



**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN  
CAMPUS LOMA BONITA**



**INGENIERÍA EN ACUICULTURA**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, ECONÓMICO Y  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis  
niloticus*) CULTIVADA BAJO DIFERENTES REGÍMENES  
ALIMENTICIOS.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ACUICULTURA**

**PRESENTA:**

**BERENICE CHAREO BENITEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. JUAN PABLO ALCÁNTAR VÁZQUEZ**

Loma Bonita, Oaxaca, octubre de 2022



# Universidad del Papaloapan

FECHA:	29 de septiembre del 2022
ÁREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/188/2022
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.

**C. BERENICE CHAREO BENITEZ**

**PRESENTE:**

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“Evaluación del desempeño productivo, económico y composición química de la tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes alimenticios”** así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. Juan Pablo Alcantar Vázquez.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente.  
terra ubérrima, mens aperta  
Bou Lo-tama, chi jí jú



  
MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA  
Vice-Rector Académico.

**VICE-RECTORIA  
ACADEMICA**

C.c.p. M.C. Raúl Moreno de la Torre Jefe de Carrera de la Ingeniería en Acuicultura  
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares  
C.c.p. Dr. Juan Pablo Alcantar Vázquez. Director de tesis.  
C.c.p. Archivo.

**OAXACA**

Campus Loma Bonita  
Av. Ferrocarril S/N, Col. Ciudad Universitaria, Loma Bonita, Oaxaca C.P. 68400  
Tel/Fax: 01 281 872 92 30

[www.unpa.edu.mx](http://www.unpa.edu.mx)

Campus Tlaxtepec  
Círculo Central N° 200, Col. Parque Industrial C.P. 68301  
Tel/Fax: 01 281 875 9240



# Universidad del Papaloapan

*Terra Uberrima, Mens Aperta*



**CLAVE: 20ESU3001N**

**Oficio No. JCIA/042/22**

Loma Bonita, Oax., a 03 de octubre de 2022

**Asunto:** Jurado de Examen profesional

**M. E. YESENIA BARRIENTOS ARENAL**  
**JEFAD DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**  
**P R E S E N T E**

Por medio del presente, informo a usted la conformación del Jurado del Examen Profesional de la C. **BERENICE CHAREO BENITEZ** (número de matrícula **17040124**), egresada de la Carrera de **INGENIERÍA EN ACUICULTURA** de la Universidad del Papaloapan:

Dra. Ma Teresa Kido Cruz	Presidenta del Jurado
Dr. Marco Antonio Anzuetto Sánchez	Secretario del Jurado
Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez	Vocal del Jurado
Dra. Martha Elena Aguilera Morales	Primera suplente del Jurado
Dr. José Manuel Juárez Barrientos	Segundo suplente del Jurado

Sin otro asunto en particular y agradeciendo su atención a la presente, le envío un cordial saludo.

**Atentamente:**

*terra uberrima, mens aperta*  
*Bou Lo-tama chí jí jú*



**M. C. Raúl Moreno de la Torre**  
Jefe de la Carrera de Ingeniería en Acuicultura

**Vo. Bo. M. C. Héctor López Arjona**  
Vice-Rector Académico

Original. M. E. Yesenia Barrientos Arenal.- Jefa del Depto. de Servicios Escolares.  
C.c.p. M. C. Héctor López Arjona.- Vice-Rector Académico.  
C.c.p. Dra. Ma Teresa Kido Cruz.- Presidenta del Jurado.- Para su conocimiento.  
C.c.p. Dr. Marco Antonio Anzuetto Sánchez.- Secretario del Jurado.- M/fin.  
C.c.p. Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez.-Vocal del Jurado.- M/fin.  
C.c.p. Dra. Martha Elena Aguilera Morales.- Primera suplente del Jurado.- M/fin.  
C.c.p. Dr. José Manuel Juárez Barrientos.- Segundo suplente del Jurado.- M/fin.  
C.c.p. C. Berenice Chareo Benitez.- Sustentante. M/fin.  
C.c.p. Archivo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por guiarme a lo largo de este camino y permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres, Ofelia Benítez Conde y Miqueas Chareo Zetina, por el apoyo que me brindaron y, aún más, por todo su amor incondicional.

A Luis Felipe, que ha sido mi mejor amigo; me ha acompañado a lo largo de este camino, apoyado, dado consejos, ánimo y nunca me dejó sola.

A mi director de tesis, el Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez quien además de darme la oportunidad de trabajar bajo su dirección y desarrollar el presente trabajo, me ha brindado consejos, palabras de apoyo, ánimo y todo lo necesario para mejorar académicamente.

Al Dr. José Manuel Juárez Barrientos, por compartirme de su amplio conocimiento, enseñarme a ser una estudiante responsable y puntual, además de asesorarme y guiarme en todo momento para realizar el presente trabajo. Gracias por sus consejos como profesor, revisor y amigo.

A la Dra. Ma. Teresa Kido Cruz por participar en el presente trabajo como revisora, por su valiosa aportación para la realización de este y por ser la mejor profesora de economía.

A todos mis amigos, principalmente a Guillermo, Julio y Javier que desde el primer día me brindaron su sincera amistad.

## DEDICATORIA

*A Ofelia Benítez Conde, la mujer más fuerte que he conocido  
y a Titi y Selim, quienes me han dado todo su amor sincero  
en forma de un ronroneo.*

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>X</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1.- Marco teórico	1
<b>2.- ANTECEDENTES</b>	<b>8</b>
<b>3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>11</b>
<b>4.- JUSTIFICACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>5.- OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
5.1.- Objetivo general	15
5.2.- Objetivos particulares	15
<b>6.- MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>16</b>
6.1.- Ubicación del experimento	16
6.2.- Juveniles	16
6.3.- Diseño experimental	16
6.3.1.- Alimentación y evaluación de crecimiento	17
6.3.2.- Supervivencia	18
6.3.3.- Análisis económico	18
6.3.3.1.- Función de producción	19

6.3.3.2.- Relación Costo/ Beneficio	20
6.3.3.3.- Matriz de doble entrada	20
6.3.4.- Análisis químico proximal	21
6.3.4.1.- Determinación de humedad	21
6.3.4.2.- Determinación de cenizas (AOAC método 964.22)	22
6.3.4.3.- Determinación de lípidos	22
6.3.4.4.- Determinación de proteínas	23
6.3.5.- Análisis estadístico	25
<b>7.- RESULTADOS</b>	<b>26</b>
7.1.- Crecimiento de juveniles	26
7.2.- Análisis económico	31
7.2.1.- Función de producción	31
7.2.2.- Relación costo-beneficio	32
7.2.3.- Matriz diferencial	34
7.3.- Análisis químico proximal	35
<b>8.- DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
<b>9.- CONCLUSIONES</b>	<b>51</b>
<b>10.- REFERENCIAS</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Descripción gráfica de la función de producción. **19**
- Figura 2.** Función de producción para juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. **31**
- Figura 3.** Porcentaje de humedad en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. La presencia de superíndices sobre las columnas indica diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ). **36**
- Figura 4.** a) Porcentaje de proteínas, b) Porcentaje de lípidos, c) Porcentaje de cenizas, d) Porcentaje de carbohidratos en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. La presencia de superíndices con diferente letra sobre las columnas indica diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ). **37**

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Matriz de doble entrada. **21**
- Tabla 2.** Peso húmedo (PH, g), longitud total (LT, cm) y supervivencia (S,%) durante los 60 días de experimentación en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivados bajo diferentes regímenes de alimentación. Promedio  $\pm$  Desv. Std. **27**
- Tabla 3.** Biomasa ganada (BG, g), factor de conversión alimenticia (FCA), tasa de crecimiento diario (TCD, g) y factor de condición (FC) obtenidos durante los 60 días de experimentación en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivados bajo diferentes regimenes alimenticios. **30**
- Tabla 4.** Relación costo/beneficio (C/B) obtenidos en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) en la etapa de restricción alimenticia. **33**
- Tabla 5.** Relación costo/beneficio (C/B) obtenidos en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) en la etapa de realimentación. **33**
- Tabla 6.** Matriz diferencial obtenidos en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. **35**
- Tabla 7.** Análisis de correlación del análisis químico proximal obtenido en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. **38**

## RESUMEN

Los regímenes de alimentación y el crecimiento compensatorio se pueden utilizar como una herramienta para maximizar el crecimiento, incrementar la ganancia de peso en músculo, mejorar la composición corporal y aumentar el rendimiento de las canales y la calidad de la carne en especies bajo cultivo comercial. Debido a lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron cuatro diferentes regímenes de alimentación (7x0, 6x1, 5x2 y 1x1) en juveniles de tilapia del Nilo durante 36 días, se alimentaron los siete días a la semana durante 24 días. Se registró su peso húmedo y longitud total mediante biometrías cada 12 días y utilizando estos valores se estimó la biomasa ganada, el factor de condición alimenticia, la tasa de crecimiento diario y el factor de condición. Se analizó el contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas y carbohidratos. De igual forma, se realizó un análisis económico del periodo de restricción y realimentación. No se observaron diferencias significativas entre el peso húmedo del tratamiento 7x0 y los tratamientos 6x1 y 5x2. La biomasa ganada y tasa de crecimiento diaria fueron significativamente más altos al final del periodo de realimentación en los grupos 5x2 y 1x1, en comparación con el grupo 7x0. El análisis químico proximal no reveló diferencias significativas para el contenido de proteínas, lípidos o cenizas. El grupo 7x0 presentó diferencias significativas con respecto al contenido de humedad y el grupo 1x1 para el contenido de carbohidratos. En lo que respecta al análisis económico los grupos 7x0 y 5x2 presentaron los mayores rendimientos crecientes y menores costos de producción al final del período de realimentación. Después de 36 días de alimentación restringida y un periodo de 24 días de alimentación normal, se observó una compensación de peso y longitud para los tres tratamientos. La tilapia del Nilo

exhibió el fenómeno de crecimiento compensatorio durante la etapa de realimentación y su magnitud dependió de la intensidad de la restricción alimenticia.

**Palabras clave:** Tilapia del Nilo, regímenes alimenticios, crecimiento, análisis químico, análisis económico.

## ABSTRACT

Diet regimens and compensatory growth can be used as a tool to maximize growth, increase weight gain in muscle, improve body composition and increase carcase yield and meat quality in commercially grown species. Due to the above, in the present work four different feeding regimens (7x0, 6x1, 5x2 and 1x1) were evaluated in Nile tilapia juveniles for 36 days, they were fed seven days a week for 24 days. Its wet weight and total length were recorded using biometrics every 12 days and using these values, the biomass gained, the food condition factor, the daily growth rate and the condition factor were estimated. Moisture content, ash, lipids, proteins and carbohydrates were analyzed. Likewise, an economic analysis of the period of restriction and feedback was carried out. No significant differences were observed between the wet weight of treatment 7x0 and treatments 6x1 and 5x2. The biomass gained and daily growth rate were significantly higher at the end of the feedback period in groups 5x2 and 1x1, compared to group 7x0. Proximal chemical analysis did not reveal significant differences in protein, lipid or ash content. Group 7x0 showed significant differences with respect to moisture content and group 1x1 for carbohydrate content. In terms of economic analysis, the 7x0 and 5x2 groups had the highest increasing yields and the lowest production costs at the end of the feedback period. After 36 days of restricted feeding and a 24-day period of normal feeding, weight and length compensation was observed for all three treatments. Nile tilapia exhibited compensatory growth phenomenon during the feedback stage and its magnitude depended on the intensity of the restric.

**Keywords:** Nile tilapia, feeding regimens, growth, chemical analysis, economic analysis.

## **1.- INTRODUCCIÓN**

### **1.1.- Marco teórico**

Las necesidades alimentarias de la población a nivel mundial se han visto relativamente satisfechas, principalmente por la actividad agrícola, ganadera y pesquera; sin embargo, se estima que la población global superará los 9 mil millones de habitantes en el año 2050 y los requerimientos de alimentación no se deberán resolver únicamente con la intensificación de estas actividades, en especial con la sobreexplotación pesquera, puesto que se tiene el riesgo de agotar las especies de interés alimentario y comercial (Godfray *et al.*, 2010). Ante este panorama la acuicultura surge como un sector productivo primario paralelo a la agricultura y ganadería, lo que puede representar un elemento estratégico para la producción de alimentos (Platas-Rosado y Vilaboa-Arroniz, 2014).

La acuicultura ha sido el sector productor de alimentos con mayor desarrollo a nivel global, con un índice general de crecimiento del 11% anual. La actividad acuícola ha aumentado hasta llegar a contribuir en la producción de organismos acuáticos alcanzando un total de 122,6 millones de toneladas en peso vivo en 2020. Ello representa un incremento de 6,7 millones de toneladas en comparación con los 115,9 millones de toneladas registrados en 2018. El valor total en la explotación se estimó en 281 500 millones de USD en 2020, aumento de 18 500 millones de USD en comparación con 2018 y de 6 700 millones de USD respecto de 2019 (FAO, 2022).

De las especies que más se cultivan se encuentran las tilapias, ubicándose en el segundo lugar en cuanto a volumen de producción a nivel mundial, esto debido a las características biológicas que poseen, convirtiéndose en uno de los grupos

más exitosos de peces dulceacuícolas cultivados (FAO, 2014). En el año 2016 dentro de las especies del género *Oreochromis* (principal genero del grupo de las tilapias) la de mayor producción a nivel mundial fue la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con una producción que alcanzó las 4.2 millones de toneladas (FAO, 2016). Esta producción se atribuye principalmente a sus características de cultivo, tales como su rápido crecimiento incluso en sistemas de cultivo intensivo (Furuya *et al.*, 2008), fácil reproducción, alta tolerancia al manejo y resistencia a enfermedades, conversión eficiente de alimentos naturales y formulados, tolera rangos amplios de calidad del agua y crece rápidamente a temperaturas cálidas, además, presenta una alta demanda a nivel comercial gracias a su sabor, color y textura agradable (Xie y Cui, 1998). Otra ventaja importante, la constituye el hecho de que la tilapia del Nilo es un organismo con requerimientos proteínicos de cadenas tróficas inferiores y hábitos alimenticios que tienden al herbivorismo, de tal manera que el alimento comercial resulta más accesible que para otras especies con tendencias carnívoras (Montoya-Camacho *et al.*, 2018),

No obstante, a pesar de que la tilapia acepta fácilmente el alimento comercial, debido al rápido crecimiento que presenta, la alimentación es uno de los factores más importantes que influyen en su rendimiento bajo cultivo y ésta a su vez es influenciada por factores tales como; el comportamiento de los peces, la densidad de población, la calidad del alimento, la ración diaria, la frecuencia de alimentación y la temperatura del agua. De igual forma, la frecuencia de alimentación depende principalmente de la especie cultivada, la edad, el tamaño, la calidad del alimento y los factores ambientales (De Silva y Anderson, 1994; El-Sayed, 2006; De Silva *et al.*, 2013). Por último, las características mencionadas en conjunto con los factores

ambientales influyen en el tiempo de evacuación gástrica (retorno del apetito) de los organismos cultivados (Riche *et al.*, 2004).

Basado en lo anterior, determinar el tamaño óptimo de la ración y la frecuencia de alimentación es un paso importante en las operaciones acuícolas, ya que es esencial para garantizar la máxima tasa de conversión de alimento por parte del organismo cultivado (De Silva y Anderson, 1994; Tran *et al.*, 2011; Jobling *et al.*, 2012).

Desde el punto de vista de la operación de la granja acuícola, la alimentación frecuente (cantidad de raciones por día) de los peces genera un mayor gasto debido al incremento en la mano de obra requerida así como por el desperdicio de alimento no consumido por parte de los organismos (Riche *et al.*, 2004) y dado que el costo del alimento representa más del 50% de los costos operativos en los sistemas de cultivo intensivo (Pillay y Kutty, 2005; El-Sayed *et al.*, 2006) la viabilidad económica de la operación de cultivo depende del uso adecuado del alimento (Tucker *et al.*, 2009). Entonces, uno de los problemas en la producción acuícola es lograr un equilibrio entre el crecimiento de los peces y el consumo de alimento. Por lo tanto, es importante conocer el patrón de crecimiento y las necesidades nutricionales de los peces bajo cultivo, así como conocer las mejores estrategias de alimentación para la especie en particular (Jobling, 1983; Goddard, 1996; Jørgensen *et al.*, 1996; Gokcek *et al.*, 2008).

Existe una relación positiva entre el crecimiento y la frecuencia de alimentación (Riche *et al.*, 2004; Riche, 2008). Sin embargo, Crampton (1991) demostró que puede no ser necesario alimentar a diario para obtener las tasas

máximas de crecimiento. De Silva y Anderson (1994) observaron que más allá de cierto nivel, la alimentación excesiva no influye en el crecimiento y resulta en un decremento de la tasa de crecimiento, resultado de una menor tasa de conversión alimenticia. Las estrategias de alimentación se pueden adaptar para minimizar los costos de producción manteniendo la calidad de los peces (Bavčević *et al.*, 2010; Poot-López *et al.*, 2014). La optimización de los regímenes de alimentación durante el proceso de crecimiento de los peces podría reducir los costos de alimentación sin desacelerar el crecimiento, aumentando la calidad y las ganancias, lo que podría asegurar el éxito del desarrollo y manejo de cultivo (Oh *et al.*, 2013). Por otro lado, además de afectar la utilización del alimento y reducir costos, el régimen de alimentación también influye en la composición corporal de los peces (Lovell, 1992; Adebayo *et al.*, 2000). Ali *et al.* (2016) reportaron que, aunque la disminución del número de días de alimentación de 7 a 5 días a la semana estuvo acompañada de una tendencia a la disminución lineal en el contenido de proteínas y grasas y aumento en el contenido de cenizas, no hubo diferencias significativas. En cuanto, al contenido de humedad, no ha seguido una regla determinada, pero se reportó una marcada tendencia a aumentar al incrementar la duración de la privación de alimento, lo que se podría explicar como un reemplazo de los lípidos musculares por agua. Asimismo, Wang *et al.* (2000) demostraron que la humedad corporal y el contenido de cenizas de la tilapia tienden a ser más altas, mientras que el contenido de lípidos y proteínas tienden a ser más bajos a medida que aumenta la duración de la privación de alimento. La composición corporal permite la evaluación de factores que afectan la asimilación de nutrientes de los alimentos a los peces. El contenido de proteínas y cenizas condiciona al tamaño del pez, mientras que los

lípidos se ven afectados por las estrategias dietéticas y por el tamaño. Además, el contenido de humedad se ha relacionado inversamente con el contenido de lípidos (Shearer, 1994). En este contexto, es importante analizar la composición química del musculo de pescado para conocer el efecto de los diferentes regímenes de alimentación utilizados sobre la calidad de la carne.

Debido a la importancia de maximizar el crecimiento de los peces, los regímenes de alimentación óptimos implican restricciones (Bavčević *et al.*, 2010). Estas restricciones consisten principalmente en: privaciones de alimento, bajas temperaturas, disminución de oxígeno disuelto y contaminación del agua (Stumpf *et al.*, 2009; Marques y Lombardi, 2011). De los regímenes de alimentación anteriormente mencionados el más utilizado por diversos autores es el que implica una disminución del alimento, seguido de un breve período de alimentación intensiva que les permita aumentar su longitud cerca del máximo y aumentar el factor de condición y el peso final (Bavčević *et al.*, 2010). Lo anterior, también se conoce como crecimiento compensatorio, el cual ha sido definido por varios autores como el incremento inmediato de peso que registran los animales después de haber sido sometidos por un cierto tiempo a una restricción nutrimental reconocida por la reducción en el consumo de alimento o por suministrar dietas bajas en su calidad, sin afectar su integridad física de manera letal o subletal (Dobson y Holmes, 1984; Kim y Lovell *et al.*, 1995; Nicieza y Metcalfe *et al.*, 1997; Ali *et al.*, 2003). El crecimiento compensatorio se puede aplicar como una estrategia para maximizar el crecimiento (Zhu *et al.*, 2005), mejorar la eficiencia en la utilización del alimento (Wang *et al.*, 2000) y reducir las variaciones en el tamaño de los peces (Ali *et al.*,

2003) mientras se mejora la calidad del agua y se reducen los costos de mano de obra y alimentación (Blanquet y Oliva-Teles, 2010).

La hiperfagia es el aumento del volumen y de la calidad de las comidas, basado en el aumento del apetito (apetito insaciable), misma que contribuye a la restauración de un déficit energético causado por el período de inanición. De hecho, el crecimiento compensatorio es una respuesta clara a la hiperfagia (Ali y Wootton, 2003). La hiperfagia debería permitir que un animal que ha sufrido una restricción alimentaria recupere el peso que tendría si los peces hubieran comido sin restricciones. La mayoría de los estudios de crecimiento compensatorio se han centrado en la duración de la privación completa de alimento (Wieser *et al.*, 1992; Jobling y Koskela, 1996; Zhu *et al.*, 2001; Tian y Qin, 2003, 2004; Azodi *et al.*, 2016) y en su mayoría se llevaron a cabo en especies de agua fría. Los informes sobre especies de aguas cálidas son pocos (Schwarz *et al.*, 1985; Kim y Lovell, 1995; Hayward *et al.*, 1997). Entre los estudios realizados sobre especies de aguas cálidas destaca el de la tilapia híbrida (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) la cual exhibió respuesta compensatoria después de la privación de alimento (Wang *et al.*, 2000, 2005, 2009; Gao *et al.*, 2015; Ye *et al.*, 2016), sin embargo, los peces que se mantuvieron en los regímenes de alimentación restringidos no lograron recuperarse completamente en la gran mayoría de los casos.

A pesar del gran potencial de la producción de tilapia del Nilo, la información sobre los efectos de los regímenes de alimentación y las prácticas de manejo en el rendimiento de los peces es limitada (El-Sayed, 1999). Por estas razones, es importante seguir investigando el efecto de diferentes regímenes de alimentación

(frecuencia de alimentación por semana) sobre los parámetros de crecimiento, retención de nutrientes, composición corporal de los peces durante las diferentes etapas de la vida y la influencia de la restricción de alimentación mencionada anteriormente (frecuencia de alimentación) y el posterior regreso a la alimentación durante toda la semana en las respuestas de crecimiento compensatorio de la tilapia del Nilo (Ali *et al.*, 2016).

Desde la perspectiva económica, el crecimiento compensatorio se enmarca en la teoría de la producción la cual se refiere la forma en que se combinan los factores de la producción para obtener productos o bienes. Debido a que existe una fuerte influencia del tiempo en los análisis, tanto en los aspectos productivos como en los económicos, es importante concentrarnos en dos escenarios diferentes: el corto plazo y el largo plazo. La diferencia principal entre uno y otro está dada por la posibilidad de que los factores de producción sean más o menos fijos. Es decir, en el largo plazo todos los factores de producción son variables, en él las empresas se ajustan a las condiciones del mercado, haciendo variar todos los factores productivos que emplean. A diferencia del anterior, en el corto plazo hay por lo menos un factor de la producción que será fijo, en este plazo las empresas ajustan la cantidad de factores variables a utilizar de acuerdo con la cantidad de producto que desea obtener, permaneciendo fijo el resto (Varian, 1999). Cabe señalar que el presente es un análisis a corto plazo.

## 2.- ANTECEDENTES

Los trabajos sobre regímenes de alimentación y crecimiento compensatorio han sido desarrollados por diversos investigadores a través del tiempo y en diferentes especies, incluyendo peces y crustáceos. Entre estos se puede mencionar a Rueda *et al.* (1995), quienes observaron un incremento en la hiperfagia cuando los periodos de ayuno fueron mayores en el pargo (*Pagrus pagrus*). Nicienza y Metcalfe (1997) reportaron que en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) se consiguió una compensación total del peso perdido después de un período de ayuno (30 días), respecto a animales alimentados sin restricción. Egea-Nicolás *et al.* (2002) estudiaron el comportamiento del sargo picudo (*Diplodus puntazo*) sometido a un ayuno de 17 días, seguido de un periodo de alimentación de 18 días respecto a un grupo no ayunado. Establecieron que, durante el periodo de ayuno la tasa específica de crecimiento se hizo negativa, pero tras el periodo de realimentación, esta tasa se duplicó, la tasa de alimentación relativa aumentó y el índice de conversión mejoró con respecto a los no ayunados. Sin embargo, aunque la evolución de los pesos a lo largo del experimento manifestó una tendencia a la recuperación del peso por parte de los animales que estuvieron en ayuno, estos no consiguieron igualar el peso de los no ayunados.

Con respecto a estudios realizados en tilapia del Nilo, De Silva (1985, 1989) presentó una serie de programas de alimentación mixtos que implicaban alimentar a la tilapia del Nilo alternativamente con alimentos altos y bajos en proteínas. Al respecto, encontró que la tilapia del Nilo respondió bien a algunos de los horarios de alimentación mixtos (es decir, alimento con contenido alto en proteínas

alternando con alimento bajo en proteínas) y que en horarios mixtos los peces exhibieron un rendimiento de crecimiento que fue comparable al rendimiento de los peces criados enteramente con piensos ricos en proteínas. Se logró un ahorro sustancial en los costos de los alimentos, y algunos de estos programas de alimentación redujeron la carga de nitrógeno del sistema. Otros estudios han utilizado ciclos de ayuno y de realimentación a saciedad para investigar la dinámica del crecimiento compensatorio (Kindschi, 1988; Jobling *et al.*, 1993; Hanssen *et al.*, 2012; Kocabas *et al.*, 2013). Un régimen de alimentación posterior a un periodo de ayuno temporal se podría utilizar como una estrategia alimenticia para reducir los costos de producción en algunas especies de peces (Sung-Yong *et al.*, 2013), como es el caso de lo reportado por Bolívar *et al.* (2006) quienes consideraron los costos fijos estimados de combustible y alevines, y pudieron demostrar que el horario de alimentación diario producía una ligera-pérdida de 448 dólares EE. UU./ha, mientras que el horario de alimentación en días alternos produciría un rendimiento neto positivo de \$ 556 dólares EE. UU./ha.

Villarroel *et al.* (2011) comprobaron que el ayuno un día a la semana no afectó la eficiencia del crecimiento y que la tilapia se adaptó adecuadamente a cambios relativos en la frecuencia de alimentación.

Otro aporte importante fue el de Wang *et al.* (2019) quienes estimaron los efectos de la privación cíclica de alimentos a corto plazo y la realimentación sobre el rendimiento del crecimiento, la composición corporal y la expresión génica en el ciprínido *Schizothorax wangchiachii*. Probaron cuatro protocolos de alimentación durante ocho semanas: alimentación todos los días de la semana (control), inanición

durante un día y realimentación durante seis días a la semana, inanición durante dos días y realimentación durante cinco días a la semana e inanición durante tres días y realimentación durante cuatro días a la semana. No observaron diferencias significativas en el peso corporal final, la tasa de crecimiento específica y la eficiencia de conversión alimenticia entre los tratamientos. Da Silva *et al.* (2019) obtuvieron resultados que mostraron una tendencia a la reducción del contenido de lípidos y aumento de la humedad, y las cenizas relacionada con el aumento de la cantidad de alimento suministrado. La reducción en el contenido de lípidos pudo estar relacionada con una mejora en la eficiencia alimenticia de los peces, ya que es probable que los peces utilicen los lípidos como fuente de energía al reducir la cantidad de alimento suministrado (Dong *et al.*, 2017).

Por último, Bevitorio *et al.* (2015) mencionan que la restricción de alimentos desde las primeras etapas de la vida no compromete el desempeño productivo y contribuye a reducir los costos variables y la cantidad de nitrógeno excretado al medio ambiente. Por lo tanto, se puede aplicar una estrategia de restricción de alimentación de un día a la semana desde las primeras etapas de la vida sin comprometer el rendimiento productivo o la composición corporal de la tilapia del Nilo. Este régimen también puede reducir los costos variables de producción mediante la reducción de los costos relativos de mano de obra y alimentos balanceados.

### **3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La región del Papaloapan es una de las zonas con mayor potencial de crecimiento para el cultivo de la tilapia del Nilo ya que cuenta con las condiciones climáticas que favorecen su cultivo, pero, a pesar de contar con la presencia de grandes embalses de agua, el estado de Oaxaca se ubica en el lugar número 15 en producción a nivel nacional, por lo que es necesario buscar estrategias que potencialicen el cultivo de tilapia del Nilo realizado en la zona.

La alimentación de la tilapia del Nilo es uno de los factores que más influyen en su rendimiento, debido a que los costos del alimento representan más del 50% de los costos de producción, por lo tanto, la viabilidad económica de la producción depende del adecuado régimen de alimentación. En este sentido, la alimentación frecuente de los peces genera un impacto en los costos laborales, pues alimentar varias veces al día implica un aumento de la mano de obra directa de personal que se dedica a alimentar a los peces y en algunos casos, la gasolina, pues debido al volumen de jaulas se utilizan lanchas con motores fuera de borda de pequeña envergadura para transportar el alimento.

Para minimizar los costos de producción, es necesario implementar regímenes de alimentación que reduzcan la mano de obra directa y los costos del combustible, pero que mantengan o incrementen el rendimiento. De acuerdo con Crampton (1991) no es necesario alimentar a diario para obtener las máximas tasas de crecimiento, aprovechando el llamado crecimiento compensatorio, el cual involucra un incremento inmediato de peso que registran los peces después de haber sido sometidos por un cierto tiempo a una restricción nutrimental. Los

regímenes de alimentación y el crecimiento compensatorio se pueden utilizar como una herramienta para maximizar el crecimiento (Zhu *et al.*, 2005), incrementar la ganancia de peso en músculo, mejorar la composición corporal e incrementar el rendimiento de las canales y la calidad de la carne, mediante la restricción nutricional del pez en etapas clave, mejorar la eficiencia en la utilización del alimento (Wang *et al.*, 2000) y reducir tanto el uso de mano de obra (Blanquet y Oliva-Teles, 2010) como la cantidad de alimento proporcionado.

Debido a lo anterior, es importante diseñar un régimen de alimentación considerando las características del cultivo de tilapia del Nilo observadas en la región y que tenga como base aprovechar el crecimiento compensatorio para poder mantener el mismo rendimiento en el cultivo, pero reduciendo los costos de operación por ciclo de cultivo.

#### 4.- JUSTIFICACIÓN

En los sistemas de cría intensiva, el alimento es el elemento de mayor costo, de acuerdo con Tacon y De Silva (1997) el alimento representa el 70% del costo total para la producción mundial de peces. Debido a esto, durante los últimos años se ha buscado alternativas para sustituir la harina de pescado como principal fuente de proteínas animales, lípidos y otros nutrientes esenciales de alta calidad para la acuicultura intensiva (Tacon *et al.*, 2010). Esto con el fin de reducir el costo del alimento e incentivar el cultivo de la tilapia del Nilo y que éste se acompañe de nuevas biotecnologías enfocadas a optimizar la producción, así como volver el cultivo más sustentable.

Debido a lo anterior y tomando en cuenta que ha sido demostrado que no es necesario alimentar a diario para obtener las tasas máximas de crecimiento, el presente trabajo aborda el régimen de alimentación como un aspecto fundamental para garantizar la máxima relación de conversión alimenticia del pez cultivado, incorporando una adecuada estrategia de alimentación y aprovechando el crecimiento compensatorio lo que permitirá reducir costos y mantener el mismo rendimiento al final del experimento, emulando el experimento de Gaber y Hanafy, (2008) quienes demostraron que la tilapia tuvo un mejor crecimiento cuando se le administró una ración diaria restringida, sin depender de las fuentes de proteína (proteína de harina de pescado o proteína de harina de soja), así mismo se comprobó que aun cuando son utilizadas dietas bajas en calidad, la tilapia presenta un crecimiento compensatorio que permite la recuperación parcial de los peces. Además de lo anterior, el crecimiento compensatorio se ha mostrado como una

estrategia importante que ayuda a incrementar la ganancia de peso en músculo, mejorar la composición corporal e incrementar el rendimiento de las canales y la calidad de la carne.

Por lo tanto, el presente trabajo representa la oportunidad de optimizar los regímenes de alimentación y proporcionar información sobre la idoneidad de una variedad de opciones de reducción de costos disponibles a los acuicultores, con la finalidad de mejorar la eficiencia de la alimentación y poder determinar la frecuencia de alimentación óptima para los cultivos.

## **5.- OBJETIVOS**

### **5.1.- Objetivo general**

Evaluar el crecimiento, supervivencia, rendimiento económico y composición química de juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentada bajo diferentes regímenes alimenticios.

### **5.2.- Objetivos particulares**

1. Evaluación del crecimiento de juveniles de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentada bajo diferentes regímenes alimenticios.
2. Establecer la supervivencia de juveniles de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentada bajo diferentes regímenes alimenticios.
3. Estimar del rendimiento económico de juveniles de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentada bajo diferentes regímenes alimenticios.
4. Caracterizar el músculo de juveniles de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) alimentada bajo diferentes regímenes alimenticios.

## **6.- MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1.- Ubicación del experimento**

El presente estudio se llevó a cabo en la Unidad Acuícola Experimental de la Universidad del Papaloapan, campus Loma Bonita, ubicada en la Avenida Ferrocarril s/n, Colonia Ciudad Universitaria, Loma Bonita, Oaxaca, localizado en las coordenadas 18° 06' latitud norte y 95° 53' longitud oeste, a una altura de 30 msnm (FAM, 2014).

### **6.2.- Juveniles**

Los peces que se utilizaron para esta investigación fueron obtenidos de la granja "Unidad de producción del Tesechoacan" (La Cuatezona, Veracruz) una vez terminado el periodo de reversión hormonal. Los juveniles masculinizados (flouximesterona, 20 mg) de tilapia del Nilo se trasladaron al Laboratorio Acuícola de la Universidad del Papaloapan en una bolsa de plástico transparente con oxigenación. Al llegar al laboratorio, se aplicó un tratamiento de sal (> 35 ups) durante 10 minutos aproximadamente. Posteriormente, se sembraron en dos tanques de 900 L evitando cambios bruscos de temperatura (> 1°C). Se dejaron aclimatar por 30 días antes de iniciar con el experimento, alimentándose a saciedad aparente 4 veces al día.

### **6.3.- Diseño experimental**

Las unidades experimentales empleadas consistieron en un sistema de recirculación cerrado compuesto por 12 tanques de 900 L conectados a una bomba

de ½ HP y un aireador de ¼ HP. Se sembraron 12 juveniles en cada unidad experimental. Se evaluaron cuatro diferentes regímenes de alimentación (Siete días a la semana: 7x0, seis días a la semana: 6x1, cinco días a la semana: 5x2 y un día sí, un día no: 1x1) durante un periodo de 36 días. Posteriormente, se alimentaron siete días a la semana (7x0) cuatro veces al día durante 24 días. Se utilizaron tres replicas por cada régimen de alimentación distribuidas de manera aleatoria dentro del sistema experimental.

### **6.3.1.- Alimentación y evaluación de crecimiento**

Al inicio del experimento, se alimentaron cuatro veces al día al 5% de la biomasa total unidad experimental con alimento comercial Purina al 40% de proteína (2.4 mm, Agribrands). Se realizaron biometrías cada 12 días, colectando al azar el 75% de la población de cada unidad experimental por tratamiento. La longitud total se obtuvo mediante un ictiometro (Aquatic Ecosystem), mientras que para el registro del peso húmedo individual se utilizó una balanza digital (Marca Ohaus, Scout, 0 a 200 g). A partir del peso húmedo se calculó la ración para los siguientes 12 días, ajustándola al 4% (2.4 mm, 40% de proteína, Purina Agribrands) y posteriormente al 3% de la biomasa total por unidad experimental (3.5 mm, 35% de proteína, Purina Agribrands).

La evaluación del crecimiento se realizó a partir del peso húmedo y longitud total que se obtuvieron de cada biometría. Las fórmulas que se utilizaron para calcular los índices de crecimiento se presentan a continuación.

Biomasa ganada (BG):

$$BG = \text{biomasa final (g)} - \text{biomasa inicial (g)}$$

Factor de conversión alimenticia (FCA):

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

Tasa de crecimiento diario (TCD):

$$TCD = \frac{\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}}{\text{Días de cultivo}}$$

Factor de condición (FC):

$$FC = \frac{\text{Peso húmedo (g)}}{\text{Longitud total}^3 \text{ (cm)}} * 100$$

### **6.3.2.- Supervivencia**

El porcentaje de supervivencia (S) se calculó usando la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\text{Peces cosechados}}{\text{Peces sembrados}} * 100$$

### **6.3.3.- Análisis económico**

El análisis económico se realizó con la finalidad de evaluar los 4 regímenes alimenticios en función de sus costos de producción. Los costos fueron calculados tomando en cuenta como componente principal el alimento suministrado (material

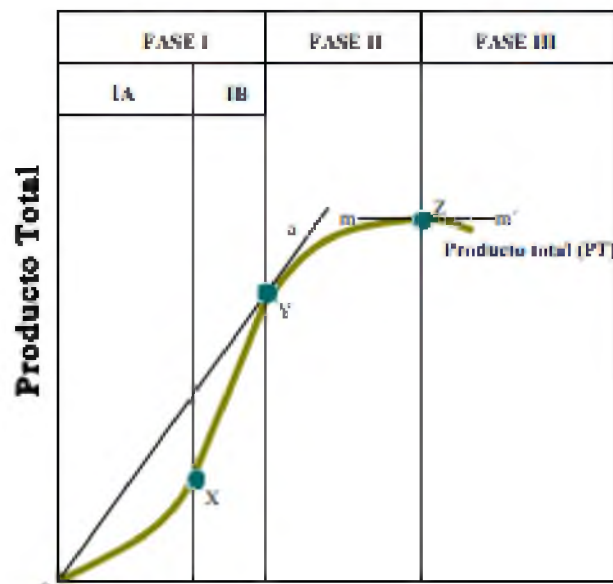
directo). Debido a que es el único insumo que fue contabilizado, el análisis inició con la derivación de las funciones de producción, posteriormente se calculó la relación costo beneficio, finalizando con una matriz diferencial de estos dos indicadores principales.

### 6.3.3.1.- Función de producción

La función de producción especifica la relación entre la cantidad de factores utilizados, esto es, trabajo (L) y capital (K), para producir un bien y la cantidad producida de ese bien (q). Analíticamente la función de producción puede expresarse como sigue:

$$q = f(L, K)$$

La función de producción supone una tecnología dada (conocimiento de cómo transformar los factores en producto). Gráficamente se expresa de acuerdo con la Figura 1.



**Figura 1.** Descripción gráfica de la función de producción.

Al principio, la curva de producto total es ascendente a una tasa creciente (al añadir unidades adicionales de factor variable, el producto crece más que proporcionalmente), es la parte IA de la FASE I. A medida que se agregan cantidades adicionales de factor variable a una cantidad fija de capital, el producto total aumenta en cantidades cada vez más pequeñas, a una tasa decreciente (parte IB de FASE I y FASE II), alcanza un máximo (Z) y a continuación disminuye (FASE III).

### **6.3.3.2.- Relación Costo/ Beneficio**

La fórmula general para calcular la relación costo/beneficio se presenta a continuación (Nacional Financiera, 1998):

$$\frac{C}{B} = \frac{\sum_{t=1}^t C_t(1+i)^{-t}}{\sum_{t=1}^t B_t(1+i)^{-t}}$$

Dónde:  $B_t$  = ingresos en cada periodo del proyecto,  $C_t$  = costos en cada periodo del proyecto,  $i$  = tasa de actualización, y  $t$  = tiempo en años. Con el cálculo de los indicadores, quedó terminada la etapa dos de la metodología determinándose así los factores determinantes en la rentabilidad del proyecto.

### **6.3.3.3.- Matriz de doble entrada**

El cuadro de doble entrada es una tabla que permitió comparar información a través de un esquema cuadrículado. Estos datos se organizaron en dos columnas. En cada eje vertical se ordenó la información teniendo en cuenta categorías, en el horizontal figuran las categorías de las comparativas (Tabla 1).

**Tabla 1.** Matriz de doble entrada.

Variable x \ Variable y	$n_{i1}$	$f_{i1}$	$m_{i1}$
$n_{i1}$	x	x	x
$f_{i1}$	x	x	x
$m_{i1}$	x	x	x

#### **6.3.4.- Análisis químico proximal**

Para este proceso se comenzó analizando las muestras que fueron obtenidas de la parte lateral de pez (masa muscular superior y ventral, que incluye músculo blanco y oscuro), restando estructuras óseas, y las partes anteriores y posteriores del cuerpo (cabeza y aleta caudal). Se procedió a filetear el músculo en cortes finos y después secado en un horno a 55 °C durante 12 horas. Posteriormente se trituraron, tamizaron y se analizaron en cuanto a su contenido de lípidos, proteínas, cenizas y humedad y el contenido de carbohidratos se estableció por diferencia, realizando todos los procedimientos de acuerdo con lo establecido por la AOAC (2005).

##### **6.3.4.1.- Determinación de humedad**

La humedad se determinó pesando 2 g de cada una de las muestras en una termobalanza. La termobalanza automáticamente indicó el porcentaje de humedad en solo unos minutos.

#### **6.3.4.2.- Determinación de cenizas (AOAC método 964.22)**

De la muestra obtenida se pesaron 5 g en una balanza analítica, se depositaron las muestras en crisoles, de los cuales previamente se obtuvieron sus pesos constantes, para colocarlos dentro de una mufla e incinerarlos por una hora a 550 °C. Se esperó a que la temperatura descendiera hasta los 50 °C para retirar los crisoles y colocarlos en desecadores (por cinco minutos). Se procedió a pesar nuevamente los crisoles con las cenizas de las muestras. El porcentaje de cenizas se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de cenizas} = \frac{\text{Peso de las cenizas}}{\text{Peso de la muestra fresca}} * 100$$

#### **6.3.4.3.- Determinación de lípidos**

Para la extracción de la grasa de las muestras, se utilizó un equipo Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo. El análisis se efectuó de la siguiente manera: Se envolvió, a manera de hacer un cartucho, dos gramos de la muestra en un papel filtro previamente pesado. El cartucho con la muestra se colocó dentro del extractor del Soxhlet. Se pesó el matraz y se procedió a armar el equipo completo del Soxhlet. Se conectaron las mangueras que componían las tuberías de agua. Posteriormente se introdujo éter de petróleo por el extremo superior del condensador en una cantidad igual a tres veces el volumen del extractor.

En el matraz se calentó el éter, los vapores de este ascendieron través de la desviación al condensador. Allí, los vapores se condensaron. Se reguló la temperatura de tal forma que se obtuvieron dos gotas de éter condensado por 32

segundos, permitiendo dejar gotear el éter condensado sobre la muestra durante 3 horas aproximadamente para extraer la grasa.

Durante la extracción, el éter con grasa se desbordo y refluyo al matraz, en donde se acumuló la grasa extraída. Después de la extracción se suspendió el calentamiento, se enfrió el conjunto y se quitó el extractor del matraz. El matraz con el residuo se introdujo a una estufa a 75 °C hasta que el peso fue constante. El porcentaje de peso de la grasa se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ extracto} = \frac{A}{B} * 100$$

Dónde:

A = peso en gramos del residuo

B = peso en gramos de la muestra

#### **6.3.4.4.- Determinación de proteínas**

Para la determinación de proteínas de las muestras, se utilizó un digestor y un destilador, esto por el método Kjeldahl. Primero se pesó 1 g de la muestra seca en una balanza, después se introdujo la muestra a un tubo de mineralización, una pastilla catalizadora y se le adicionó 20 ml de ácido sulfúrico. Posteriormente se inició la etapa de digestión precalentando el equipo en el nivel 5 por 20 minutos hasta alcanzar nivel 9 durante 8 horas aproximadamente. Se supo que la digestión había terminado porque la disolución adquirió un color transparente. Después de enfriar los tubos mineralizadores se añadió al tubo de digestión 50 mL de agua destilada, se puso en el soporte del destilador y se adicionó una cantidad suficiente

de hidróxido de sodio al 32% (50 mL aprox.) para alcalinizar fuertemente el medio y así desplazar el amoníaco de las sales amónicas. El amoníaco liberado fue arrastrado por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo durante la destilación, se recogió sobre un matraz de 250 mL que contenía 100 mL de disolución de ácido bórico (al 4 % p/v) una vez que el amoníaco liberado llegó a 250 mL el destilador fue detenido. Para la valoración se usó una bureta de 25 mL y un soporte universal, a la disolución previamente destilada que contenía el matraz se le añadieron tres gotas de indicador y fue colocada debajo de la bureta sujeta por el soporte universal y se procedió a agregar 25 mL de ácido clorhídrico 0.1 N y se abrió la bureta para que goteara y se esperó a que cambiara de color. Al primer cambio de color se detuvo el goteo y se anotaron los mL de ácido clorhídrico gastados.

El porcentaje de proteínas se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{V * N * 0.014}{P} * 100$$

Dónde:

V = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación en cm<sup>3</sup>

N = Normalidad del ácido clorhídrico.

P = Peso de la muestra en g.

0.014 = Miliequivalente del nitrógeno

### **6.3.5.- Análisis estadístico**

Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad para el uso de pruebas estadísticas paramétricas. Las diferencias existentes en peso húmedo y longitud total, así como en supervivencia se evaluaron mediante un análisis de varianza de una vía. Las diferencias entre los tratamientos se compararon mediante una prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95%. Todos los análisis se realizaron en el programa Minitab19.

## 7.- RESULTADOS

### 7.1.- Crecimiento de juveniles

Los resultados obtenidos para el peso húmedo y la longitud total durante los 60 días de experimento se muestran en la Tabla 2. El peso húmedo registró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) a partir del día 36, con los grupos 7x0 y 6x1 mostrando valores más altos en comparación con el grupo 5x2 y el grupo 1x1. Para el día 48, el grupo 6x1 mostró los valores significativamente más altos ( $P < 0.05$ ) en comparación con los grupos 5x2 y 1x1. Finalmente, para el día 60, el grupo 1x1 registró un peso significativamente ( $P < 0.05$ ) menor en comparación con el resto de los grupos. No se observaron diferencias significativas entre los grupos 7x0, 6x1 y 5x2.

En cuanto a la longitud total, se registraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) a partir del día 12, con el grupo 6x1 registrando un valor más alto en comparación con el grupo 5x2. El grupo 7x0 no presentó diferencias significativas con ninguno de los grupos evaluados. Para el día 36 y 48 se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el grupo 6x1 mostrando valores más altos en comparación con los grupos 5x2 y 1x1. No se observaron diferencias significativas entre ninguno de los grupos analizados para el día 60. Los resultados obtenidos para supervivencia final se presentan en la Tabla 2. La supervivencia final no registró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en ninguno de los tratamientos.

**Tabla 2.** Peso húmedo (PH, g), longitud total (LT, cm) y supervivencia (S,%) durante los 60 días de experimentación en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivados bajo diferentes regímenes de alimentación. Promedio  $\pm$  Desv. Std.

Día		Tratamiento			
		7x0	6x1	5x2	1x1
0	PH	25.98 $\pm$ 1.88 <sup>a</sup>	26.38 $\pm$ 1.76 <sup>a</sup>	27.47 $\pm$ 1.92 <sup>a</sup>	27.67 $\pm$ 1.68 <sup>a</sup>
	LT	11.76 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>	12.05 $\pm$ 0.49 <sup>a</sup>	11.62 $\pm$ 0.71 <sup>a</sup>	12.11 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>
12	PH	60.7 $\pm$ 3.8 <sup>a</sup>	59.3 $\pm$ 2.6 <sup>a</sup>	53.5 $\pm$ 2.9 <sup>a</sup>	55.7 $\pm$ 2.3 <sup>a</sup>
	LT	14.2 $\pm$ 0.1 <sup>ab</sup>	14.3 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	13.6 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	14.0 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>
24	PH	91.3 $\pm$ 13.6 <sup>a</sup>	86.6 $\pm$ 4.1 <sup>a</sup>	75.2 $\pm$ 4.3 <sup>a</sup>	78.5 $\pm$ 4.0 <sup>a</sup>
	LT	16.3 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	15.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	15.3 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	15.6 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
36	PH	117.1 $\pm$ 14.6 <sup>a</sup>	113.7 $\pm$ 4.3 <sup>a</sup>	94.7 $\pm$ 1.9 <sup>b</sup>	86.7 $\pm$ 2.1 <sup>c</sup>
	LT	17.3 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>	17.6 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	17.1 $\pm$ 0.1 <sup>ab</sup>	16.6 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>
48	PH	136.9 $\pm$ 14.9 <sup>ab</sup>	143.4 $\pm$ 7.3 <sup>a</sup>	119.7 $\pm$ 4.3 <sup>b</sup>	101.2 $\pm$ 2.8 <sup>c</sup>
	LT	18.4 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>	18.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	17.8 $\pm$ 0.3 <sup>bc</sup>	17.3 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>
60	PH	162.2 $\pm$ 10.7 <sup>a</sup>	163.0 $\pm$ 13.1 <sup>a</sup>	157.1 $\pm$ 10.6 <sup>a</sup>	139.6 $\pm$ 6.0 <sup>b</sup>
	LT	19.5 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	19.7 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	19.5 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	19.0 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
	S	86.11 $\pm$ 9.62	97.22 $\pm$ 4.82	94.44 $\pm$ 4.82	97.22 $\pm$ 4.82

\* Los superíndices con distinta letra en la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). PH: Peso húmedo; LT: Longitud Total; S: Supervivencia. 7x0 = Alimentado siete días de la semana, 6x1 = Alimentado seis días de la semana, 5x2 = Alimentado cinco días de la semana, 1x1 = Alimentado un día sí y un día no.

Los resultados obtenidos para los índices de crecimiento se encuentran contenidos en la Tabla 3. A los 12 y 24 días, se registraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), con los grupos 5x2 y 1x1 registrando los valores más bajos de BG en

comparación con los grupos 6x1 y 7x0 (solo a los 12 días). No se observaron diferencias significativas entre los grupos 5x2 y 1x1. Al final del periodo de restricción alimenticia (36 días), no se observaron diferencias significativas entre los grupos 7x0, 6x1 y 5x2. El valor de BG significativamente ( $P < 0.05$ ) más bajo se observó en el grupo 1x1, en comparación con el resto de los grupos evaluados. A los 48 días, los grupos 6x1 y 5x2 registraron una BG significativamente más elevada que el grupo 1x1. No se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre el grupo 7x0 y el resto de los grupos evaluados. Al final del periodo de realimentación (60 días), los grupos 5x2 y 1x1 mostraron una BG significativamente más alta que el grupo 7x0. No se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre el grupo 6x1 y el resto de los grupos analizados.

En cuanto al FCA, a los 12 días, los grupos 7x0 y 6x1 presentaron un valor significativamente ( $P < 0.05$ ) más bajo que el registrado en el grupo 1x1. El grupo 5x2 no presentó diferencias significativas con respecto al resto de los grupos evaluados. A los 24 días, el grupo 6x1 registró un FCA significativamente ( $P < 0.05$ ) más bajo en comparación con el grupo 1x1. No se observaron diferencias significativas entre los grupos 7x0, 5x2 y el resto de los grupos analizados. Al final del periodo de restricción alimenticia (36 días), el grupo 1x1 mostró un FCA significativamente ( $P < 0.05$ ) más alto en comparación con los grupos 6x1 y 5x2. El grupo 7x0 no registró diferencias significativas con ninguno de los grupos evaluados. Durante el periodo de realimentación, a los 48 días, el grupo 5x2 registró un FCA significativamente más bajo que los grupos 7x0 y 1x1, mientras que al final del experimento (60 días) el grupo 1x1 mostró un FCA significativamente más bajo

que los grupos 7x0 y 6x1. El grupo 5x2 no presentó diferencias significativas con ninguno de los grupos evaluados.

La TCD observada a los 12 y 24 días mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los grupos evaluados, con el grupo 6x1 registrando el valor más alto en comparación con los grupos 5x2 y 1x1. El grupo 7x0 registró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en comparación con los grupos mencionados, solamente a los 12 días. No se observaron diferencias significativas entre los grupos 7x0 y 6x1. A los 36 días los grupos 6x1 y 5x2 presentaron una TCD significativamente ( $P < 0.05$ ) más alta que la observada en el grupo 1x1. No se presentaron diferencias entre los grupos analizados y el grupo 7x0. Para los 48 días, la TCD significativamente ( $P < 0.05$ ) más alta se observó en los grupos 6x1 y 5x2 en comparación con el grupo 1x1, mientras que al final del periodo de realimentación (60 días), los grupos 5x2 y 1x1 fueron los que presentaron la TCD significativamente más alta en comparación con el grupo 7x0. No se presentaron diferencias significativas entre los grupos analizados y el grupo 6x1.

En lo que respecta al FC, no se observaron diferencias significativas a los 12 días de restricción alimenticia, mientras que, a los 24 y 36 días, el grupo 1x1 registro el valor significativamente ( $P < 0.05$ ) más bajo para el FC, en comparación con los grupos 6x1 y 7x0, respectivamente. Durante el periodo de realimentación, el FC del grupo 1x1 continuó mostrando los valores significativamente ( $P < 0.05$ ) más bajos en comparación con los grupos 7x0 y 5x0 (48 días), y 6x1 (60 días). No se observaron diferencias significativas entre el resto de los grupos evaluados durante el periodo de realimentación.

**Tabla 3.** Biomasa ganada (BG, g), factor de conversión alimenticia (FCA), tasa de crecimiento diario (TCD, g) y factor de condición (FC) obtenidos durante los 60 días de experimentación en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivados bajo diferentes regimenes alimenticios.

Parámetro	Tratamiento			
	7x0	6x1	5x2	1x1
<b>Día 12</b>				
BG	412.80±52.80 <sup>a</sup>	384.11±12.59 <sup>a</sup>	308.30±32.7 <sup>b</sup>	326.40±18.20 <sup>b</sup>
FCA	1.05±0.06 <sup>a</sup>	1.09±0.01 <sup>a</sup>	1.22±0.07 <sup>ab</sup>	1.21±0.03 <sup>b</sup>
TCD	2.87±0.36 <sup>a</sup>	2.66±0.08 <sup>a</sup>	2.05±0.22 <sup>b</sup>	2.26±0.12 <sup>b</sup>
FC	2.10±0.12 <sup>a</sup>	2.02±0.01 <sup>a</sup>	2.11±0.07 <sup>a</sup>	2.01±0.02 <sup>a</sup>
<b>Día 24</b>				
BG	353.10±90.80 <sup>ab</sup>	365.00±44.80 <sup>a</sup>	254.10±53.50 <sup>b</sup>	246.30±28.80 <sup>b</sup>
FCA	1.88±0.29 <sup>ab</sup>	1.76±0.14 <sup>a</sup>	2.13±0.38 <sup>ab</sup>	2.21±0.15 <sup>b</sup>
TCD	2.45±0.63 <sup>ab</sup>	2.53±0.31 <sup>a</sup>	1.76±0.37 <sup>b</sup>	1.71±0.20 <sup>b</sup>
FC	2.06±0.09 <sup>ab</sup>	2.26±0.13 <sup>a</sup>	2.12±0.09 <sup>ab</sup>	2.03±0.03 <sup>b</sup>
<b>Día 36</b>				
BG	327.60±161.10 <sup>a</sup>	299.41±4.22 <sup>a</sup>	258.27±12.20 <sup>a</sup>	135.90±28.20 <sup>b</sup>
FCA	2.55±1.53 <sup>ab</sup>	2.18±0.07 <sup>a</sup>	2.11±0.12 <sup>a</sup>	3.80±0.91 <sup>b</sup>
TCD	2.27±1.12 <sup>ab</sup>	2.07±0.03 <sup>a</sup>	1.79±0.08 <sup>a</sup>	0.94±0.19 <sup>b</sup>
FC	2.27±0.12 <sup>a</sup>	2.14±0.08 <sup>ab</sup>	2.03±0.08 <sup>ab</sup>	1.98±0.08 <sup>b</sup>
<b>Día 48</b>				
BG	238.50±70.70 <sup>ab</sup>	324.20±83.20 <sup>a</sup>	299.10±28.90 <sup>a</sup>	174.84±8.35 <sup>b</sup>
FCA	2.62±0.71 <sup>a</sup>	1.99±0.45 <sup>ab</sup>	1.73±0.10 <sup>b</sup>	2.50±0.05 <sup>a</sup>
TCD	1.65±0.49 <sup>ab</sup>	2.25±0.57 <sup>a</sup>	2.07±0.20 <sup>a</sup>	1.21±0.05 <sup>b</sup>
FC	2.16±0.02 <sup>a</sup>	2.12±0.05 <sup>ab</sup>	2.19±0.09 <sup>a</sup>	2.00±0.06 <sup>b</sup>
<b>Día 60</b>				
BG	303.50±41.80 <sup>a</sup>	346.00±83.50 <sup>ab</sup>	448.80±95.50 <sup>b</sup>	460.30±104.20 <sup>b</sup>
FCA	2.35±0.50 <sup>a</sup>	2.08±0.27 <sup>a</sup>	1.55±0.29 <sup>ab</sup>	1.35±0.26 <sup>b</sup>
TCD	2.10±0.29 <sup>b</sup>	2.40±0.58 <sup>ab</sup>	3.11±0.66 <sup>a</sup>	3.19±0.72 <sup>a</sup>
FC	2.09±0.05 <sup>ab</sup>	2.22±0.04 <sup>a</sup>	2.11±0.04 <sup>ab</sup>	2.02±0.06 <sup>b</sup>

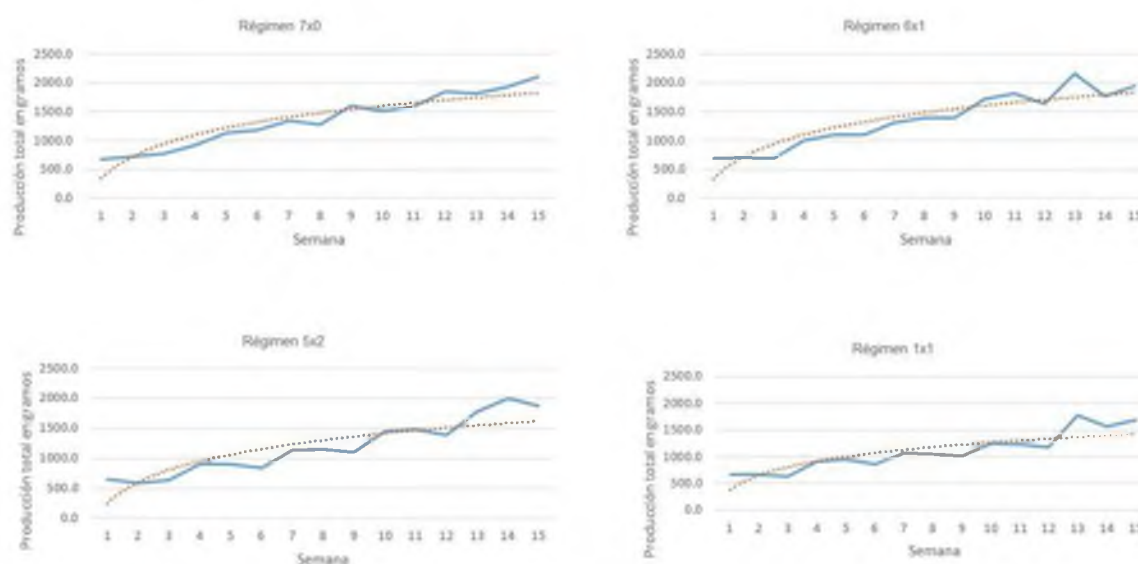
\* Los superíndices con distinta letra en la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). 7x0 = Alimentado siete días de la semana, 6x1 = Alimentado seis días de la semana, 5x2 = Alimentado cinco días de la semana, 1x1 = Alimentado un día sí y un día no.

## 7.2.- Análisis económico

En este apartado se presentan los resultados generados a partir de la evaluación de la actividad productiva bajo diferentes escenarios de alimentación en términos de la economía empresarial, en donde se generan estrategias que minimicen costos y con ello se maximicen las ganancias de los productores. En una secuencia lógica de orden se desglosan tres de los principales indicadores microeconómicos de análisis: la función de producción, la relación beneficio-costos y la matriz diferencial.

### 7.2.1.- Función de producción

En la Figura 2, se presenta la función de producción generada a partir de cada uno de los regímenes de alimentación propuestos por esta investigación. Nótese que las líneas de tendencia de los tratamientos 7x0 y 5x2 presentan un comportamiento muy similar, indicando un mayor rendimiento creciente comparado con los otros dos tratamientos.



**Figura 2.** Función de producción para juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación.

La pendiente con menor inclinación del régimen 1x1 nos indica el nivel de producción más bajo por lo que se esperaría sea el menos rentable y por tanto el menos conveniente desde el punto de vista económico.

### **7.2.2.- Relación costo-beneficio**

Para este análisis el dato que utilizamos como beneficio al establecer la relación costo beneficio (C/B) está representada por el Producto Marginal (PMg). El producto marginal se obtuvo mediante la resta del producto final, es decir, el peso final de nuestra producción (juveniles de tilapia del Nilo) menos el peso inicial que presentó nuestra producción). Este indicador representa la variación que se presentó en el producto total, medido en gramos, aplicando los cuatro tratamientos de nuestro diseño experimental (7x0, 6x1, 5x2 y 1x1).

Los resultados obtenidos para la relación costo beneficio en la etapa de restricción alimenticia se muestran en la Tabla 4. Para el tratamiento 7x0 presentó un valor de \$0.15. El tratamiento 6x1 mostró valores de \$0.20, mientras que, para el tratamiento 5x2 se registró un valor de \$0.26 y finalmente, para el tratamiento 1x1 se presentó un valor de \$0.35. Los valores obtenidos del análisis costo beneficio nos indican el costo que representa cada gramo de producción obtenida al final del periodo de restricción. De acuerdo con estos resultados el tratamiento que muestra mejores costos de producción es el tratamiento 7x0 seguido del 6x1 habiendo una diferencia de solo \$0.5.

**Tabla 4.** Relación costo/beneficio (C/B) obtenidos en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) en la etapa de restricción alimenticia.

Tratamiento	PMg	CT	C/B
7×0	1435.4	252.90	0.15
6×1	1258.3	251.99	0.20
5×2	1219.9	219.07	0.26
1×1	1027.7	206.00	0.35

\*PMg: Producto Marginal; CT: Costo total.

Con el objeto de comprobar los resultados anteriores se ha obtenido esta misma relación considerando el periodo de realimentación (Tabla 5). Los valores obtenidos fueron de \$0.17 para el tratamiento 7x0, de \$0.20 para el tratamiento 6x1, el tratamiento 5x2 mostró valores similares al tratamiento 7x0 registrando un valor de \$0.17 y finalmente, el tratamiento 1x1 mostró un valor similar al del tratamiento 6x1 de \$0.20. Estos resultados nos indican que el tratamiento 7x0 y 5x2 fueron quienes mostraron menores costos de producción seguidos del resto de los tratamientos (6x1 y 1x1) con un costo por gramo de \$0.20.

**Tabla 5.** Relación costo/beneficio (C/B) obtenidos en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) en la etapa de realimentación.

Tratamiento	PMg	CT	C/B
7×0	1435.4	252.90	0.17
6×1	1258.3	251.99	0.20
5×2	1219.9	219.07	0.179
1×1	1027.7	206.00	0.20

\*PMg: Producto Marginal; CT: Costo total.

### 7.2.3.- Matriz diferencial

Los resultados obtenidos para la matriz diferencial se encuentran contenidos en la Tabla 6. La producción obtenida para el grupo 7x0 fue de 1435.38 g siendo mayor la producción en g en comparación con el grupo 6x1 con una diferencia entre ambos de 177.01 g. Con respecto al grupo 5x2 hubo una diferencia de 215.47 siendo mayor nuevamente el grupo 7x0 y finalmente, el grupo 1x1 mostró una diferencia de 407.67 en comparación con el grupo 7x0 siendo el grupo con menor producción.

La producción obtenida para el grupo 6x1 fue de 1258.31 mostrando una diferencia en comparación con el grupo 5x2 de 38.4 g siendo mayores los valores de producción para el grupo 6x1. Finalmente, hubo una diferencia de 230.60 g en comparación con el grupo 1x1 siendo este grupo con el que hubo mayor diferencia en cuanto a g de producción.

En cuanto al grupo 5x2 presentó un valor de 1219.91 g observándose una diferencia de 192.20 g comparada con el grupo 1x1 que registró un valor de 1027.71 g, siendo este grupo el que mostró menor producción.

En cuanto a los costos de producción obtenidos, el grupo 7x0 presentó un costo de \$252.89 mostrando una diferencia de \$0.90 al ser comparado con el costo del grupo 6x1. Con respecto al grupo 5x2 hubo una diferencia de \$32.91 siendo mayor nuevamente el costo de producción para grupo 7x0 y finalmente, el grupo 1x1 mostró una diferencia de 46.89 en comparación con el grupo 7x0 siendo el grupo con mayor costo de producción.

El costo obtenido para el grupo 6x1 fue de 251.99 mostrando una diferencia en comparación con el grupo 5x2 de \$33.82 siendo mayor el costo de producción para el grupo 6x1. Finalmente, hubo una diferencia de \$45.98 en comparación con el grupo 1x1 manteniéndose el grupo 6x1 como el de mayor costo de producción.

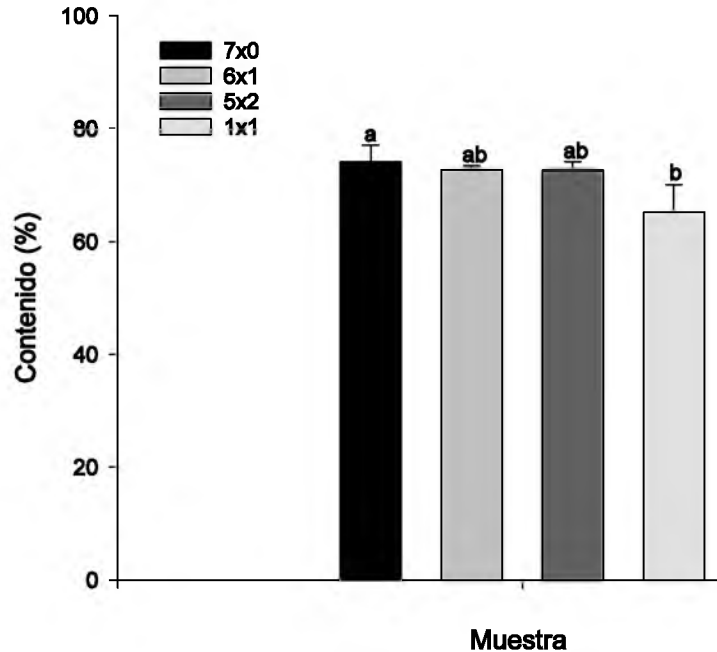
**Tabla 6.** Matriz diferencial obtenidos en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación.

	Costo	7X0	6X1	5X2	1X1
Producción		1435.38	1258.31	1219.91	1027.71
7X0	252.898	1	177.071	215.471	407.678
6X1	251.993	0.90445	1	38.4	230.606
5X2	219.074	32.9192	-33.8237	1	192.206
1X1	206.004	46.8930	-45.9886	13.069	1

En cuanto al grupo 5x2 presentó un valor de \$219.07 observándose una diferencia de \$13.06 comparada con el grupo 1x1 que registró un costo de producción de \$206.00, siendo este último el grupo que mostró menor costo de producción.

### 7.3.- Análisis químico proximal

Los resultados obtenidos para el contenido de humedad se encuentran en la Figura 3. El contenido de humedad registró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el grupo 7x0 mostrando valores más altos en comparación con el grupo 1x1. No se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos 6x1 y 5x2 con respecto al resto de los grupos analizados.

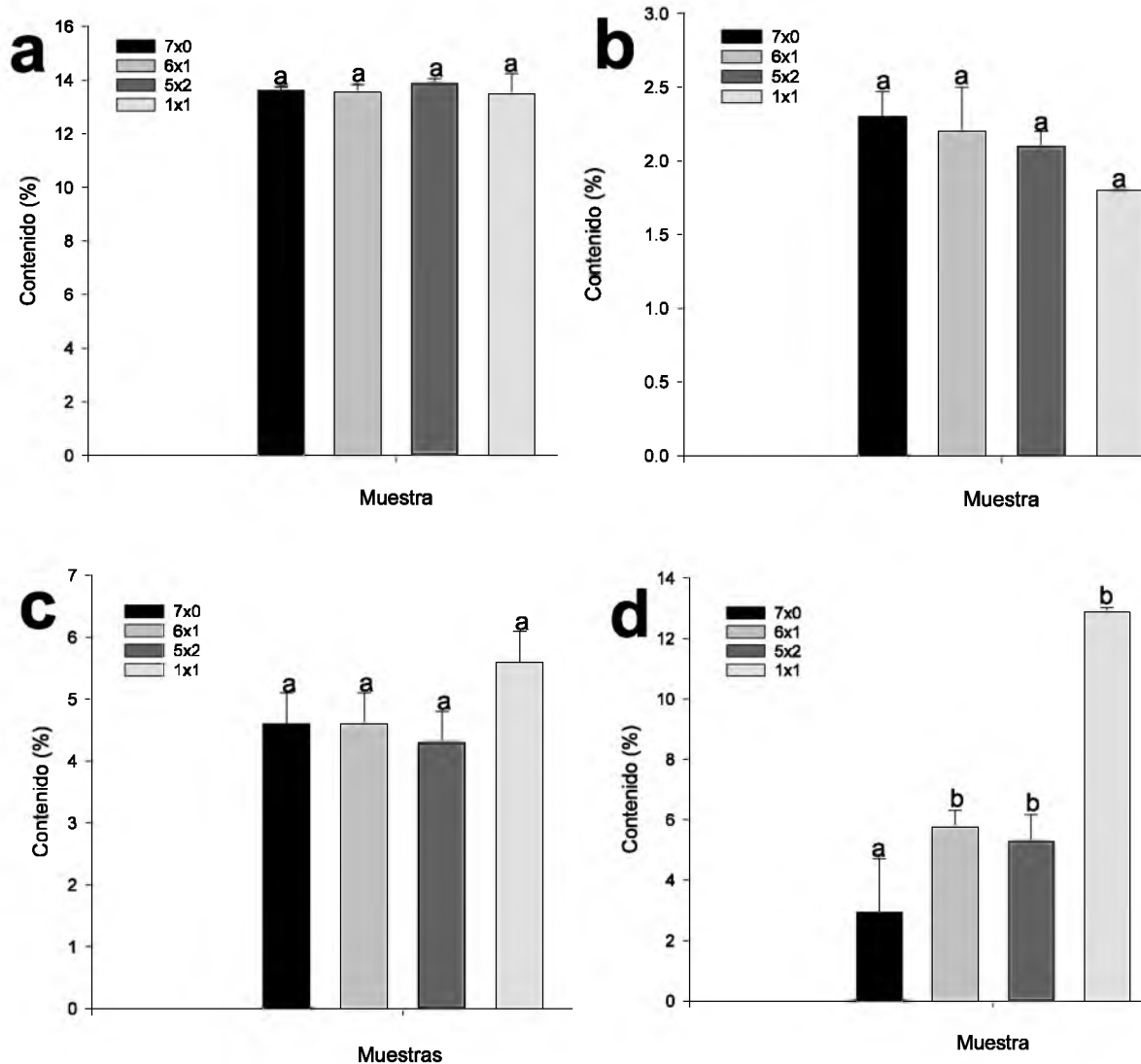


**Figura 3.** Porcentaje de humedad en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. La presencia de superíndices sobre las columnas indica diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Los resultados obtenidos para el contenido de proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos se encuentran contenidos en la Figura 4. Para el contenido de cenizas, lípidos, proteínas no se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en ninguno de los grupos. Mientras que, para el contenido de carbohidratos se registraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el grupo 7x0 en comparación con el resto de los grupos. El grupo 1x1 mostró los valores significativamente más altos en comparación con el grupo 6x1 y 5x2.

Los resultados obtenidos para el análisis de correlación se encuentran contenidos en la Tabla 7. La relación humedad-cenizas presentó un valor de correlación negativa del 50%. En cuanto a carbohidratos-proteína se presentó una

correlación negativa del 96%, siendo está una correlación alta en comparación al resto de los valores obtenidos.



**Figura 4.** a) Porcentaje de proteínas, b) Porcentaje de lípidos, c) Porcentaje de cenizas, d) Porcentaje de carbohidratos en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. La presencia de superíndices con diferente letra sobre las columnas indica diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ).

**Tabla 7.** Análisis de correlación del análisis químico proximal obtenido en juveniles de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación.

	Hu	Ce	Li	Pr	Ch
Hu	1	-0.50	0.04	0.23	-0.96
Ce		1	0.33	-0.27	0.30
Li			1	-0.32	-0.27
Pr				1	-0.22
Ch					1

Hu: Humedad; Ce: Cenizas; Li: Lípidos; Pr: Proteína; Ch: Carbohidratos.

## 8.- DISCUSIÓN

El crecimiento compensatorio es una alternativa para mejorar la tasa de crecimiento de los peces, éste suele preceder a un período de restricción alimentaria (Dobson y Holmes, 1984; Hayward *et al.*, 1997). Los peces sometidos a una restricción nutricional previa pueden recuperar el peso de forma parcial (Miglavs y Jobling, 1989; Jobling, 1993) o completa (Johansen *et al.*, 2001; Maclean y Metcalfe, 2001) y pueden igualar a aquellos que no han sido sometidos a restricción (Dobson y Holmes, 1984; Kim y Lovell, 1995). En nuestro experimento, los resultados obtenidos mostraron que alimentando sólo seis o cinco días a la semana no influye de manera negativa en el peso o talla final, siempre y cuando sea seguido de un periodo de realimentación. De acuerdo con Wang *et al.* (2000) y Gao *et al.* (2015) aplicar este proceso en juveniles de tilapia del Nilo puede aumentar la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia.

Reducir la alimentación de siete a cuatro días (grupo 1x1) mostró un efecto negativo en el crecimiento de juveniles de tilapia del Nilo. Resultados similares han sido mostrados por Villaroel *et al.* (2011), quienes probaron cuatro tratamientos en juveniles de tilapia del Nilo. Los peces que fueron alimentados diariamente presentaron un consumo de alimento significativamente mayor que los que fueron sometidos a restricciones, esto se debe probablemente a las diferencias en cuanto al alimento suministrado a cada uno de los tratamientos.

Ali *et al.* (2016) reportan un crecimiento en peso sin diferencias significativas al final del periodo de realimentación en alevines de tilapia del Nilo utilizando regímenes alimenticios similares a los evaluados en el presente trabajo. En nuestro

experimento, un periodo de restricción de 36 días causó diferencias significativas en los pesos corporales, pero un periodo de realimentación de 24 días fue suficiente para eliminar diferencias en los tratamientos 7x0, 6x1 y 5x2. Los peces del tratamiento 1x1 donde fue mayor la restricción alimenticia presentaron un menor peso en comparación con el resto de los tratamientos, por lo tanto, podemos decir que exhibieron un crecimiento compensatorio parcial.

La exhibición de crecimiento compensatorio durante la etapa de realimentación se hizo clara al evaluar los índices de crecimiento. En cuanto a la biomasa ganada, los grupos 1x1 y 5x2 durante toda la etapa de restricción registraron valores significativamente menores al resto de los grupos, sin embargo, al finalizar el periodo de realimentación los grupos 5x2 y 1x1 mostraron una biomasa ganada significativamente más alta que el grupo 7x0, esto indica que los peces tienen un gran potencial esencial para compensar el período de alimentación restringido anterior y recuperar un tamaño corporal más alto, así como lograr un crecimiento compensatorio completo. Estos resultados son similares a los obtenidos por Gao *et al.* (2015) que evaluaron el crecimiento y la composición corporal de la tilapia del Nilo bajo cinco regímenes de alimentación diferentes. Un grupo control que fue alimentado hasta la saciedad dos veces al día durante 185 días; cuatro grupos que fueron alimentados a intervalos de 2, 3, 4 o 7 días (período "restringido", días 0-80) y luego alimentados hasta la saciedad (período de "realimentación", días 80-185) observando un crecimiento compensatorio en peso y longitud de los grupos con alimentación restringida durante el período de realimentación.

Los resultados observados en el presente estudio pudieron haber sido causados por la cantidad de días que fueron restringidos del alimento los organismos (36 días). A este respecto, Tian y Qin (2004) concluyeron que el crecimiento compensatorio completo ocurre sólo en peces que experimentan una restricción alimenticia moderada. Una compensación completa después de una privación alimenticia ha sido reportada en otras especies como el piscardo (*Phoxinus phoxinus*) (Russell y Wootton, 1992), y la trucha arcoíris (Dobson y Holmes, 1984).

El factor de conversión alimenticia mide el gasto de alimento para convertirlo en 1 kg de carne, por lo tanto, cuando más se acerque este valor a la unidad, más eficiente será la conversión de alimento a carne (Ellis *et al.*, 2002; Zafra *et al.*, 2019). En el presente estudio se observó un valor de FCA alto para el grupo 1x1 desde el día 12 hasta el 48. Al finalizar el periodo de realimentación, los grupos que fueron restringidos dos y tres días presentaron valores de FCA significativamente más bajos que los que fueron alimentados diariamente (7x0) y los que fueron restringidos únicamente un día (6x1). Estos resultados concuerdan con los reportados por Bolívar *et al.* (2006) quienes observaron un FCA significativamente más bajo en alevines de tilapia del Nilo alimentadas en días alternos que para las que fueron alimentadas diariamente, así como lo reportado por Poot-López *et al.* (2020) quienes probaron dos etapas diferentes de alimentación una restringida (RS) y una de compensación (CS) con seis semanas de duración cada una en juveniles de tilapia del Nilo siendo el grupo control (alimentado diariamente) el que presentó mayor crecimiento, pero con mayor índice de conversión alimenticia en la etapa de

restricción. El análisis global de lo anterior mostró que las raciones restringidas iguales o superiores al 80% de la cuota recomendada por las tablas de alimentación (100%), podría presentar un crecimiento compensatorio similar al de las raciones a saciedad, reduciendo significativamente la FCA al final de compensación como en el presente estudio. Lo anterior se puede lograr porque el tiempo de los tratamientos restringidos no fueron letales (Poot-López *et al.*, 2020).

Los peces fueron capaces de compensar el crecimiento, lo que proporciona evidencia de que el crecimiento acelerado y las tasas de crecimiento de los peces pueden regularse con base en la restricción alimentaria previa (Ali *et al.*, 2003). Alamillo (2001) menciona que el valor óptimo del FCA promedio para un sistema de cultivo de tilapia se debe encontrar entre 1.6 y 1.9, y en el presente trabajo, los valores obtenidos de FCA para el período de restricción variaron de 1.05 hasta 1.21 entre los grupos. Aderolu *et al.* (2010) evaluaron el crecimiento, la utilización de nutrientes, los parámetros bioquímicos y hematológicos de alevines de bagre bajo diferentes frecuencias y regímenes de alimentación (siete diferentes frecuencias de alimentación y un grupo control) llegando a la conclusión que los peces restringidos dos días de la semana (T3) mostraron los mejores valores de FCA al final del período experimental en comparación con los grupos T1 (grupo control), T2 y T6 que fueron alimentados diariamente. Lo cual concuerda con nuestros resultados.

La disminución del FCA al final del periodo de restricción puede ser explicado por la mayor BG acompañada de una mejor tasa de conversión alimenticia durante el período de realimentación, los cuales son indicadores de crecimiento compensatorio (Ali y Wootton, 2003). De igual manera, nuestros resultados

concuerdan con lo mencionado por Da Silva *et al.* (2019) quienes trabajaron con juveniles de tilapia del Nilo y observaron una mejora en el FCA al reducir la frecuencia de alimentación.

En cuanto a la TCD, los resultados obtenidos son similares a lo observado por Da Silva *et al.* (2019) quienes trabajaron con juveniles de tilapia del Nilo y obtuvieron una mayor TCD en los grupos que recibieron el 75% de alimento en comparación con los que recibieron el 100% de alimento. Abdelghany y Ahmad (2002) observaron un resultado similar con tilapia del Nilo en policultivo con carpa en vivero. De acuerdo con varios autores los peces por lo general tienden a utilizar mejor los alimentos a tasas de alimentación más bajas (Abdelghany & Ahmed, 2002; Eroldogan *et al.*, 2004). La alimentación de saciedad puede no ser la mejor opción cuando se acompaña de una mayor conversión alimenticia (Mihelakakis *et al.*, 2002). Según Huang *et al.* (2015), sugieren que aumentar la tasa de alimentación por encima de lo que es ideal da como resultado un rendimiento deficiente de tilapia del Nilo. En este sentido, nuestros resultados difieren con los reportados por Alemayehu y Getahun (2017) quienes observaron que la tasa de crecimiento diario disminuyó al disminuir la frecuencia de alimentación. Ayisi *et al.* (2021) evaluaron los efectos de la frecuencia de alimentación en el rendimiento del crecimiento, la utilización del alimento, la composición próxima y los parámetros de calidad del agua del bagre bagrid (*Chrysichthys nigrodigitatus*). Cuatro grupos de peces fueron alimentados con cuatro frecuencias de alimentación diferentes; una, dos, tres y cuatro veces al día, observando una tasa de crecimiento mayor para el grupo que fue restringido, estos resultados indican que la frecuencia de alimentación afecta el

rendimiento del crecimiento y la utilización del alimento, siendo la frecuencia de alimentación de dos veces al día la frecuencia adecuada para obtener el mayor crecimiento, y que niveles más altos de frecuencia de alimentación no implican mejores resultados en cuanto a crecimiento, por el contrario, pueden afectar la calidad del agua y por lo tanto, el crecimiento de los peces. Limbu y Jumman (2014) evaluaron los costos de alimentación, el rendimiento del crecimiento, la utilización del alimento y la tasa de supervivencia durante ocho semanas en tanques utilizando tres diferentes frecuencias de alimentación: alimentados al azar dos veces al día (G1), sin comer durante un día (G2) y dos días (G3), donde la TCD, la tasa de crecimiento específica y la ganancia en peso final fueron significativamente más altas para el grupo G3 que en G1 y G2, por lo tanto, estos resultados de igual manera que los obtenidos en nuestro estudio indican que el desempeño del crecimiento no se ve afectado de manera negativa por la restricción alimenticia, por el contrario, mejora el desempeño del crecimiento de los peces al presentarse el fenómeno de crecimiento compensatorio.

En cuanto al factor de condición (FC), este parámetro indica el estado nutricional de los organismos con base en la cantidad de energía disponible para poder realizar las funciones de crecimiento, madurez y reproducción, indicando de manera general el estado de salud de las poblaciones cultivadas (Cifuentes, *et al.*, 2012; Gupta *et al.*, 2012; Leyton *et al.*, 2015). Para la tilapia del Nilo y sus híbridos cultivados bajo condiciones óptimas se han reportado valores cercanos a 2.0 (Gupta *et al.*, 2012; Leyton *et al.*, 2015). El FC también puede ser implementado para evaluar el estado fisiológico de los peces bajo un estrés potencial (Cifuentes *et al.*,

2012), como puede ocurrir en los juveniles del tilapia del Nilo sometidos a restricciones alimenticias. En nuestro trabajo, los valores de FC observados en los grupos expuestos a restricciones alimenticias mostraron valores cercanos a 2.0, en particular el grupo 1x1 con valores de 1.98 a 2.02 indicando que la restricción alimenticia no altera el FC.

La supervivencia final no mostró diferencias significativas entre el grupo que fue alimentado diariamente y los grupos expuestos a diferentes restricciones alimenticias, lo cual indica que las restricciones no tuvieron un efecto negativo en la tasa de supervivencia. Biswas *et al.* (2006) no encontraron diferencias significativas en la supervivencia de alevines mrigal (*Cirrhinus mrigala*) y rohu (*Labeo rohita*) criados en viveros sometidos a diferentes frecuencias de alimentación. La supervivencia promedio fue superior al 92% independientemente de los regímenes alimenticios utilizados para cada grupo, similar a lo reportado por Da Silva *et al.* (2019) en un estudio realizado en juveniles de tilapia del Nilo utilizando cuatro frecuencias de alimentación, con una supervivencia promedio mayor al 92%. Alemayehu y Getahun (2017) evaluaron el rendimiento del crecimiento y la tasa de supervivencia de la tilapia del Nilo sujeta a diferentes frecuencias de alimentación en cultivo en jaulas y reportaron que la tasa de supervivencia no se vio afectada significativamente por la frecuencia de alimentación y el período experimental entre los tratamientos de alimentación.

Aunque no se registraron diferencias significativas, el grupo 7x0 presentó una tasa de supervivencia menor al resto de los grupos. Bolívar *et al.* (2006) reportan valores de supervivencia más altos para los grupos experimentales (alimentados en

días alternos) que para los controles en siete de las nueve granjas participantes. Sin embargo, esta aparente diferencia en la tasa de supervivencia para los dos programas de alimentación no fue estadísticamente significativa. No se observaron evidencias que sugirieran que las tasas de supervivencia observadas en ese experimento estuvieran relacionadas con el tratamiento o fueran el resultado de una deficiencia nutricional. En nuestro experimento, es probable que la menor supervivencia (aunque no significativa) observada en el grupo 7x0, fuera consecuencia de otras variables, ya que la mortalidad observada fue mayor en una sola réplica.

Con respecto al análisis económico, dado los datos obtenidos para la función de producción cabe señalar que a diferencia de lo que se establece en la teoría, en donde la función de producción debe mostrar por lo menos 2 de las 3 etapas de crecimiento: rendimientos crecientes y decrecientes, en este caso los tratamientos presentan sólo rendimientos crecientes, lo cual se debe a que no se presentan todas las fases del proceso productivo, sino sólo la etapa inicial que corresponde a la etapa de juvenil de la tilapia del Nilo. Lo anterior debido a que las especies de tilapia, por ejemplo, peces de tamaño de 20 g y 100 g (juveniles), la alimentación debe ser del 4 % al 3 % de su peso corporal con una frecuencia de tres a cuatro veces al día, por el contrario, para peces de tamaño >100 g, se debe proporcionar del 3% al 2% de su peso corporal con una frecuencia de dos a tres veces al día para un buen crecimiento, por tanto, la importancia de utilizar juveniles en el experimento radica en la diferencia de las raciones y la frecuencia de alimentación que hay entre la etapa adulta y juveniles (National Research Council, 1993; Surech y Bhujel, 2013).

Además de lo anterior, la limitación de las instalaciones que son de tipo experimentales y no están adaptadas para llevar a cabo el ciclo de cultivo completo, y que, por lo tanto, el experimento tuvo una duración de 60 días.

Por otra parte, al realizar el comparativo de la relación costo beneficio entre las etapas de restricción alimentaria y la de realimentación se observan pequeñas diferencias, ya que en la primera los tratamientos con menos costos son el 7x0 y el 6x0, mientras que en la segunda se mantiene el 7x0, pero el segundo con menor costo es el 5x2. Esto es relevante ya que desde el punto de vista económico la ganancia en peso de la producción total se ve compensada por un menor costo por unidad de producción (g), nótese que en el tratamiento 7x0 el gramo se encarece \$0.02, mientras que en el de 5x2 disminuye en \$0.09. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en la función de producción, en donde son precisamente los tratamientos 7x0 y 5x2 los que mayores rendimientos crecientes presentaron.

Finalmente, desde el punto de vista de la producción total y tomando como referencia el tratamiento 7x0 ya que es el que mayor volumen de producción obtuvo, se observa que el diferencial más bajo se presenta de entre los tratamiento 7x0 y 6x1, seguido por 7x0 y 5x2. Cabe señalar que esta diferencia alcanza casi el 100% más cuando se compara con el tratamiento 1x1, siendo éste el menos favorable.

La diferencia en costos que presentan los tratamientos 7x0 y 6x1 es la menos significativa entre todos los regímenes lo cual coincide con los resultados de costo beneficio ya que casi al mismo costo se está produciendo cerca del 12% menos. Nótese que aun y cuando el tratamiento 1x1 es el más barato y por lo tanto es el

que mayor diferencial presenta con respecto a los otros tratamientos, sin embargo, no compensa a la diferencia presentada en producción.

En cuanto a la composición corporal Shearer (1994) menciona que la humedad se ha relacionado inversamente con los lípidos, sin embargo, nuestros resultados difieren con lo anterior y con lo observado por Da Silva *et al.* (2019) quienes probaron diferentes frecuencias de alimentación a lo largo del día y obtuvieron un incremento en el contenido de humedad acompañado de una disminución en contenido de lípidos, así como un aumento en el contenido de cenizas.

En este sentido, es claro que la privación de alimento tiene influencia en el contenido de humedad y carbohidratos, por lo tanto, podría influir en contenido de proteínas, lípidos, y cenizas , aunque probablemente se requiera de periodos más largos de restricción alimenticia para observar un efecto concluyente como los observados por Ali *et al.* (2016) quienes probaron diferentes frecuencias de alimentación y privación de alimento con un período de 12 semanas y observaron una disminución lineal en el contenido de proteínas y lípidos y un aumento en contenido de cenizas y humedad, lo anterior podría deberse a una sustitución de los lípidos musculares por agua. De igual manera Wang *et al.* (2000) demostraron que la humedad corporal de la tilapia y ceniza tendieron a ser más altos, mientras que los contenidos de lípidos y proteínas tendía a ser menor a medida que la duración de la privación aumenta. Por el contrario, en el presente trabajo probablemente los resultados obtenidos en cuanto a porcentaje de proteínas, lípidos y cenizas no se vieron afectados debido a que el periodo de privación de alimento fue corto (36 días)

y posteriormente hubo un periodo de realimentación. Tian y Qin (2004) concluyeron que el crecimiento compensatorio completo ocurre solo en peces que experimentan una restricción alimenticia moderada, lo anterior también podría implicar que periodos largos de restricción no solo influyan en el crecimiento en peso sino también en la composición corporal de los peces y concuerde con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Nuestros resultados son consistentes con los de Lana *et al.* (2016) que trabajaron con tilapia del Nilo, utilizando cinco regímenes de alimentación: dos (8 am y 6 pm); tres (8 am, 1:30 pm y 6 pm); cuatro (8 am, 10:30 am, 2:30 pm y 6 pm); cinco (8 am, 10:30 am, 1:30 pm, 3:30 pm y 6 pm); y seis (8 am, 10 am, 12 pm, 2 pm, 4 pm y 6 pm) veces al día. Ellos no observaron diferencias significativas en el contenido de proteína y lípidos.

Montoya-Camacho *et al.* (2018) evaluaron tres niveles de sustitución de proteínas de origen animal por vegetal sobre la condición fisiológica de la tilapia del Nilo, obteniendo como resultado un aumento en el contenido de carbohidratos conforme se restringía a los peces de proteína animal observándose un incremento significativo en el contenido de glucógeno, de igual manera, también ha sido reportado por Vilhelmsson *et al.* (2004) quienes probaron una dieta compuesta por una mezcla de proteínas vegetales y una dieta basada en harina de pescado en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y observaron que, los peces que fueron alimentados bajo restricción proteica tienden a almacenar más carbohidratos, por lo que, a mayor restricción mayor es la cantidad de glucógeno almacenado en el pez. Lo anterior podría explicar

las diferencias en cuanto a contenido de carbohidratos para el grupo 1x1 siendo este el que presentó un mayor contenido en comparación con el resto de los grupos analizados y que, posiblemente a mayor restricción mayor será la cantidad de glucógeno almacenado.

## **9.- CONCLUSIONES**

1.- La tilapia del Nilo exhibió el fenómeno de crecimiento compensatorio durante la etapa de realimentación y su magnitud dependió de la intensidad de la restricción alimenticia.

2.- Los grupos 5x2 y 1x1 presentan los mejores parámetros de crecimiento; biomasa ganada, factor de conversión alimenticia y tasa de crecimiento diario durante el periodo de realimentación.

3.- Los grupos 7x0 y 5x2 presentaron los mayores rendimientos crecientes y menor costo de producción al final del período de realimentación.

4.- La restricción alimenticia tuvo influencia en el contenido de humedad y carbohidratos, por lo tanto, podría influir en contenido de proteínas, lípidos, y cenizas, aunque probablemente se requiera de periodos más largos de restricción alimenticia para observar un efecto concluyente.

5.- La tasa de supervivencia no se ve afectada de manera significativa por la restricción alimenticia.

## 10.- REFERENCIAS

- Abdelghany, A. E., & Ahmad, M. H. (2002). Effects of feeding rates on growth and production of Nile tilapia, common carp, and silver carp polycultured in fertilized ponds. *Aquaculture Research*, 33(6), 415-423.
- Adebayo, O. T., Balogun, A. M., & Fagbenro, O. A. (2000). Effects of feeding rates on growth, body composition and economic performance of juvenile clariid catfish hybrid (female *Clarias gariepinus* × male *Heterobranchus bidorsalis*). *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 15(2), 109-117.
- Aderolu, A. Z., Seriki, B. M., Apatira, A. L., & Ajaegbo, C. U. (2010). Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and economic viability of rearing African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) fingerlings and juveniles. *African Journal of Food Science*, 4(5), 286-290.
- Alamillo, T. H. 2001. Cultivo de tilapia. ZOE Tecno-Campo. México DF México: 10-12. Consultado en: [www.zootecnocampo.com/documentos/tilapia/tilapia.htm](http://www.zootecnocampo.com/documentos/tilapia/tilapia.htm).
- Alemayehu, T. A., & Getahun, A. (2017). Effect of feeding frequency on growth performance and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L. 1758) in a cage culture system in Lake hora-Arsedi, Ethiopia. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 8(4), 1-5.
- Ali, M., Nicieza, A., & Wootton, R. J. (2003). Compensatory growth in fishes: a response to growth depression *Fish and Fisheries*, 4 (2), 147-190.

- Ali, T. E. S., Martínez-Llorens, S., Moñino, A. V., Cerda, M. J., & Tomás-Vidal, A. (2016). Effects of weekly feeding frequency and previous ration restriction on the compensatory growth and body composition of Nile tilapia fingerlings. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42(3), 357-363.
- AOAC. (2005). Métodos oficiales de análisis, 18ª ed. Washington DC: Colegio Oficial de Químicos Analíticos.
- Ayisi, C. L., Debra, G., & Alhassan, E. H. (2021). Effects of feeding frequency on growth performance of the juvenile bagrid catfish, *Chrysichthys nigrodigitatus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 25(6): 513 – 527.
- Azodi, M., Nafisi, M., Morshedi, V., Modarresi, M., & Faghieh-Ahmadani, A. (2016). Effects of intermittent feeding on compensatory growth, feed intake and body composition in Asian sea bass (*Lates calcarifer*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(1), 144-156.
- Bavčević, L., Klanjšček, T., Karamarko, V., Aničić, I., & Legović, T. (2010). Compensatory growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) compensates weight, but not length. *Aquaculture*, 301(1-4), 57-63.
- Bevitorio, É. P., de Magalhães Junior, F. O., dos Santos Cipriano, F., de Souza, R. H. B., de Lima, K. S., Chiapetti, J., & Braga, L. G. T. (2015). Performance and economic analysis of the production of Nile tilapia submitted to different feeding management. *Semina: Ciências Agrarias*, 36(2), 4481-4491.
- Biswas, G., Jena, J. K., Singh, S. K., Patmajhi, P., & Muduli, H. K. (2006). Effect of feeding frequency on growth, survival, and feed utilization in mrigal, *Cirrhinus*

*mrigala*, and rohu, *Labeo rohita*, during nursery rearing. *Aquaculture*, 254(14), 211-218.

Blanquet, I., & Oliva-Teles, A. (2010). Effect of feed restriction on the growth performance of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles under commercial rearing conditions. *Aquaculture Research*, 41(8), 1255-1260.

Bolivar, R. B., Jimenez, E. B. T., & Brown, C. L. (2006). Alternate-day feeding strategy for Nile tilapia grow out in the Philippines: marginal cost-revenue analyses. *North American Journal of Aquaculture*, 68(2), 192-197.

Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 86-100.

Crampton, V. (1991). Take a break. Save a buck. *Northern Aquaculture*, 1, 21-23.

Da Silva, M. A., de Alvarenga, É. R., Costa, F. F. B. D., Turra, E. M., Alves, G. F. D. O., Manduca, L. G., Sales, S. C. M., Leite, N. R., Bezerra, V. M. Moraes, S. C. D. S., & Teixeira, E. D. A. (2020). Feeding management strategies to optimize the use of suspended feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in bioflocs. *Aquaculture Research*, 51(2), 605-615.

De Silva, S. S. (1985). Performance of *Oreochromis niloticus* (L.) fry maintained on mixed feeding schedules of differing protein content. *Aquaculture Research*, 16(4), 331-340.

- De Silva, S. S. (1989). Reducing feed cost in semi-intensive aquaculture systems in the tropics. *Naga*, 12(4), 6-7.
- De Silva, S. S., & Anderson, T. A. (1994). Fish nutrition in aquaculture (Vol. 1, pp. 320). Springer Science & Business Media.
- De Silva, S., Turchini, G., & Francis, D. (2013). Nutrition in: Aquaculture: Agriculture aquatic plants and animals, Second edition. Lucas, J.S., & Southgate, P.C. (Eds.) Wiley-Blackwell, UK. p. 164-187.
- Diario oficial de la federación. (2019). Ley del impuesto sobre la renta. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5581292&fecha=09/12/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5581292&fecha=09/12/2019).
- Dobson, S. H., & Holmes, R. M. (1984). Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology*, 25(6), 649-656.
- Dong, G. F., Yang, Y. O., Yao, F., Chen, L., Yue, D. D., Yu, D. H., Huang, F., Liu, J., & Liu, L. H. (2017). Growth performance and whole-body composition of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson) under feeding restriction. *Aquaculture Nutrition*, 23(1), 101-110.
- Egea Nicolás, M. Á., Rueda González, F., Martínez López, F. J., & García García, B. (2002). Efecto de la realimentación tras un periodo de ayuno sobre el crecimiento en el sargo picudo *Diplodus puntazzo* (Cetti, 1777). *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*, 18(1-4), 357-362.

- Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M. & Gadd, D. (2002). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61(3), 493-531.
- El-Sayed, A. F. M. (1999). Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* *Aquaculture*, 179(1-4), 149-168.
- El-Sayed, A. F. M. (2006). Tilapia Culture. CABI Publishing, Londres, Reino Unido.
- Eroldoğan, O. T., Kumlu, M. E. T. İ. N., & Aktaş, M. (2004). Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. *Aquaculture*, 231(1-4), 501-515.
- FAM (2014). Fuerza Aérea Mexicana. Estadística Meteorológica Mensual. Dirección de Servicio Meteorológico. Estación Loma Bonita, Oaxaca, México.
- FAO. (2014). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma. 253 pp.
- FAO. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Furuya, W. M., Fujii, K. M., Santos, L. D. D., Silva, T. S. D. C., Silva, L. C. R. D., & Sales, P. J. P. (2008). Exigência de fósforo disponível para juvenis de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1517-1522.

- Gaber, M. M., & Hanafy, M. A. (2008). Relationship between dietary protein source and feeding frequency during feeding Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) cultured in Concrete Tanks. *Journal of Applied Aquaculture*, 20(3), 200-212.
- Gao, Y., Wang, Z., Hur, J. W., & Lee, J. Y. (2015). Body composition and compensatory growth in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* under different feeding intervals. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33(4), 945-956.
- Goddard, S. (1996). Feed management in intensive aquaculture. Springer Science & Business Media.
- Godfray, H. C. J., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Nisbett, N., Pretty, J., Robinson, S., Toulmin C., & Whiteley, R. (2010). The future of the global food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365, 2769-277.
- Gokcek, C. K., Mazlum, Y., & Akyurt, I. (2008). Effect of feeding frequency on the growth and survival of Himri Barbel *Barbus luteus* (Heckel, 1843), fry under laboratory conditions. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(1), 66-69.
- Gupta, N., Haque, M. M., & Khan, M. (2012). Growth performance of tilapia fingerling in cage in ponds managed by Adivasi households: An assessment through length-weight relationship. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 10, 149-155.
- Hanssen, H., Imsland, A. K., Foss, A., Vikingstad, E., Bjørnevik, M., Solberg, C., Roth, B., Norberg, B., & Powell, M. D. (2012). Effect of different feeding

- regimens on growth in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua*. *L. Aquaculture*, 364, 298-304.
- Hayward, R. S., Noltie, D. B., & Wang, N. (1997). Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. *Transactions of the American Fisheries Society*, 126(2), 316-322.
- Huang, Q., Huang, K., Ma, Y., Qin, X., Wen, Y., Sun, L., & Tang, L. (2015). Feeding frequency and rate effects on growth and physiology of juvenile genetically improved farmed Nile Tilapia. *North American Journal of Aquaculture*, 77(4), 503-512.
- Jobling, M. (1983). Growth studies with fish-overcoming the problems of size variation. *Journal of Fish Biology*, 22(2), 153-157.
- Jobling, M. E. H. J., Jørgensen, E. H., & Siikavuopio, S. I. (1993). The influence of previous feeding regime on the compensatory growth response of maturing and immature Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology*, 43(3), 409-419.
- Jobling, M., & Koskela, J. (1996). Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in a subsequent period of compensatory growth. *Journal of Fish Biology*, 49(4), 658-667.
- Jobling, M., Alanärä, A., Kadri, S., & Huntingford, F. (2012). Feeding biology and foraging. *Aquaculture and Behavior*. Wiley-Blackwell, 121-149.

- Johansen, S. J. S., Ekli, M., Stangnes, B., & Jobling, M. (2001). Weight gain and lipid deposition in Atlantic salmon, *Salmo salar*, during compensatory growth: evidence for lipostatic regulation. *Aquaculture Research*, 32(12), 963-974.
- Jørgensen, E. H., Baardvik, B. M., Eliassen, R., & Jobling, M. (1996). Food acquisition and growth of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to spatial distribution of food. *Aquaculture*, 143(3-4), 277-289.
- Kim, M. K., & Lovell, R. T. (1995). Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds. *Aquaculture*, 135(4), 285-293.
- Kindschi, G. A. (1988). Effect of intermittent feeding on growth of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Aquaculture Research*, 19(2), 213-215.
- Kocabaş, M., Başçınar, N., Kayım, M., Er, H., & Şahin, H. (2013). The effect of different feeding protocols on compensatory growth of black sea trout *Salmo trutta labrax*. *North American Journal of Aquaculture*, 75(3), 429-435.
- Lanna, E. A. T., Bomfim, M. A. D., Ribeiro, F. B., & Quadros, M. (2016). Feeding frequency of Nile tilapia fed rations supplemented with amino acids. *Revista Caatinga*, 29, 458-464.
- Leyton, S. A., Muñoz, E., Gordillo, M., Sánchez, G. C., Muñoz, L. A. & Soto, A. (2015). Estimación del factor de condición de fulton (k) y la relación longitud peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometido a factores de estrés ambiental en la cuenca alta del río cauca. *Magazine of the Colombian Association of Biological Sciences (ACCB)*, 1(27).

- Limbu, S. M., & Jumanne, K. (2014). Effect of restricted and re-feeding regime on feeding cost, growth performance, feed utilization and survival rate of mixed sex Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in tanks. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2(1), 118-123.
- Lovell, R. T. (1992). Comparison of satiate feeding and restricted feeding in channel catfish with various concentrations of dietary proteins in production ponds. *Aquaculture*, 103(2), 165-175.
- Macleán, A., & Metcalfe, N. B. (2001). Social status, access to food, and compensatory growth in juvenile *Atlantic salmon*. *Journal of Fish Biology*, 58(5), 1331-1346.
- Marques, H. D. A., & Lombardi, J. V. (2011). Crecimiento compensatorio de langostinos de Malasia criados a altas densidades durante la fase de cría. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 701-707.
- Miglavs, I., & Jobling, M. (1989). Effects of feeding regime on food consumption, growth rates and tissue nucleic acids in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, with particular respect to compensatory growth. *Journal of Fish Biology*, 34(6), 947-957.
- Mihelakakis, A., Tsoikas, C., & Yoshimatsu, T. (2002). Optimization of feeding rate for hatchery-produced juvenile gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(2), 169-175.
- Montoya-Camacho, N., Oloño, J. T. H., Ríos, E. M., Rodríguez-Félix, F., Torres Arreola, W., Yañez, F. J. C., Canizales-Rodríguez, D. F., & Higuera, V. M. O.

- (2018). Efecto de la sustitución de proteína animal por vegetal en el alimento sobre la fisiología de la tilapia del Nilo. *Biotechnia*, 20(2), 37-42.
- Nacional Financiera. (1998). Diplomado en el ciclo de vida de los proyectos de inversión, cuarta reimpresión, Nacional Financiera, S.N.C. Dirección de comunicación social. México, D. F. 155 pp.
- National Research Council. (1993). *Nutrient requirements of fish*. National Academies Press.
- Nicieza, A. G., & Metcalfe, N. B. (1997). Growth compensation in juvenile Atlantic salmon: responses to depressed temperature and food availability. *Ecology*, 78(8), 2385-2400.
- Oh, S. Y., Kim, M. S., Kwon, J. Y., & Maran, B. V. (2013). Effects of feed restriction to enhance the profitable farming of blackhead seabream *Acanthopagrus schlegelii schlegelii* in sea cages. *Ocean Science Journal*, 48(3), 263-268.
- Pillay, T. V. R., & Kutty, N. M. (2005). *Aquaculture principles and practices*. Blackwell Publishing Ltd. Iowa. pp.575.
- Poot-López, G. R., Hernández, J. M., & Gasca-Leyva, E. (2014). Analysis of ration size in Nile tilapia production: economics and environmental implications. *Aquaculture*, 420, 198-205.
- Poot-López, G. R., Gasca-Leyva, E., González-Salas, C., Guillen-Hernández, S., & Domínguez-May, R. (2020). Compensatory growth in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: feed conversion ratio, size heterogeneity, and proximal composition. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(3), 421-428.

- Riche, M. A. (2008). Food for thought: feeding management strategies (Part 2). *Global Aquaculture Advocate*, 11(1), 68-70.
- Riche, M., Haley, D. I., Oetker, M., Garbrecht, S., & Garling, D. L. (2004). Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 234(1-4), 657-673.
- Rosado, D. E. P., & Arroniz, J. V. (2014). La acuicultura mexicana: potencialidad, retos y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 35, 1065-1071.
- Rueda, F. M., Martínez-López, F. J., Zamora-Navarro, S., Divanach, P., & Kentouri, M. (1995). Crecimiento compensatorio en *Pagrus pagrus* en la realimentación después del ayuno. In Actas del VI Congreso Nacional de Acuicultura, Cartagena (pp. 447-452).
- Russell, N. R., & Wootton, R. J. (1992). Appetite and growth compensation in the European minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae), following short periods of food restriction. *Environmental Biology of Fishes*, 34(3), 277-285.
- Schwarz, F. J., Plank, J., & Kirchgessner, M. (1985). Effects of protein or energy restriction with subsequent realimentation on performance parameters of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 48(1), 23-33.
- Shearer, K. D. (1994). Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. *Aquaculture*, 119(1), 63-88.
- Stumpf, L., Calvo, N. & López, L. (2009). Crecimiento compensatorio en juveniles tempranos de la langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus*

(Parastacidae): I. Protocolo de alimentación-inanición. Ponencia presentada en el XII Congreso Nacional de Acuicultura, Fundación Observatorio Español de Acuicultura, Madrid, España.

Sung-Yong, O., Min-Suk, K., Joon, K., & Venmathi, B.A (2013). Effects of feed restriction to enhance the profitable farming of blackhead seabream *Acanthopagrus schlegelii schlegelii* in sea cages. *Ocean Science Journal*, 48(3), 263-268.

Suresh, V., & Bhujel, R. C. (2013). Tilapias. *Aquaculture: farming aquatic animals and plants*, (Ed. 2), 338-364.

Tacon, A. G., & De Silva, S. S. (1997). Feed preparation and feed management strategies within semi-intensive fish farming systems in the tropics. *Aquaculture*, 151(1-4), 379-404.

Tacon, A. G., Metian, M., Turchini, G. M., & De Silva, S. S. (2010). Responsible aquaculture and trophic level implications to global fish supply. *Reviews in Fisheries Science*, 18(1), 94-105.

Tian, X., & Qin, J. G. (2003). A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 224(1-4), 169-179.

Tian, X., & Qin, J. G. (2004). Effects of previous ration restriction on compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 235(1-4), 273-283.

Tran L.D., Dink T.V., Ngo, T.P., & Fotedar, R. (2011). Recent advances and new species in aquaculture. Wiley- Blackwell, UK. pp.416.

- Tucker, C. S., & Hargreaves, J. A. (Eds.). (2009). Environmental best management practices for aquaculture. John Wiley & Sons.
- Varian, H. (1999): "Microeconomía intermedia". Antoni Bosch Editor.
- Vilhelmsson, O. T., Martin, S. A., Médale, F., Kaushik, S. J., & Houlihan, D. F. (2004). Dietary plant-protein substitution affects hepatic metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *British Journal of Nutrition*, 92(1), 71-80.
- Villarroel, M., Alavriño, J. M. R., & López-Luna, J. (2011). Effect of feeding frequency and one day fasting on tilapia (*Oreochromis niloticus*) and water quality. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, IIC:63.2011.609, 1-6.
- Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y., & Cai, F. (2000). Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* reared in seawater. *Aquaculture*, 189(1-2), 101-108.
- Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y., & Cai, F. (2005). Partial compensatory growth in hybrid tilapia *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* following food deprivation. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(5), 389-393.
- Wang, Y., Li, C., Qin, J. G., & Han, H. (2009). Cyclical feed deprivation and refeeding fails to enhance compensatory growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, 40(2), 204-210.
- Wang, C., Liang, Y., Fang, Y., & Chang, X. (2019). Effects of cyclical short-term food deprivation and refeeding on compensatory growth and gene expression of SOD, GPX and HSP70 in *Schizothorax wangchiachii*. *Fish & Shellfish Immunology*, 94, 628-633.

- Wieser, W., Krumschnabel, G., & Ojwang-Okwor, J. P. (1992). The energetics of starvation and growth after refeeding in juveniles of three cyprinid species. In: *Environmental biology of European cyprinids* (pp. 63-71). Springer, Dordrecht.
- Xie, S., Cui, Y., Yang, Y., & Liu, J. (1998). Effect of protein level in supplemental diets on the growth of cage-cultured Nile tilapia in the east lake, PR China. *Asian Fisheries Science*, 10, 233-240.
- Ye, J. D., Chen, J. C., & Wang, K. (2016). Growth performance and body composition in response to dietary protein and lipid levels in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) subjected to normal and temporally restricted feeding regimes. *Journal of Applied Ichthyology*, 32(2), 332-33.
- Zafra, T. A. M., Díaz Barboza, M. E., Dávila Gil, F. A., Fernández Chumbe, R. E., Vela Alva, K. A., & Guzmán Santiago, H. H. (2019). Conversión y eficiencia alimenticia de *Oreochromis aureus* var. *suprema* (Cichlidae) con diferente alimento balanceado en sistema cerrado, Trujillo, La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 815-826.
- Zhu, X., Cui, Y., Ali, M., & Wootton, R. J. (2001). Comparison of compensatory growth responses of juvenile three-spined stickleback and minnow following similar food deprivation protocols. *Journal of Fish Biology*, 58(4), 1149-1165.
- Zhu, X., Xie, S., Lei, W., Cui, Y., Yang, Y., & Wootton, R. J. (2005). Compensatory growth in the Chinese longsnout catfish, *Leiocassis longirostris* following feed

deprivation: Temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *Aquaculture*, 248(1-4), 307-314.