-73. doi: 10.4194/2618-6381-v21\_2\_03

Arce-Vega, 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.

Balkew-Workagegn, K. 2012. Evaluation of growth performance, feed utilization efficiency and survival rate of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (*Linnaeus*, 1758) at different water temperatures. *International Journal of Aquaculture*, 2 (9): 59-64. doi: 10.5376/ija.2012.02.0009

Barreto-Curiel, F., E. Durazo y M. T. Viana. 2015. Crecimiento, excreción de amonio y consumo de oxígeno de la tilapia híbrida roja (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis aureus*) cultivada en agua de mar y en agua dulce. *Ciencias Marinas*, 41 (3): 247-254. doi: 10.7773/cm.v41i3.2526

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

Cadorin, D. I., M. F. O. da Silva, K. Masagounde, y D. M. Fracalossi. 2021. Interaction of feeding frequency and feeding rate on growth, nutrient utilization, and plasma metabolites of juvenile genetically improved farmed Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53 (2): 500-515. doi: 10.1111/jwas.12833

Campos-Mas, M. 2023. Efecto de la tasa alimentación y del uso de dos alimentos comerciales sobre el desarrollo de la tilapia (*Oreochromis aureus*) durante la fase inicial de crecimiento. Tesis Lic., Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Castillo-Soto, W., C. Lombardi-Pérez y R. Macedo-Macedo. 2015. Adaptabilidad de la tilapia, *Oreochromis niloticus*, sometida a dietas con alta densidad de nutrientes y diferentes

- temperaturas del agua en la costa de la región La Libertad, Perú. *Pueblo Continente*, 25 (1): 137-141. <http://journal.upao.edu.pe/PuebloContinente/article/view/82/81>
- Chowdhury, M. A. K., S. Siddiqui, K. Hua, D. P. Bureau. 2013. Bioenergetics-based factorial model to determine feed requirement and waste output of tilapia produced under commercial conditions. *Aquaculture*, 410-411: 138-147. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.06.030
- DAASIRE (Dirección de Alimentos para Animales del Servicio Nacional de Salud Animal). 2022. *Consulta oficial de registros*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://sis.senasa.go.cr/daasire> (Consultado 6 mar, 2023).
- Dos-Santos, V. B, A. M. Edson y M. Dal Pai Silva. 2013. Growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperatures. *Acta Scientiarum. Animal Sciences Maringá*, 35 (3): 235-242. doi: 10.4025/actascianimsci.v35i3.19443
- El-Hack, M., El-Saadony, M., Nader, M., Salem, H., El-Tahan, A., Soliman, S., & Khafaga, A. 2022. Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66 (11): 2183-2194. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>
- El-Sherif, M.S. y M.I. El-Feky. 2009. Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. II. Influence of different water temperatures. *International Journal Agriculture & Biology*, 11 (3): 1814-19596. [https://www.fspublishers.org/Issue.php?no\\_download=published\\_papers/53809\\_..pdf&issue\\_id=1180](https://www.fspublishers.org/Issue.php?no_download=published_papers/53809_..pdf&issue_id=1180)
- Espín-Padilla, J. C. y J. V. Jurado-Olalla. 2019. Diseño y construcción de un sistema térmico industrial que regule automáticamente la temperatura y aireación del agua, para un estanque de cultivo de tilapias ubicado en la Finca Experimental "La María" de la UTEQ". Tesis Lic., Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. <https://www.fao.org/publications/sofia/2020/en/> (Consultado 6 mar, 2023).

- Fry, J. P., N. A. Mailloux, D. C. Love, M. C. Mili y L. Cao. 2018. Feed conversion efficiency in aquaculture: ¿do we measure it correctly? *Environmental Research Letters*, 13 (2): 024017. doi: 10.1088/1748-9326/aaa273
- Garnica-Delgado, F. 2017. Rediseño del sistema térmico para la producción de nauplios de camarón Tesis Bach., Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.
- Genschick, S., W. Mekaway, C. Rossignoli y J. A. H. Benzie. 2021. Growth performance of three strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on four different feeds in Western and Central Kenya. *Aquaculture Reports*, 20: 100701. doi: 10.1016/j.aqrep.2021.100701.
- IBM (International Business Machines Corporation). 2017. Statistical Package for the Social Sciences (Versión 25.0) [Software de computador]. International Business Machines Corporation. <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>
- Kaneshima-Gonzalez, K., K. N. De la Cruz-Barrueto, M. A. Ponciano-Quezada, N. Toledo-Meza y Z. G. Culquichicón-Malpica. 2022. Efecto de la temperatura en el crecimiento de juveniles de *Oreochromis niloticus* tilapia en un sistema de recambio acuícola (RAS). *Manglar*, 19 (1): 39-44. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/download/299/424>
- Kembenya, E. M. y R. N. Ondiba. 2021. Growth performance of male monosex and mixed sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) reared in cages, Lake Victoria, Kenya. *International Aquatic Research*, 13 (3): 227–232. doi: 10.22034/IAR.2021.1931627.1164
- Khalafalla, M. M., S. A. Ibrahim, M. M. Zyed, M. N. Awad y R. A. Mohamed. 2020. Effect of a dietary mixture of beneficial bacteria on growth performance, health condition, chemical composition, and water quality of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29 (8): 823-835. doi: 10.1080/10498850.2020.1764685
- Konnert, G. D. P., E. Martin, W. J. J. Gerrits, S. W. S. Gussekloo, K. Masagounder, J. Mas-Muñoz y J. W. Schrama. 2022. Interactive effects of protein and energy intake on nutrient partitioning and growth in Nile tilapia. *Animal*, 16 (4): 100494. doi: 10.1016/j.animal.2022.100494

- 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. doi: 10.1111/raq.12071
- Ma, X. Y., J. Qiang, J. He, N. Gabriel y P. Xu. 2015. Changes in the physiological parameters, fatty acid metabolism, and SCD activity and expression in juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared at three different temperatures. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41 (4): 937-950. doi: 10.1007/s10695-015-0059-4
- Malik-Daudpota, A., P. J. A. Siddiqui, G. Abbas, N. Tariq Narejo, S. S. A. Shah, S. Khan y G. Dastagir. 2014. Effect of Dietary Protein Level on Growth Performance, Protein Utilization and Body. *International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies*, 2 (2): 135-147. [https://www.researchgate.net/publication/276273338\\_Effect\\_of\\_Dietary\\_Protein\\_Level\\_on\\_Growth\\_Performance\\_Protein\\_Utilization\\_and\\_Body\\_Composition\\_of\\_Nile\\_Tilapia\\_Cultured\\_in\\_Low\\_Salinity\\_Water](https://www.researchgate.net/publication/276273338_Effect_of_Dietary_Protein_Level_on_Growth_Performance_Protein_Utilization_and_Body_Composition_of_Nile_Tilapia_Cultured_in_Low_Salinity_Water)
- Martínez, C., y M. Valencia. 2016. Viabilidad y factibilidad de una empresa piscícola en el municipio de Dosquebradas, Risaralda. Tesis Grado., Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Risaralda, Colombia.
- Mayorga, F. 2012. Carta Nacional Acuícola. Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5249902&fecha=06/06/2012](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5249902&fecha=06/06/2012)
- Medina, E. 2018. Caracterización fisiológica y metabólica de la tilapia tetra híbrida Pargo UNAM a diferentes temperaturas y salinidades de aclimatación. Tesis Ph.D., Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Estados Unidos.
- Mirea, C., V. Cristea, I. R. Grecu y L. Dediu. 2013. Influence of different water temperature on intensive growth performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758 in a recirculating aquaculture system. *Lucrări Științifice-Seria Zootehnie*, 60: 227-231. [https://uaiasi.ro/firaa/Pdf/Pdf\\_Vol\\_60/Catalina\\_Mirea2.pdf](https://uaiasi.ro/firaa/Pdf/Pdf_Vol_60/Catalina_Mirea2.pdf)

- Nguyen, N. 2015. Genetic improvement for important farmed aquaculture species with a reference to carp, tilapia and prawns in Asia: achievements, lessons and challenges. *Fish And Fisheries*, 17(2): 483-506. <https://doi.org/10.1111/faf.12122>
- Nole-Altamiza, J. H. y R. Herrera-Calderón. 2016. Evaluación del fotoperiodo en el crecimiento y parámetros productivos del cultivo de alevines de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Tesis Grado. Universidad Nacional del Callao. Bellavista, Perú.
- Noyola, J., M. Mascaró, C. Caamal-Monsreal, E. Noreña-Barroso, F. Díaz, D. Re, A. Sánchez y C. Rosas. 2015. Effect of temperature on energetic balance and fatty acid composition of early juveniles of *Octopus maya*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 445: 156-166. doi: 10.1016/j.jembe.2013.04.008
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington DC. doi: 10.17226/13039.
- Núñez, H., R. Vargas, I. Guerra y E. Ramos. 2021. Efecto de la temperatura sobre el consumo de oxígeno en tilapias del Nilo con diferentes fenotipos de comportamiento. *Revista Científica CENTROS*, 10 (2): 1-18. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/centros/article/view/2245/2078>
- Peña-Navarro, N. y J. Chacón-Guzmán. 2019. Acuicultura en Costa Rica. *World Aquaculture*, 50 (2): 23-25. <https://parquemarino.org/wp-content/uploads/2020/01/AcuiculturaenCostaRica.pdf>
- Prabu, E., C. B. T. Rajagopalsamy, B. Ahilan, J. M. Andro Jeevagan y M. Renuhadevi. 2019. Tilapia – An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review. *Annual Research & Review in Biology*, 31 (3): 1-14. doi: 10.9734/ARRB/2019/v31i330052
- 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 methane sulfonate, 2-phenoxyethanol and eugenol for laboratory managements in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals*, 11 (6): 1521. doi: 10.3390/ani11061521

- Rodríguez de Souza, M. L., E. M. Macedo-Viegas, J. A. Sampaio Zuanon, M. R., Barbieri de Carvalho y E. S. dos Reis Goes. 2015. Processing yield and chemical composition of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) with regard to body weight. *Acta Scientiarum Maringá*, 37 (2): 103-108. doi: 10.4025/actascianimsci.v37i2.24165
- Said, E. N., F. A. A. Ahmed, A. S. Y. Saleem, H. H. Mohammed, M. Y. Youssef y A. F. A. Fattah. 2020. Behavioural response, welfare, and performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under different water temperatures. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8 (4): 1-11. <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2020/vol8issue4/PartA/8-4-1-832.pdf>
- Salazar-Bustos, M., E. Sosa-Montes, L. Montaoya-Venegas, A. R. Gómez-S., E. R. Gómez, G. García-Uriza y S. Carrillo-Domínguez. 2017. Mejoramiento de la dieta de tilapia (*Oreochromis niloticus* rocky mountain var. *white*) con aceite de soya, para aumentar calidad de la canal, en zonas rurales de México. En: Pérez-Soto, F., Figueroa-Hernández, E., Godínez-Montoya, L., Rocha-Quiroz, J, editores. *Ciencias de la Química y Agronomía*, ECORFAN, México.
- Salazar-Murillo, L., A. Chacón-Villalobos y J. I. Herrera-Muñoz. 2023. Crecimiento, eficiencia y composición de tilapia (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia fetida*). *Nutrición Animal Tropical*, 17 (1): 1-35. doi: 10.15517/nat.v17i1.54085
- Santos, V. B. D., E. A. Mareco, M. Dal Pai Silva. 2013. Growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperatures. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 35: 235-242.
- Shizari, F. N. 2020. Modelling nutrient requirements of Rainbow Trout and Nile Tilapia over their life cycle. Tesis Ph.D., University of Guelph, Guelph, Canada. <http://hdl.handle.net/10214/17767>
- Suarez, L. M., J. R. Montes y J. E. Zapata. 2018. Optimización del contenido de ácidos en ensilados de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) con análisis del ciclo de vida de los alimentos derivados. *Información Tecnológica*, 29 (6): 83-94. doi: 10.4067/S0718-07642018000600083



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

Villafuerte-Vega, S. N. 2014. Evaluación del efecto de la temperatura en el desarrollo de la tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) en etapa juvenil y determinación del costo de su producción. Tesis Bach, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2881?show=full>

Zeitoun, M. M., K. E. M. El-Azrak, M. A. Zaki, B. R. Nemat-Allah y E. E. Mehana. 2016. Effects of ammonia toxicity on growth performance, cortisol, glucose and hematological response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aceh journal of animal science*, 1 (1): 21-28. doi: 10.13170/ajas.1.1.4077

Zumbado-Salas, A., A. Chacón-Villalobos y J. I. Herrera-Muñoz. 2022. Efecto sobre parámetros zootécnicos y composición tisular de tilapia aurea (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia foetida*). *Nutrición Animal Tropical*, 16 (2): 1-34. doi: 10.15517/nat.v16i2.52231