

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia de Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
**Producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y rábano (*Raphanus sativus*) en
acuaponía con suplementación proteica de *Hermetia illucens***

Estudiantes

Edison Gabriel Guerra
Ferdy Eduardo Paiz Pérez

Asesores

Patricio E. Paz, Ph.D.
Jesús Orozco, Ph.D.

Honduras, junio 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA ODILA TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos.....	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos	13
Localización	13
Materiales	13
Tratamientos.....	13
Variables Evaluadas	15
Ganancia Diaria de Peso (GDP)	15
Índice de Conversión Alimenticia (ICA).....	15
Monitoreo de la Calidad de Agua	15
Número de Hojas	15
Diámetros Polares.....	16
Diámetro Ecuatorial	16
Peso.....	16
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	17
Alevines.....	17
Rábano	17

Resultados y Discusión.....	18
Parámetros Calidad de Agua.....	18
Temperatura	18
Oxígeno Disuelto (OD)	19
pH.....	20
Amonio.....	21
Alevines.....	22
Biomasa.....	22
Ganancia de Peso.....	23
Índice de Conversión Alimenticia (ICA).....	23
Rábano	24
Numero de Hojas	24
Diámetros Polares.....	25
Diámetros Ecuatoriales.....	25
Peso.....	26
Conclusiones	27
Recomendaciones.....	28
Referencias.....	29
Anexos.....	32

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tratamientos Evaluados en el Experimento Para Tilapia Gris (<i>Oreochromis Niloticus</i>) en la Etapa de Pre-Engorde	14
Cuadro 2 Composición De Dieta Para Cada Tratamiento Realizadas Para la Alimentación Tilapia Gris	14
Cuadro 3 Tratamiento Evaluado en el Experimento Para Rábano (<i>Raphanus Sativus</i>) Durante 28 Días	14
Cuadro 4 Tratamientos Evaluados en el Experimento Para Tilapia Gris (<i>Oreochromis Niloticus</i>) en la Etapa de Pre Engorde.....	24
Cuadro 5 Efecto de la producción de rábano entre siembra hidropónica y del rábano sembrado a suelo directo.....	26

Índice de Figuras

Figura 1 Niveles de Temperatura (°C) del Agua de Cada Tratamiento Evaluado Desde el Mes de Mayo a Junio del 2022	18
Figura 2 Niveles de Concentración de Oxígeno Disuelto (ppm) en el Agua de Cada Tratamiento Evaluado Desde el Mes de Mayo a Junio 2022	19
Figura 3 Niveles de Concentración del pH en el Agua de Cada Tratamiento Evaluado Desde el Mes de Mayo a Junio 2022.	21
Figura 4 Niveles de Concentración de Amonio (mg/L) en el Agua de Cada Tratamiento Evaluado Desde el Mes de Mayo a Junio de 2022.	22

Índice de Anexos

Anexo A Parámetros Calidad de Agua	32
Anexo B Tratamientos Usados en la Alimentación de <i>Oreochromis Niloticus</i>	33
Anexo C Formulación de Dieta Para Cada Tratamiento Realizadas Para la Alimentación de <i>Oreochromis Niloticus</i>	34
Anexo D Aportes Nutricionales.....	35

Resumen

En los últimos años, la degradación de los recursos naturales ha ido en aumento debido al exponencial crecimiento de la población humana. Para resolver este problema y conservar la biodiversidad del planeta, necesitamos desarrollar métodos de producción agrícola/pecuaria eficientes y autosostenibles. La investigación que se realizó pretende encontrar el mejor tipo de alimento proteico o alternativas de este para la producción de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*), además de comparar la producción tradicional de rábanos (*Raphanus sativus*) contra la producción hidropónica con residuos acuícolas. Se evaluaron cuatro tratamientos de alimentación con distinto porcentaje de harina de *Hermetia illucens* siendo 0, 20, 35 y 50%, respectivamente, todas estas contaron con un 38% de proteína cruda (PC) evaluando índice de conversión alimenticia, ganancia diaria de peso, biomasa, en la producción de rábanos se evaluó dos tratamientos, la tradicional y la hidropónica con utilización de residuos acuícolas evaluando número de hojas, peso y diámetros polares en tiempo de su cosecha, para analizar los datos se utilizó el software JMP® from SAS. Al final de la investigación se observó que los tratamientos de alimentación previamente evaluados son estadísticamente iguales, una posible razón de ello es que todos contaban con el mismo %PC el cual es el principal factor que influye en el aumento de peso de las especies animales, por otra parte, no se encontró diferencias entre las cuatro dietas en los alevines, sin embargo, si se encontró que la producción hidropónica tiene menores índices de producción que la tradicional.

Palabras clave: Alimento, mosca guarera, sistema.

Abstract

In recent years, the degradation of natural resources has been increasing due to the exponential growth of the human population. To solve this problem and conserve the planet's biodiversity, we need to develop efficient and self-sustaining agricultural/livestock production methods. The research conducted aims to find the best type of food or alternatives to produce gray Tilapia (*Oreochromis niloticus*), in addition to comparing the traditional production of radishes against hydroponic production with aquaculture waste. Four feeding treatments have been evaluated with different percentage of *Hermetia* flour being 0%, 20%, 35% and 50% respectively, all these will have 38% crude protein (PC) to avoid bias in the research, in the production of radishes (*Raphanus sativus*), two treatments have been evaluated, the traditional and the hydroponic with the use of aquaculture waste. At the end of the research, it was observed that there is no significant difference between the four feeding treatments for gray Tilapia, on the other hand, there is a significant difference in the hydroponic production of radishes since it came out below the traditional production indices. The feeding treatments previously evaluated are statistically the same, a possible reason for this is that they all had the same %PC which is the main factor that influences the weight gain of animal species, on the other hand, the production of radishes in hydroponics with aquaculture waste is deficient due to the stress of the plant at the time of transplanting.

Keywords: Black soldier fly, feed, system.

Introducción

En el mundo contemporáneo se vive día a día una gran pérdida de suelo productivo por medio de diferentes factores como la creciente población, las cuales reducen el área agrícola de producción (FAO 2015). De igual manera, en la explotación marina, océanos, ríos y lagos existe una gran contaminación debido a los desechos humanos, lo cual afecta a la calidad del agua y la inocuidad de los peces que habitan en las zonas damnificadas (FAO 1991). En el entorno latinoamericano, se ha logrado observar un antes y después al tratar temas de sobrepoblación que ha traído como consecuencia la escasez de alimentos y bajos índices de desarrollo humano (PNUD 2020). La región de América Latina junto con el Caribe forma parte de las principales zonas de producción y exportación de alimento a nivel global (CEPAL 2019).

El crecimiento poblacional ha llevado de la mano varias consecuencias como lo es el calentamiento global, pérdida de suelos, los cuales sufren degradaciones se vuelven infértiles (Euskadi 2017). Además, prolongadas sequías o lluvias constantes en los cuerpos de agua provocan consecuencias graves, ya que los océanos, ríos, lagos entre otros cuerpos de agua son utilizados como vertederos (Jacob 2019). Los desechos de estos van desde un pequeño popote a desechos de plantas nucleares, extracción de petróleo, entre otros. Ocasionando pérdida de biodiversidad marina, de igual manera mutaciones a los animales que habitan los cuerpos de agua afectados (Collado Ruano 2016).

En vista de todo lo antes mencionado, se debe innovar en la forma de producción para poder alimentar a la población en un mundo donde el suelo en su mayoría está erosionado, áreas reducidas para producción agrícola y agua contaminada por malas prácticas en agricultura e industria. Se debería optar por una producción de doble propósito y en este ámbito entra la acuaponía de la mano de producción hidropónica, de tal manera se lograría obtener dos productos en un espacio en el cual solo se lograba producir uno. desde la alimentación de los peces en este caso la tilapia, y los residuos biológicos de la misma que están en el agua serán utilizada como fertilizante para los vegetales que se van a sembrar, para que estos biofertilizantes no afecten al agua y suelo (Grajales 2014).

Una de las industrias de mayor crecimiento durante las últimas décadas es la producción acuícola, La producción acuícola mundial de animales acuáticos cultivados creció, en promedio, un 5.3% anual en el período 2001-2018 esto debido a que el pescado es uno de los productos más apetecibles en los mercados actuales y de igual manera muy nutritivo (FAO 2020). En la búsqueda de prácticas amigables con el ambiente, reducir la tala de árboles para aumentar el área agrícola y cuidar el agua, se busca implementar el uso de un sistema en el cual se pueda obtener una producción doble en términos de animales y de vegetales (FAO 2019). En este caso la producción de rábano *Raphanus sativus* / Cruciferae (Brassicaceae) y de tilapias para la zona de Centroamérica, buscando mitigar la explotación medioambiental y reducir los contaminantes en el agua a causa del uso de fertilizantes inorgánicos (Grajales 2014).

En la producción hidropónica se busca reducir el impacto de contaminantes al agua y también a reusar la misma por medio de un circuito cerrado, como antes se mencionó lo que se busca es reducir el impacto al cuerpo denominado agua, de igual manera evitar la degradación del suelo por el empleo de fertilizantes inorgánicos los cuales provocan lixiviación de nutrientes, salinidad en el agua y de igual forma afecta el pH del suelo (Rueda 2021). En la búsqueda de un biofertilizante orgánico que se encuentre en el agua sin contaminar la misma y de igual manera la aplicación de la misma en un cultivo de vegetales se optó por un sistema de acuaponía unido con hidroponía formando un sistema “nutrient film technique” (NFT) en el cual se puede producir el rábano a base de la utilización de agua con residuos biológicos denominados heces de tilapia, de esta forma se optó por la comparación de cuatro dietas para la alimentación, por ende se evaluara la mejor dieta para el crecimiento de tilapia, y se evaluara si el agua con el biofertilizante cubre los requerimientos nutriológicos del cultivo en este caso el rábano, el cual será sembrado en un sustrato inerte únicamente centrándose en el análisis del agua utilizada como fertilizante orgánico (González Vega 2016).

Es sabido que el alimento y los costos de alimento tienen una alta importancia en la acuicultura. Y en los últimos años debido a la pandemia los costos de las materias primas para la formulación de las dietas han aumentado, por lo que es importante buscar alternativas de fuentes de

proteína mucho más económicas como la harina de la mosca guarera, *Hermetia illucens* L. que tienen un alto valor nutricional que dependiendo del sustrato que fueron criados, tienen porcentajes de proteína bruta que van del 28 al 48% y niveles de lípidos del 12 al 42% (Nicole Perdomo y Shirley Villalba 2020). Con la excepción del ácido graso omega-3, el perfil lipídico es muy similar a la harina de pescado (Maquart et al. 2022).

De esta forma se optó por la comparación de cuatro dietas con inclusión de harina de *Hermetia illucens* L. para la alimentación de la tilapia y poder observar cual obtuvo mejores resultados en los crecimientos de la tilapia, y si el cultivo de rábano en el sistema NFT se desarrolla de mejor manera utilizando como fuente de nutrientes el agua tratada con las heces de los alevines para su fertilización a comparación del rábano sembrado a suelo directo.

Materiales y Métodos

Localización

El estudio se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (EAP) en el lote 4 de la unidad de agricultura orgánica, ubicada en el Valle del Yeguaré, del departamento de Francisco Morazán, 14° 0.567'N y 87° 0.205'O, a una elevación de 783 msnm; temperatura promedio de 24 °C y una precipitación anual promedio de 1,100 mm. Durante los meses de mayo a junio del 2022.

Materiales

Se utilizaron las instalaciones del sistema acuaponico de la EAP, el cual esta diseñado con cuatro tanques de fibra de vidrio con un diámetro de 1.5 m y una altura de 0.65 m. Se utilizaron 180 tilapias (*Oreochromis niloticus*) en etapa de preengorde (alevines), los cuales se distribuyeron en cuatro tanques y cada tanque se dividió en tres corrales, teniendo una población de 15 tilapias por corral, 45 tilapias por tanque. Para el diseño de los corrales se utilizaron tres marcos para cada tanque: 12 codos PVC de una pulgada, seis tubos de PVC de una pulgada de una medida de 0.75 metros los cuales fueron distribuidos en la base y en la parte apical del marco de igual manera se utilizaron seis tubos de PVC de una pulgada de una medida de 0.55 m para los laterales del marco, uniendolos con los codos, para el relleno del marco se utilizó una malla de plástico que cubrió el marco para evitar que los alevines se crucen entre los corrales y para finalizar se agregó un tubo PVC de 3 pulgadas con un largo de 0.60 m en el centro de cada tanque, el cual fue perforado para drenar el agua sin ocasionar daños físicos a los alevines.

Tratamientos

La alimentación de la tilapia fue suministrada con cuatro tratamientos de concentrado. Las dietas fueron realizadas por el doctor Yordan Martínez, nutricionista de la EAP. Todas las dietas fueron isoproteicas, con un nivel de 38% PC (Cuadro 1).

Cuadro 1

Tratamientos Evaluados en el Experimento Para Tilapia Gris (Oreochromis Niloticus) en la Etapa de Pre-Engorde

Tratamiento	Descripción
Control	0% de harina de <i>Hermetia illucens</i>
Hermetia 20%	Inclusión de 20% <i>Hermetia illucens</i>
Hermetia 35%	Inclusión de 35% <i>Hermetia illucens</i>
Hermetia 50%	Inclusión de 50% <i>Hermetia illucens</i>

Cuadro 2

Composición De Dieta Para Cada Tratamiento Realizadas Para la Alimentación Tilapia Gris

Ingredientes (%)	Control	20% HH	35% HH	50% HH
Maíz convencional	9.458	5.8	5.548	3.625
Trigo blando	18	9	9	9
Harina de <i>Hermetia Illucens</i>	0	20	35	50
Harina de pescado	15	7.99	10.226	13
Harina de soya	53.106	52.4	38.044	23.11
Aceite de palma africana	2.736	2.748	0.5	0
Premezcla	0.8	0.8	0.8	0.8
Enzimas	0.1	0.1	0.1	0.1
Fosfato di cálcico	0.8	1.1	0.66	0.18
DL-Treonina	0	0.062	0.122	0.185

Nota. Dietas elaboradas por Yordan Martínez, D.Sc.

Se suministró la ración de alimento dos veces al día (8:00 am; 3:00 pm). La aireación del sistema se proporcionó con un blower de 0.5 hp, con un periodo de operación de 24 h al día. Se utilizó agua extraída de la laguna de riego de Zona II de la EAP.

Cuadro 3

Tratamiento Evaluado en el Experimento Para Rábano (Raphanus Sativus) Durante 28 Días

Tratamiento	Descripción
Control siembra a suelo	Siembra de rábano directa a suelo.
Siembra acuapónica	Siembra de rábano en el sistema NFT usando como fertilizante el agua de recambio de la tilapia

En el rábano (*Raphanus sativus*) se evaluó el desarrollo del cultivo entre la siembra directa a suelo que sería la forma tradicional de sembrar rábano con la siembra en el sistema NFT la cual tuvo

que realizarse tomando en cuenta la pre-germinación, formación de estolón, trasplante de estolón al sistema NFT y fertilización usando únicamente el agua de recambio obtenida mediante las heces fecales de la tilapia gris (*Oreochromis niloticus*).

Variables Evaluadas

Ganancia Diaria de Peso (GDP)

Esta variable se midió cada siete días, la cual indica el peso ganado diario por animal durante el experimento utilizando la ecuación 1:

$$GDP = \frac{\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}}{\text{Edad (días)}} \quad [1]$$

Índice de Conversión Alimenticia (ICA)

Esta variable se midió cada siete días, la cual permite determinar la capacidad de los animales en este caso alevines, su capacidad de convertir el alimento en biomasa, se determina con la ecuación 2:

$$ICA = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrado (g)}}{\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}} \quad [2]$$

Monitoreo de la Calidad de Agua

Se midieron temperatura, oxígeno disuelto, pH, y amonio total antes de ingresar a circular a los tubos de rábano, ya que todos los tanques en el sistema acuapónico de orgánica estaban conectados a un tanque de alimentación; en este caso no se midió la calidad de agua de cada tratamiento para fertilización de cada rábano.

Número de Hojas

Se realizaron conteos de hojas al día 14 y 28 de cada cultivo para lograr verificar el desarrollo del rábano, el conteo se realizó en 10 plantas del sistema NFT y 10 de la siembra directa en el suelo.

Diámetros Polares

Se midieron los diámetros polares en 10 plantas del sistema NFT y 10 de la siembra directa en el suelo la medida de diámetros polares son la medición de distancia entre los extremos superiores e inferiores de la raíz, cada 14 días.

Diámetro Ecuatorial

Se midieron los diámetros ecuatoriales en 10 plantas del sistema NFT y 10 de la siembra directa en el suelo, el cual se mide entre los extremos laterales de cada planta, cada 14 días.

Peso

Se tomó en cuenta el peso al día 14 y 28 para poder verificar el desarrollo del cultivo en ambas formas de siembra.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Alevines

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con medidas repetidas en el tiempo, contando con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento con un total de doce unidades experimentales. Se evaluaron dos variables de desempeño productivo: índice de conversión alimenticia y ganancia de peso. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia exigido de ($P \leq 0.05$) mediante el programa estadístico JMP® versión 16.0.

Rábano

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), contando con dos tratamientos. Se evaluaron cuatro variables de desempeño productivo: número de hojas, diámetros polares, diámetros ecuatoriales y peso. Se realizó una prueba t para corroborar la estabilidad de los resultados obtenidos en infostat versión 2020, con un nivel de significancia exigido de ($P \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

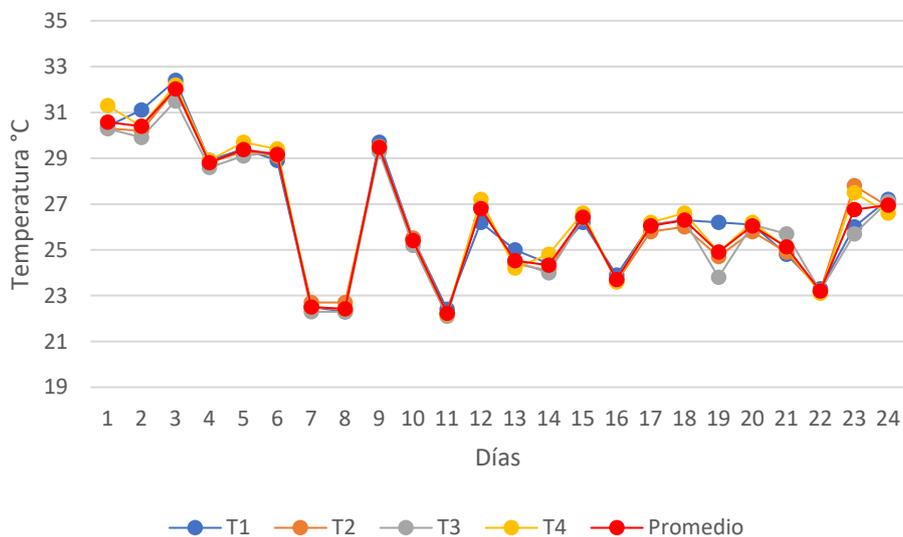
Parámetros Calidad de Agua

Temperatura

La Figura 1 muestra el comportamiento de la temperatura del agua de los cuatro tanques, los cuales presentaron resultados similares, ya que, los cuatro tanques estuvieron expuestos a las mismas condiciones medioambientales. Los rangos óptimos de temperatura para el cultivo de tilapia oscilaron entre 20 y 30 °C según Saavedra (2016) . Estas temperaturas ideales se lograron mantener a lo largo del ciclo de producción. La temperatura del agua es especialmente importante para el crecimiento y la supervivencia de los camarones, peces y otros animales acuícolas, ya que los organismos acuáticos producidos en acuicultura son poiquilotérmicos (Boyd 2018).

Figura 1

Niveles de Temperatura (°C) del Agua de Cada Tratamiento Evaluado Desde el Mes de Mayo a Junio del 2022



Oxígeno Disuelto (OD)

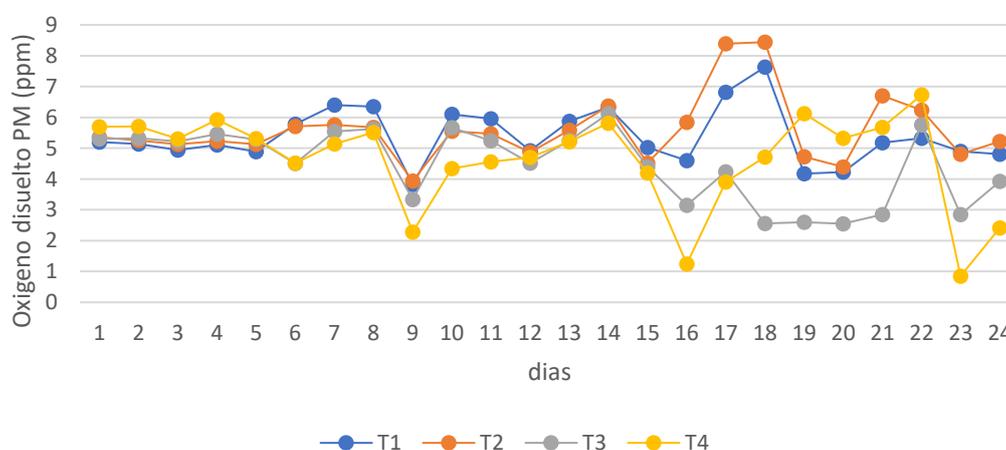
En la Figura 2 se puede observar el oxígeno disuelto (mg/L) en el agua de los estanques de cada uno de los cuatro tratamientos durante la evaluación del experimento, los cuales se encontraron dentro del rango óptimo de 0.85 a 8.44 mg/L de OD, teniendo como pico más alto el tratamiento con *Hermetia* 35% entre los días 17 y 18, por lo contrario, el punto más bajo se observó en el en el tratamiento con *Hermetia* 50% los días 23 y 16.

La variación entre cada uno de los tratamientos se comenzó a observar cerca del día 16; según García y Calvario (2008) los rangos en los que se desarrolla de forma óptima la tilapia se encuentran entre 8 y 10 mg/L con un mínimo aceptable de 4.5 mg/L, por lo que los tratamientos con 35 y 50% de inclusión se encuentran con más frecuencia por debajo de este rango Telles et al. (2019) indican que la presencia de menor cantidad de oxígeno disuelto en el agua tiene una relación directa con la ganancia de peso y propensión a padecimiento de enfermedades en los peces, ya que con la ausencia de este factor el metabolismo de estos se ve afectado drásticamente. Según Jhon (2022) a medida que la concentración de oxígeno disuelto disminuye, las actividades biológicas de los alevines tales como la respiración y alimentación también se ven disminuidas.

Figura 2

Niveles de Concentración de Oxígeno Disuelto (ppm) en el Agua de Cada Tratamiento Evaluado

Desde el Mes de Mayo a Junio 2022



pH

La Figura 3 muestra la variación del pH durante el ensayo, llegando a un máximo de 7.92 en el día 16 para el tratamiento con inclusión de 20% y un mínimo de 6.34 en el día 9 para el mismo tratamiento.

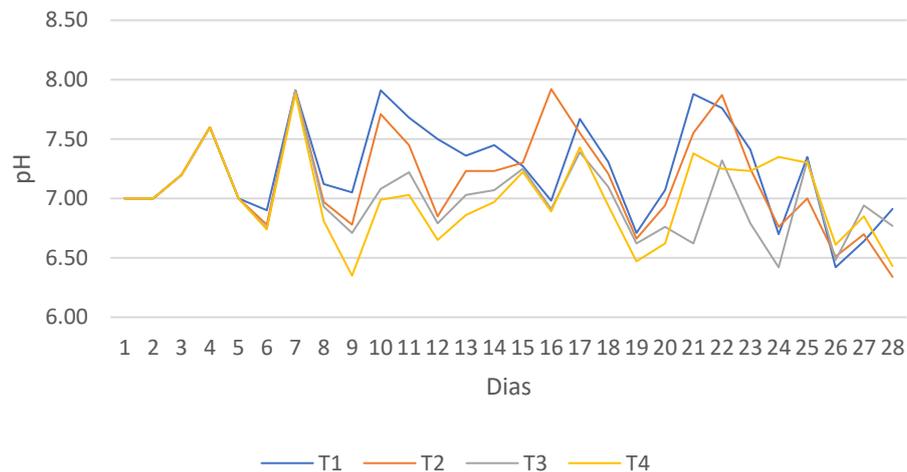
Según Saavedra (2016) la calidad del agua está determinada por sus propiedades fisicoquímicas, entre las más importantes destacan: temperatura, oxígeno disuelto, pH y transparencia. En la investigación se determinó el pH durante 28 días seguidos en donde la variación fue mínima. Saavedra (2016) establece que el pH interviene determinando si el agua es dura o blanda, la tilapia crece mejor en aguas de pH neutro o levemente alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta un pH de 5; un alto valor de pH (de 10 durante las tardes) no las afecta y el límite, aparentemente, es de 11. Con valores de 6.5 a 9 se tienen condiciones óptimas para el cultivo.

Valores cercanos a cinco producen mortalidad en un periodo de 3 a 5 horas, por fallas respiratorias; que, además, causan pérdidas de pigmentación e incremento en la secreción de mucus de la piel. Cuando se presentan niveles de pH ácidos, en el ion Fe^{2++} se vuelve soluble afectando las células de los arcos branquiales y por ende, disminuye los procesos de respiración, causando la muerte por anoxia (asfixia por falta de oxígeno) Martínez et al. (2020).

Con lo anterior se puede observar claramente la importancia de mantener un pH constante, ya que, la alteración en gran proporción de este puede causar graves problemas en la fisiología y metabolismo de los animales en producción.

Figura 3

Niveles de Concentración del pH en el Agua de Cada Tratamiento Evaluado Desde el Mes de Mayo a Junio 2022.



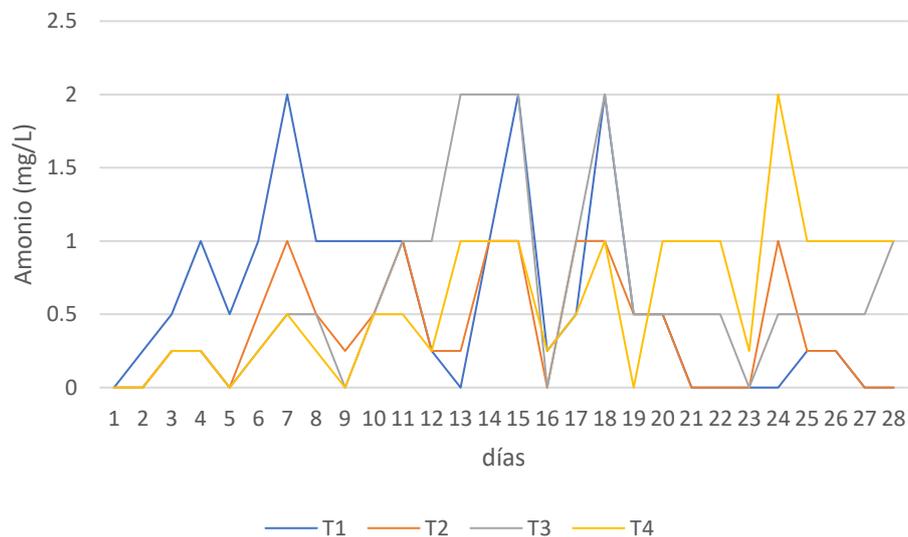
Amonio

En la Figura 4 se observan los niveles de amonio encontrados en los cuatro tanques a lo largo de los 28 días que duró la investigación, con rangos entre 0 y 2 mg/L. Los tratamientos control y *Hermetia* 35% tuvieron mayor incidencia a niveles altos de amonio. Concentraciones muy elevadas de amoníaco pueden causar reducciones en la tasa de crecimiento, cambios histopatológicos, una reducción de la capacidad de transporte de oxígeno por la hemoglobina o provocar la muerte del pez (Yumi 2007).

El amonio en su forma no ionizada (NH_3), es tóxico cuando el pH y la temperatura son altas, y el oxígeno disuelto es bajo. Lo ideal es mantener los niveles de amonio por debajo de 0.1 mg/L. La exposición prolongada a cantidades mayores puede causar daños en los órganos y por tanto una disminución en el crecimiento. Los nitritos (NO_2^-), son un paso intermedio entre el amonio ionizado (NH_4^+) y los nitratos (NO_3^-). Al igual que el amonio, los nitritos y nitratos son altamente tóxicos por lo que sus niveles deben ser inferiores de 0.1 mg/L como mencionan Valenzuela et al. (2017).

Figura 4

Niveles de Concentración de Amonio (mg/L) en el Agua de Cada Tratamiento Evaluado Desde el Mes de Mayo a Junio de 2022.



Alevines

Biomasa

Entre los tratamientos no se encontró diferencia en la biomasa visto a que la inclusión de harina de *Hermetia* fue en base a los requerimientos nutricionales de los alevines en la etapa de pre engorde en el cual se requiere una cantidad del 38% de proteína cruda obteniendo los siguientes datos: en el tratamiento control se obtuvo una biomasa de 398.74 ± 92.05 un dato similar al tratamiento con 20% de inclusión de HH se obtuvo una biomasa de 426.33 ± 101.73 , T2 con 35% de inclusión de HH se obtuvo una biomasa de 409.75 ± 127.67 y con el T3 con 50% de inclusión de HH se obtuvo una biomasa de 399.98 ± 106.96 , respectivamente. A diferencia del estudio de Ye et al. (2022) el cual basó su inclusión en el 10% de la biomasa para sobrealimentar a los alevines teniendo en cuenta sus requerimientos nutricionales, obtuvo mejores resultados teniendo una ganancia de peso mayor que su dieta control convencional.

Ganancia de Peso

En la ganancia de peso no se encontró diferencia entre los tratamientos ($P > 0.05$), el crecimiento y desarrollo de los peces en la etapa de pre engorde dependen de factores como el oxígeno disuelto de igual manera la densidad de siembra, clasificación y cantidad de alimento suministrado. Además nuestro alimento fue suministrado en forma de harina en lo cual Vásquez (2017) recomienda que se debe utilizar el alimento en forma de pellet. Los datos que obtuvimos: en el tratamiento control se obtuvo una GDP de 0.40 ± 0.29 un dato similar a los tratamientos T1 con 20% de inclusión de HH se obtuvo una GDP de 0.44 ± 0.28 , T2 con 35% de inclusión de HH se obtuvo una GDP de 0.14 ± 0.19 y con el T3 con 50% de inclusión de HH se obtuvo una GDP de 0.14 ± 0.19 respectivamente. Los siguientes datos concuerdan con la investigación de Carvajal (2022) el cual luego de 64 días de estudio no encontró diferencia significativa en la ganancia diaria de peso en base a los requerimientos nutricionales de los peces, ya que se está cumpliendo con los requerimientos nutricionales de la tilapia en la etapa de pre engorde su GDP no se ve afectada ya que todos los animales están comiendo y expresando su potencial genético acorde a los nutrientes suministrados en la alimentación.

Índice de Conversión Alimenticia (ICA)

En el siguiente parámetro los tres tratamientos con una inclusión de harina de *Hermetia* (HH) en 20, 35 y 50% comparados con el control el cual no posee ninguna inclusión de HH no se encontró diferencia ($P > 0.05$) esto se puede observar en el Cuadro 4. En el tratamiento control se obtuvo un ICA de 1.36 ± 1.03 un dato similar a los tratamientos T1 con 20% de inclusión de HH se obtuvo un ICA de 1.81 ± 1.24 , T2 con 35% de inclusión de HH se obtuvo un ICA de 1.74 ± 1.63 y con el T3 con 50% de inclusión de HH se obtuvo un ICA de 1.67 ± 2.05 respectivamente. En base a los parámetros de calidad de agua hubo variación en la concentración de oxígeno disuelto lo cual pudo afectar al consumo de alimento como indica Telles et al. (2019) que la presencia de menor cantidad de oxígeno disuelto en el agua tiene una relación directa con la ganancia de peso y padecimiento de enfermedades en los peces, ya que con la ausencia de este factor el metabolismo de estos se ve afectado drásticamente.

De igual manera los datos obtenidos con el estudio de Cedeño (2021) con relación a la conversión alimenticia entre cada caso evaluado se observaron valores similares en su experimento, en el cual comparaba una dieta control con una dieta que tiene como inclusión el 37% de proteína de harina de *Hermetia*, los datos obtenidos entre las dos dietas experimentales fueron similares en el índice de conversión alimenticia (ICA), lograron observar que no existe diferencia entre una dieta comercial con una dieta con 37% de inclusión de harina de *Hermetia*.

Cuadro 4

Tratamientos Evaluados en el Experimento Para Tilapia Gris (Oreochromis niloticus) en la Etapa de Pre Engorde

Tratamientos	Peso promedio	Biomasa	GDP	ICA
Control 0% HH	26.58 ± 6.14	398.74 ± 92.05	0.40 ± 0.29	1.36 ± 1.03
20% HH	28.42 ± 6.78	426.33 ± 101.73	0.44 ± 0.28	1.81 ± 1.24
35% HH	27.32 ± 8.51	409.75 ± 127.67	0.14 ± 0.19	1.74 ± 1.63
50 % HH	26.67 ± 7.13	399.98 ± 106.96	0.14 ± 0.19	1.67 ± 2.05
Valor de P	0.6	0.6	0.53	0.6
C. V	7.33	7.33	37.73	55.36

Nota. C. V %: Coeficiente de variación

Rábano

Numero de Hojas

En el Cuadro 5, el valor de P fue de 0.004 en la variable de número de hojas, significando que hubo diferencia entre los dos cultivos, resaltando el cultivo que se sembró en el suelo, esto se debe a que la relación de hojas va directamente relacionada con la temperatura en la cual se desarrolló el cultivo, los parámetros para el desarrollo en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.). Según Giaconi y Escaff (2004), deben tener una temperatura que oscila entre 20°C y 25°C, el cultivo acuapónico sufrió un estrés térmico el cual va desde su germinación que se realizó en la unidad de aprendizaje de propagación de plantas, en el cual la temperatura del invernadero logró superar los 35 °C con facilidad en días soleados y calurosos, a diferencia de nuestro rábano sembrado a suelo, el cual se encontró en una temperatura constante promedio de 24 °C.

Diámetros Polares

La variable de diámetros polares que se encuentra en el Cuadro 5, nos indica el desarrollo nutritivo absorbido por la planta al igual que su potencial genético en el cual el valor de P fue de 0.0277 indicando que la siembra directa a suelo obtuvo mejor fertilización obteniendo un valor de diámetro polar de 10.40 cm ya que favorecieron el cultivo se encontró dentro del rango óptimo para el cultivo. A comparación de los datos de (Kolima et al. 2018) quienes obtuvieron deformaciones en el tallo del rábano, este resultado se debe a elevadas concentraciones de nutrientes, a diferencia del cultivo acuapónico en el cual los valores de diámetro polar fueron de 7.10 centímetros, esto se debe a que el agua de recambio de las tilapias no logró satisfacer los requerimientos nutricionales del rábano durante el ciclo del cultivo.

Esto significa que los factores nutricionales del suelo fueron mejor absorbidos y más abundantes que el acuapónico el cual tuvo una concentración de amonio (NH_3 y NH_4^+) de 3.21 mg/L y un nivel de pH promedio de 6.14. Según Diaz (2002) ya que el nivel de fertilización de amonio no logró satisfacer las necesidades nutricionales del rábano ya que solo se le suministró como fertilizante el amonio obtenido por la secreción de las dietas experimentadas en los peces se pudo ver reducido al mínimo la absorción de otros nutrientes tales como el potasio y el calcio.

Diámetros Ecuatoriales

El valor de P fue <0.0001 en el Cuadro 5, en la variable de diámetros polares, esta variable indica la relación que tiene el desarrollo del cultivo con los factores climáticos tales como la disponibilidad de agua y temperatura, se logra obtener mejores resultados en el cultivo a suelo ya que aquí se obtuvo un valor promedio de diámetro ecuatorial de 5.6 cm a diferencia del diámetro ecuatorial del cultivo acuapónico el cual fue de 0.52 cm, estos datos, según HYDRO ENVIROMENT (2022) indican que al momento de trasplantar un cultivo de un lugar a otro este sufre un estrés ya que se está modificando sus condiciones abióticas que estaba acostumbrado el cultivo, de ahí se debe el atraso en el desarrollo del diámetro ecuatorial en el cultivo acuapónico ya que este fue trasplantado de su sustrato inerte a contacto directo con el agua lo cual fue una modificación completa al medio

que estaba desarrollándose, cabe resaltar que nos dice que la temperatura influye de una manera drástica en el desarrollo del cultivo, el cultivo acuapónico se encontraba a una temperatura superior a los 35 °C al momento de ser trasplantado a un entorno donde la temperatura promedio era de 24 °C.

Peso

En los datos obtenidos del peso entre ambos cultivos en el Cuadro 5, el valor de P fue de 0.0015 el cual indica diferencias entre los cultivos, los datos de peso total luego de cuatro semanas de ser sembrado el rábano en el suelo en promedio fue de 137.27 gramos según Holguin (2021) el cultivo de rábano dura en promedio cuatro semanas. De igual manera indica que el rábano cosechado luego de las cuatro semanas de duración del ciclo del cultivo de rábano este llega a pesar de 70 g a un kg lo cual quiere decir que el rábano sembrado a suelo se encuentra dentro de estos parámetros de cosecha, a diferencia de nuestro rábano acuapónico el cual tuvo un peso final promedio de 7.17 g, esto significa que el rábano acuapónico puede demorarse más tiempo en estar listo para ser cosechado ya que no cumple de cosecha a las cuatro semanas de desarrollo del ciclo del cultivo al igual que puede deberse al estrés de trasplante y de cambios abióticos que sufrió en su entorno que va desde su germinación hasta su cosecha al transcurrir las cuatro semanas de duración del ciclo del cultivo.

Cuadro 5

Efecto de la producción de rábano entre siembra hidropónica y del rábano sembrado a suelo directo.

Tratamientos	# de hojas	Diámetro Polar (cm)	Diámetro Ecuatorial (cm)	Peso Total (g)
Rábano acuapónico	4.50	7.10	0.52	7.17
Rábano en Suelo	7.50	10.40	5.6	137.27
Probabilidad	0.004	0.0277	<0.0001	0.0015

Conclusiones

El agua de recambio de la tilapia no cumplió con los requerimientos nutricionales del rábano.

Los parámetros de calidad de agua se encontraron dentro de su rango óptimo para el cultivo de tilapia.

Los niveles de inclusión de harina de *Hermetia* como fuente proteica en las dietas experimentales utilizados lograron cumplir con los requerimientos nutricionales de la tilapia.

Recomendaciones

Repetir el estudio utilizando alimento peletizado para mejorar su aprovechamiento.

Realizar estudios en otras etapas de desarrollo de la tilapia para poder evaluar el desarrollo de la harina de *Hermetia* como fuente proteica.

Repetir el experimento con un sistema hidropónico de raíz flotante para mejorar las condiciones abióticas del rábano.

Referencias

- Boyd C. 2018. Temperatura del agua en acuicultura. Alabama: [sin editorial]; [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://www.globalseafood.org/advocate/temperatura-del-agua-en-acuicultura/>.
- Carvajal K. 2022. Efecto de la sustitución de harina de pescado por harina de insecto (*Hermetia illucens* y *Acheta domesticus*) en el desempeño biológico, digestibilidad, actividad enzimática y perfil de ácidos grasos de juveniles de Totoaba macdonaldi. Baja California: CICESE; [consultado el 2 de ago. de 2022]. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3670/1/tesis_Karen%20Elyne%20Carvajal%20Soriano_03%20feb%202022.pdf.
- Cedeño AB. 2021. Efecto de la harina de mosca sobre el crecimiento de alevines de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*). [sin lugar]: Universidad de Guayaquil; [consultado el 2 de ago. de 2022]. https://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/52753/1/Cede%C3%B1o_Ana_Tesis%20cd.pdf.
- [CEPAL] Comisión económica para américa latina y el caribe. 2019. Panorama social de américa latina: 2018. [Santiago de Chile]: Naciones Unidas, CEPAL. 225 p. ISBN: 9789211220087; [consultado el 2 de ago. de 2022].
- Collado Ruano J. 2016. La huella socioecológica de la globalización. SyA. (11):92–121. <https://revistas.ecosur.mx/sociedadambiente/index.php/sya/article/view/1678/1628>. doi:10.31840/sya.v0i11.1678.
- Díaz F. 2002. Modelado y control jerárquico de crecimiento de cultivos en invernaderos. Almería: Universitas Almeriensis; [consultado el 23 de jun. de 2022]. <https://books.google.hn/books?id=cYAOAQAQBAJ&pg=PA20&dq=ph+de+agua+sistema+nft&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjFyZ2rtsL4AhXKmyQIHRLnBmoQ6AF6BAgJEAI>.
- [Euskadi] Gobierno Vasco. 2017. Degradación del suelo. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 29 de jul. de 2022]. <https://www.euskadi.eus/informacion/degradacion-del-suelo/web01-a2inglur/es/>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1991. Food, Nutrition and Agriculture. Food for the future: Crecimiento demográfico y crisis alimentaria. London and New York: FAO (vol. 1); [consultado el 2 de ago. de 2022]. <http://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e=d-00000-00%E2%80%90-off-0aginfo%E2%80%9000-0%E2%80%90-10-0%E2%80%90-0%E2%80%90-0direct-10%E2%80%90-4%E2%80%90%E2%80%90%E2%80%90-0-1%E2%80%9011-en-50%E2%80%90-20-about%E2%80%90-00-0-1-00-0-0-11%E2%80%90%E2%80%900-1-&a=d&c=aginfo&cl=CL2.7&d=HASHcde125635e9a3b16d906e4.5.1>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Roma: [sin editorial]; [consultado el 29 de jul. de 2022]. <https://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2019. La acuaponía y las granjas de agro-acuicultura integradas hacen un uso eficiente del agua. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 29 de jul. de 2022]. <https://www.iagua.es/noticias/fao/acuaponia-y-granjas-agro-acuicultura-integradas-hacen-uso-eficiente-agua>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura: La sostenibilidad en acción. Ghana: FAO ; [consultado el 2 de ago. de 2022].

- García A, Calvario O. 2008. Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria. 1a ed. Mazatlán, Sinaloa, México: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SAGARPA. 156 p. ISBN: 978-968-5384-14-8; [consultado el 2 de ago. de 2022].
- Giacconi V, Escaff M. 2004. Cultivo de hortalizas. 15ª ed. Santiago de Chile: Universitaria. ISBN: 956-11-1513-1; [consultado el 2 de ago. de 2022].
- González Vega JV. 2016. Desarrollo y rendimiento del rábano en diferentes mezclas de sustrato. Revista Tlamati Sabiduría; [consultado el 7 de jun. de 2022]. 7(2). <http://tlamati.uagro.mx/t7e2/113.pdf>.
- Grajales KB. 2014. La acuaponía como alternativa del uso de aguas de descargas del sector acuícola. Unicach mx; [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/2152>.
- Holguin J. 2021. Respuesta agronómica del cultivo de rábano *Raphanus sativus* con diferentes sustratos orgánicos, en el centro de apoyo Manglaralto, UPSE de la provincia de Santa Elena. Península de Santa Elena: Universidad Estatal Península de Santa Elena; [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6392/1/UPSE-TIA-2021-0103.pdf>.
- HYDRO ENVIROMENT. 2022. Guía para el cultivo de rábano. Estado de México: [sin editorial]; [consultado el 23 de jun. de 2022]. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=406.
- Jacob F. 2019. La limpieza de los océanos pasa por detener la contaminación terrestre. Le Soir: [sin editorial]; [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://www.unops.org/es/news-and-stories/insights/to-clean-our-oceans-fight-land-pollution>.
- Jhon M. 2022. Los efectos del oxígeno disuelto en el crecimiento de los peces en la acuicultura. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://aquafeed.co/entrada/los-efectos-del-ox-genio-disuelto-en-el-crecimiento-de-los-peces-en-la-acuicultura-20548/>.
- Kolima P, Rodríguez J, León N, Valle C, Cristo M. 2018. Efecto de un promotor del crecimiento en características morfofisiológicas y productivas del rábano (*Raphanus sativus* L.). Avances en Investigación Agropecuaria; [consultado el 2 de ago. de 2022]. 22(1):28–46. <https://www.redalyc.org/journal/837/83757421007/83757421007.pdf>.
- Maquart, Murray, Leschen, Netwon, Little, Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling, RU. 2022. Mosca soldado negro - ¿futuro alimento para tilapia? [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado 07-06-22]. <https://aquafeed.co/entrada/mosca-soldado-negro---futuro-alimento-para-tilapia--19760/>.
- Martínez A, Gonzales C, Ramírez J. 2020. Calidad del agua en la siembra de tilapia. *Oreochromis niloticus*. Agro Región; [consultado el 2 de ago. de 2022]. 10:24–25. <http://www.agroregion.com/articulo?id=206>.
- Nicole Perdomo, Shirley Villalba. 2020. Exploración del uso alternativo de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en la dieta de pollos de engorde y peces en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Zamorano.
- [PNUD] Programa de las Naciones Unidas. 2020. Nuevo informe mundial de desarrollo humano evidencia desigualdad de género en Chile y evalúa impacto de los países sobre el medio ambiente. Chile: [sin editorial]; [consultado el 29 de jul. de 2022]. <https://www.undp.org/es/chile/press->

releases/nuevo-informe-mundial-de-desarrollo-humano-evidencia-desigualdad-de-g%C3%A9nero-en-chile-y-eval%C3%BAn-impacto-de-los-pa%C3%ADses-sobre-el.

- Rueda B. 2021. Evaluación del cultivo de tilapia con dieta hidropónica de soya al 5% y arroz al 12% como complemento [BachelorThesis]. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil; [consultado el 7 de jun. de 2022]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/52914/1/RUEDA%20RAM%c3%8dREZ%20MIGUEL.pdf>.
- Saavedra M. 2016. Manejo del cultivo de tilapia. Managua, Nicaragua: Coastal Resources Center; [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>.
- Saavedra Martínez MA. 2016. Manejo del Cultivo de Tilapia. Managua, Nicaragua: Coastal Resources Center. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>.
- Telles F, Mariscal J, Gómez C, Gutiérrez H. 2019. Relaciones talla-peso y factor de condición de la tilapia *Oreochromis niloticus* en cinco cuerpos de agua del estado de Jalisco, México; [consultado el 3 de ago. de 2022]. 8(16):82–105. doi:10.23913/ciba.v8i16.92.
- Valenzuela R, Martínez P, Arévalo JJ. 2017. Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). [sin lugar]: [sin editorial] (vol. 18); [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1737>.
- Vásquez T. 2017. Evaluación de dos niveles de proteína y energía digestible en dietas peletizadas para alevines. [sin lugar]: Universidad Agraria La Molina; [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://es.scribd.com/document/472152839/Niveles-de-Proteina-y-Energia-en-Alevines-pdf>.
- Ye B, Li J, Xu L, Liu H, Yang M. 2022. Metabolomic effects of the dietary inclusion of *Hermetia illucens* larva meal in tilapia. *Metabolites*; [consultado el 2 de ago. de 2022]. 12(4):286. <https://www.mdpi.com/2218-1989/12/4/286>.
- Yumi N. 2007. Efecto agudo del amoníaco en tilapia roja. Honduras: Zamorano; [consultado el 2 de ago. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2d946c56-7314-498f-bffc-a3bde86f5eb6/content>.

Anexos**Anexo A***Parámetros Calidad de Agua*

Parámetros	Rangos
Temperatura	25.0 – 32.0 °C
Oxígeno	5.0 – 9.0 mg/L
pH	6.0 – 9.0
Fosfatos	0.15 – 0.20 mg/L
Amonio Total	0.1 mg/L

(Saavedra Martínez 2016)

Anexo B*Tratamientos Usados en la Alimentación de Oreochromis Niloticus*

Tratamiento	Descripción
Tratamiento 1 (control)	100% Dieta con harina de pescado como fuente proteica
Tratamiento 2	80% Dieta con harina de pescado + 20% de harina de <i>H. Illucens</i>
Tratamiento 3	65% Dieta con harina de pescado + 35% de harina de <i>H. Illucens</i>
Tratamiento 4	50% Dieta con harina de pescado + 50% de harina de <i>H. Illucens</i>

Anexo C

Formulación de Dieta Para Cada Tratamiento Realizadas Para la Alimentación de Oreochromis

Niloticus

Ingredientes (%)	Control	20% HH	35% HH	50% HH
Maíz convencional	9.458	5.8	5.548	3.625
Trigo blando	18	9	9	9
Harina de <i>Hermetia Illucens</i>	0	20	35	50
Harina de pescado	15	7.99	10.226	13
Harina de soya	53.106	52.4	38.044	23.11
Aceite de palma africana	2.736	2.748	0.5	0
Premezcla	0.8	0.8	0.8	0.8
Enzimas	0.1	0.1	0.1	0.1
Fosfato di cálcico	0.8	1.1	0.66	0.18
DL-Treonina	0	0.062	0.122	0.185

Dietas elaboradas por Yordan Martinez, D.Sc.

Anexo D*Aportes Nutricionales*

Nutrientes	Control	20% HH	35% HH	50% HH
Proteína cruda (%)	38	38	38	38
Lípidos (%)	5.81	11.97	18.57	24.85
Calcio (%)	0.67	0.69	0.76	0.83
Fósforo disponible (%)	0.61	0.61	0.61	0.61
Lisina (%)	2.01	2.06	2.15	2.25
Metionina+cistina (%)	1.01	0.99	1.04	1.09
Treonina (%)	1.23	1.18	1.18	1.18