

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA



EVALUACION DE TRES DENSIDADES DE CULTIVO DE *Oreochromis niloticus*
(TILAPIA NILOTICA) EN ACUAPONIA EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

PRESENTADO POR:

ADRIAN CERILLO RUEDA LIBERATO

Tingo María – Perú

2023



"Año la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, se reunieron de manera presencial, a las 06:00 p.m. del 01 de marzo de 2023, para calificar la Tesis titulada "**EVALUACIÓN DE TRES DENSIDADES DE CULTIVO DE *Oreochromis niloticus* (TILAPIA NILOTICA) EN ACUAPONIA EN CONDICIONES DE LABORATORIO**", presentada por el Bachiller en Ciencias Pecuarias **ADRIAN CERILO RUEDA LIBERATO**.

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas, el Jurado declara **APROBADA LA TESIS** con el calificativo de "**EXCELENTE**".

En consecuencia, el sustentante queda capacitado para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ZOOTECNISTA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, y tramitado ante el Consejo Universitario, para la otorgación del Título, de conformidad con lo establecido en el Artículo 265°, inciso "b" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 13 de marzo de 2023

Ing. M. Sc. **MIGUEL ÁNGEL PÉREZ OLANO**
Presidente

Ing. M. Sc. **MARCO ANTONIO ROJAS PAREDES**
Miembro

Dr. **JORGE RÍOS ALVÁRADO**
Miembro

Dr. **RIZAL ALCIDES ROBLES HUAYNATE**
Asesor

Blgo. Pesq. **CARLOS ÁLVAREZ JANAMPA**
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
(RIDUNAS)

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 084 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:

Facultad de Zootecnia

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACION DE TRES DENSIDADES DE CULTIVO DE <i>Oreochromis niloticus</i> (TILAPIA NILOTICA) EN ACUAPONIA EN CONDICIONES DE LABORATORIO	ADRIAN CERILLO RUEDA LIBERATO	11% Once

Tingo María, 11 de abril de 2023


Mg. Ing. García Villegas, Christian
Coordinador del Repositorio Institucional
Digital (RIDUNAS)

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL TITULO
UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA**

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Facultad	:	Facultad de Zootecnia.
Título de tesis	:	Evaluación de tres densidades de cultivo de <i>Oreochromis niloticus</i> (tilapia nilótica) en acuaponía en condiciones de laboratorio
Autor	:	Adrián Cerilo, Rueda Liberato
Asesores de tesis	:	Rizal Alcides, Robles Huaynate Carlos, Alvarez Janampa
Escuela Profesional	:	Zootecnia.
Programa de investigación	:	Ciencia Desarrollo Tecnológico e Innovación en Acuicultura
Línea(s) de investigación	:	Nutrición y Alimentación de Organismos Acuáticos
Eje Temático	:	Producción Animal Sostenible
Lugar de ejecución	:	Facultad de zootecnia – Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Duración	:	Inicio : Noviembre 2020 Término : Febrero 2021
Financiamiento	:	Propio : S/ 4844.84

Tingo María, Perú, abril 2023.

Adrián Cerilo, Rueda
Liberato
Tesista

Rizal Alcides, Robles
Huaynate
Asesor

Carlos, Alvarez Janampa
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y guiarme por el buen camino, por mantenerme fuerte ante las adversidades y permitir tener a mi lado a mis seres queridos.

A mi madre Francisca Liberato Castillo y mi padre Jesús Rueda Marín, por su apoyo incondicional, porque todo se lo debo a ellos.

A mis hermanos Nilton, Edgar y Linder, porque siempre están conmigo y me brindan su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A mis maestros por todas sus enseñanzas por haberme impartido sus conocimientos durante los años de estudio.

Al ing. Marco Rojas Paredes, por brindarme su apoyo durante la ejecución de la tesis

A mis asesores: Dr. Rizal, Robles Huaynate y Blgo. Carlos, Álvarez Janampa.

A la Ing. Fiorella Marilú, Aguirre Gómez, por el trabajo en conjunto durante el desarrollo de la investigación.

A mis amigos que me apoyaron Ing. Mauro, Torres Torres, Abel, Mejía Días y Manuel, Mauricio Gonzales.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Tilapia nilótica.....	3
2.2. Parámetros de calidad de agua para la tilapia en acuaponía	3
2.2.1. Oxígeno disuelto	3
2.2.2. pH	3
2.2.3. Conductividad eléctrica.....	4
2.2.4. Sólidos disueltos totales	4
2.2.5. Temperatura	4
2.2.6. Amoníaco	4
2.2.7. Nitritos	4
2.2.8. Nitratos.....	5
2.3. Albahaca.....	5
2.4. Acuaponía.....	5
2.4.1. Métodos acuapónicos	5
2.5. Investigaciones en acuaponía con tilapia	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1. Lugar y fecha de ejecución.....	9
3.2. Tipo de investigación	9
3.3. Animales y plantas experimentales	9
3.3.1. Peces.....	9
3.3.2. Plantas	9
3.4. Dieta y alimentación.....	9
3.5. Instalaciones y equipos.....	9
3.5.1. Sistema acuapónico.....	9
3.5.2. Equipos y materiales de evaluación	10
3.6. Tratamientos experimentales.....	10
3.7. Variable independiente.....	10
3.8. Croquis de distribución de tratamientos y repeticiones	10
3.9. Diseño experimental y análisis estadístico.....	11
3.10. Variables dependientes.....	11

3.10.1. Índices zootécnicos	11
3.10.2. Parámetros de calidad de agua	11
3.10.3. Parámetros económicos.....	11
3.11. Metodología para la obtención de las variables	12
3.11.1. Velocidad de crecimiento en peso (VCP)	12
3.11.2. Consumo diario de alimento (CDA)	12
3.11.3. Conversión alimenticia aparente (CAA).....	12
3.11.4. Velocidad de crecimiento en longitud (VCL).....	12
3.11.5. Factor de condición (FC)	13
3.11.6. Tasa de crecimiento específica en peso (TCEP).....	13
3.11.7. Tasa de crecimiento específica en longitud (TCEL).....	13
3.11.8. Supervivencia (S).....	13
3.11.9. Biomasa final (BF).....	13
3.11.10. Producción final (Prod F).....	13
3.11.11. Parámetros fisicoquímicos del agua.....	13
3.11.12. Beneficio neto (BN)	13
3.11.13. Merito económico (ME).....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1. Índices zootécnicos de la tilapia.....	15
4.2. Parámetros de calidad de agua del cultivo de tilapia	23
4.3. Parámetros económicos del cultivo de tilapia	33
V. CONCLUSIONES	35
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	36
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS.....	441

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Velocidad de crecimiento en peso, consumo de alimento y conversión alimenticia aparente de la tilapia.....	15
2. Velocidad de crecimiento en longitud y factor de condición de la tilapia	18
3. Tasa de crecimiento específica en peso, tasa de crecimiento específico en longitud, sobrevivencia de la tilapia.....	19
4. Biomasa inicial, la biomasa final, la producción inicial y la producción final de la tilapia.....	21
5. Valores de oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y temperatura en función a la densidad y etapa.....	24
6. Interacción de los factores etapa y densidad, para la concentración de oxígeno disuelto (mg/L).....	26
7. Interacción de los factores etapa y densidad para la concentración de sólidos disueltos totales (mg/L).....	26
8. Interacción de los factores etapa y densidad, para los valores de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	27
9. Valores de amoníaco, nitrito, y nitrato, en las tres densidades y etapas de cultivo de tilapia en acuaponía.	30
10. Interacción entre la etapa y la densidad para el parámetro nitrito (mg/L)	31
11. Valores de beneficio neto y mérito económico en las tres densidades de cultivo de tilapia.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Regresión para velocidad de crecimiento en peso	16
2. Regresión para consumo diario de alimento	17
3. Regresión para conversión alimenticia aparente.....	17
4. Regresión para velocidad de crecimiento en longitud	19
5. Regresión para tasa de crecimiento específico en peso	20
6. Regresión para tasa de crecimiento específico en longitud	21
7. Regresión para biomasa final	22
8. Regresión para producción final	23
9. Variación del oxígeno disuelto en los 42 días de cultivo.....	27
10. Variación del pH en los 42 días de cultivo	28
11. Variación de los sólidos disueltos totales en los 42 días de cultivo.....	28
12. Variación de conductividad eléctrica en los 42 días de cultivo	29
13. Variación de la temperatura en los 42 días de cultivo	29
14. Variación del amoníaco en los 42 días de cultivo.....	32
15. Variación del nitrito en los 42 días de cultivo.....	32
16. Variación del nitrato en los 42 días de evaluación.....	33
17. Construcción de los sistemas acuapónicos.....	48
18. Sistemas acuapónicos en funcionamiento	49
19. Medición de parámetros del agua	49
20. Medición de compuestos nitrogenados	50
21. Medición de índices zootécnicos	50
22. Medición de alimento balanceado.....	51

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar tres densidades de cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) en acuaponía en condiciones de laboratorio. Para ello se utilizó 300 alevinos de tilapia con 5.09 g de peso, fueron distribuidos en tres tratamientos con cuatro repeticiones, se sembraron los peces a razón de T1: 180, T2: 250 y T3: 320 peces/m³. Se sembraron 18 plantas de *Ocimum basilicum* (albahaca) por cada unidad experimental. Para el análisis de datos se usó el Diseño Completamente al azar (DCA), para los índices zootécnicos se usó la regresión lineal y para la calidad de agua se usó la prueba de S.N.K ($p > 0.05$). Los índices zootécnicos muestran mejores resultados a menor densidad de población, siendo mejor el cultivo con 180 peces/m³, mostrando de valores de 0.21 g/día, 0.32 g/día, 1.54, 0.61 mm/día, 1.03 % y 0.34 % para VCP, CDA, CAA, VCL, TCEP y TCEL respectivamente. En los parámetros de calidad de agua se observa una alteración conforme incrementa la biomasa, siendo mejor la densidad de 180 peces/m³ con valores de 5.65mg/L, 8.06, 537.75 μ S/cm y 0.20mg/L para OD, pH, CE y NO₂ respectivamente, así mismo se muestra mejores resultados en la etapa inicial de evaluación, con valores de 5.54 mg/L, 8.01, 244.17 mg/L, 369,17 μ S/cm para OD, pH, TDS, CE respectivamente y 0 mg/L para NH₃, NO₂ y NO₃. Para los parámetros económicos se obtuvieron mejores resultados en la densidad con 320 peces/m³ con valores de S/. 1.27 y 1.53 % de beneficio neto y merito económico respectivamente.

Palabras clave: alevinos, biomasa, índices zootécnicos, calidad de agua, parámetros económicos.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate three densities of *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia) in aquaponics under laboratory conditions. In order to do so, 300 tilapia alevin that weighed 5.09 g were used and distributed into three treatments with four repetitions. The fish were placed at a density of T1: 180, T2: 250, and T3: 320 fish/m³. Eighteen *Ocimum basilicum* (basil) plants were planted for each experimental unit. For the data analysis, the completely randomized design (CRD; DCA in Spanish) was used, for the zootechnical indices the linear regression was used, and for the water quality, the S.N.K. test was used ($p > 0.05$). The zootechnical indices revealed better results at a lower population density, with the density of 180 fish/m³ being the best, showing values of 0.21 g/day, 0.32 g/day, 1.54, 0.61 mm/day, 1.03 % and 0.34 % for the VCP, CDA, CAA, VCL, TCEP, and TCEL, respectively (acronyms in Spanish). For the water quality parameters, an alteration was observed as the biomass increased, with the best density being that of 180 fish/m³ with values of 5.65mg/L, 8.06, 537.75 μ S/cm, and 0.20mg/L for OD, pH, CE, and NO₂, respectively. At the same time, better results were found in the initial phase of evaluation with values of 5.54 mg/L, 8.01, 244.17 mg/L, and 369.17 μ S/cm for OD, pH, TDS, CE, respectively, and 0 mg/L for NH₃, NO₂ and NO₃. For the economic parameters, better results were obtained for the density of 320 fish/m³ with values of S/. 1.27 and 1.53 % of net profit and economic merit, respectively.

Keywords: alevin, biomass, zootechnical indices, water quality, economic parameters.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad que se está desarrollando rápidamente esto debido a la demanda de productos pesqueros. La extracción de productos marítimos o de aguas continentales que proveen alimento a la población se ve afectada debido a actividades de sobrepesca y la contaminación, esto conlleva a que se incremente la producción acuícola en muchos puntos del país. Actualmente se viene practicando la acuicultura extensiva, el cual también causa daño al medio ambiente al usar demasiada área y agua como también al emitir aguas con alta carga orgánica a los ríos y quebradas. Una de las actividades que se está empezando a desarrollar es el uso de sistemas acuapónicos el cual nos da múltiples ventajas frente a estos problemas.

La acuaponía es la unión de la hidroponía y la acuicultura dentro de un sistema de recirculación cerrado, donde se puede producir peces y plantas de manera intensiva y semi intensiva, aquí se aprovechan los desechos de la alimentación de los peces para la producción hidropónica, al mismo tiempo que las plantas purifican el agua para el crecimiento de los peces, todo esto con ayuda de las bacterias. Esta tecnología recién se está desarrollando en la provincia de Leoncio Prado y trabajar con *Oreochromis niloticus* (tilapia) que es un pez que tolera el cultivo en altas densidades sería muy factible. Para esto sería de vital importancia conocer las densidades optimas de cultivo para mejorar la producción y tener mayor rentabilidad. En tal sentido se plantea evaluar ¿Cuál será el comportamiento de tres densidades de cultivo de *oreochromis niloticus* (tilapia nilotica) en acuaponia en condiciones de laboratorio?

En consecuencia, se tiene como hipótesis que el cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) en acuaponía con una densidad de cultivo de 180 peces/m³ obtendrá un mejor comportamiento productivo.

1.1. Objetivo general

Evaluar las tres densidades de cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) en acuaponía en condiciones de laboratorio.

1.2. Objetivos específicos

- Evaluar los índices zootécnicos (velocidad de crecimiento en peso, consumo diario de alimento, conversión alimenticia aparente, velocidad de crecimiento en longitud, factor de condición, tasa de crecimiento específica en peso, tasa de crecimiento específico en longitud, sobrevivencia, biomasa final, producción final) de *Oreochromis niloticus* (tilapia) cultivados en tres densidades en acuaponía en condiciones de laboratorio.

- Evaluar los parámetros de calidad de agua de las tres densidades de cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) en acuaponía en condiciones de laboratorio.
- Calcular el beneficio neto y mérito económico de las tres densidades de cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) en acuaponía en condiciones de laboratorio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Tilapia nilótica

La tilapia es una especie cuyo origen es África y el océano oriente, el cual muestra características importantes para la acuicultura de las comunidades. El cultivo de tilapia en el país está muy poco avanzado comparado con países latinoamericanos como Brasil, Colombia y Ecuador (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero [FONDEPES], 2004).

En cuanto a hábitos alimenticios el género *Oreochromis* es omnívoro consumiendo fitoplancton y zooplancton, pueden filtrar su alimento por medio de las branquioespinas, su ciclo desde el nacimiento hasta la cosecha es de 6-9 meses, esta produce una carne blanca de excelente calidad, también es tolerante a los cambios en la calidad del agua como pH, temperatura, oxígeno y diferentes salinidades (Saavedra, 2006).

2.2. Parámetros de calidad de agua para la tilapia en acuaponía

2.2.1. Oxígeno disuelto

El oxígeno ingresa al agua directamente de la atmosfera de manera natural para los peces, pero en condiciones de cultivo intensivo es necesario el uso de bombas de agua para dinamizar el agua y de aireadores que inyectan aire directamente al sistema (FAO, 2014).

En el cultivo de tilapias es recomendable mantener el oxígeno disuelto en 5 mg/L, este parámetro tiene una relación inversa con la temperatura mostrando que en épocas calurosas disminuye el oxígeno disponible para los peces (Bautista y Ruiz, 2011).

Es un parámetro muy importante para el cultivo ya que se debe considerar las necesidades tanto para las bacterias, peces y plantas, así mismo para el funcionamiento del sistema acuapónico debe de mantenerse por encima de los 3 mg/L aunque lo óptimo está por encima de los 5 mg/L (World Renew y Diaconia Nacional, 2020).

2.2.2. pH

Los niveles de pH óptimos en la producción de la tilapia son de 7 a 9, es importante controlar los cambios del pH en el agua, ya que los cambios que sean mayores o menores a estos rangos se verán reflejados en el hábito de los peces mostrando letargia e inapetencia, también mostrar problemas en las tasas de crecimiento, y sobrevivencia (Tsang y Quintanilla, 2008).

Así mismo para el normal funcionamiento de un sistema acuapónico donde debe existir un equilibrio para los peces, plantas y bacterias se recomiendan valores de 6 a 7, (FAO, 2014).

2.2.3. Conductividad eléctrica

Rakocy (2006) menciona que, en un sistema acuapónico es recomendable tener niveles bajos de TDS que estén entre 0.3 a 0.6 mmho/cm (300 a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), menciona que los principales compuestos que incrementan la conductividad eléctrica son el nitrato NO_3 , el fosfato PO_4 , el sulfato SO_4 , potasio, calcio y magnesio. Generalmente los niveles de K y Ca son bajos en los sistemas acuapónicos así que el potasio generalmente se introduce al sistema como hidróxido de potasio (KOH) y el Ca como hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

2.2.4. Sólidos disueltos totales

Los niveles de sólidos disueltos totales en un sistema acuapónico deben de estar entre 200 a 400 mg/L con estos niveles existe una continua generación de nutrientes ya que una preocupación en los sistemas acuapónicos son la acumulación de nutrientes debido a los sólidos que ingresan por las altas tasas de alimentación Rakocy (2006).

2.2.5. Temperatura

La temperatura es un parámetro muy importante a tener en cuenta, ya que la tilapia por su naturaleza poiquiloterma depende de la temperatura del agua, el rango optimo en tilapias es de 28 a 32 °C aunque al mismo tiempo se observa que a mayor temperatura existe menos oxígeno disuelto y un incremento del amonio no ionizado (toxico), así mismo recomienda que el rango óptimo para el funcionamiento de un sistema acuapónico donde consideramos peces, plantas y bacterias es de 18 – 30 °C (World Renew y Diaconia Nacional, 2020).

2.2.6. Amoniac

El amoniac en su forma NH_3 es relativamente toxico, mientras que NH_4 se considera que tiene poca o ninguna toxicidad. La toxicidad del amoniac se debe a que puede difundirse fácilmente a través de la membrana debido a su solubilidad en lípidos y falta de carga. Así mismo se muestra que los alevinos pueden soportar hasta 48 horas sin mortalidad alguna a una concentración de 2.23 mg/l de NH_3 . También se reporta que existe una toxicidad aguda en alevines de tilapia en rangos de 7.39 – 7.41 mg/L en 48 horas. Karasu y Gülten (2005).

Cantor (2007) indica que, la toxicidad del amonio en su forma NH_3 se incrementa cuando existe una baja de oxígeno disuelto, elevado pH y una temperatura alta. Estos valores deben fluctuar entre 0.01 a 0.1 mg/L preferentemente, aunque los niveles de tolerancia de la tilapia van desde los 0.6 mg/L hasta los 2 mg/L.

2.2.7. Nitritos

Este se forma a partir de la oxidación del amoniac, y son muy importante controlarlos por su alta toxicidad y se muy contaminante en el medio, una elevada

concentración de nitritos puede interferir con la habilidad de la sangre para absorber oxígeno debido a la oxidación del ion ferroso de la hemoglobina produciendo ion férrico ocasionando anemia crónica. los rangos que se recomiendan van desde los 0 a los 0.1 para la especie tilapia (Cantor, 2007).

World Renew y Diaconia Nacional (2020) menciona que, un sistema acuapónico que está en funcionamiento adecuado debe tener valores de menores a los 0.1 mg/L.

2.2.8. Nitratos

Los nitratos en el agua para los peces no son muy peligrosos, rangos de 0 a 40 ppm en general son muy seguros para las tilapias, pero rangos superiores a los 80 ppm pueden causar toxicidad en estos (Bautista y Ruiz, 2011).

Para la producción acuapónica la concentración de nitratos es de vital importancia para las plantas ya que es su principal fuente de nitrógeno, se recomienda rangos de 5 - 150mg/L, para que exista un buen funcionamiento del sistema (FAO 2014).

2.3. Albahaca

El *Ocimum basilicum* (albahaca) es un cultivo que se establece muy bien en sistemas acuapónicos con cultivo de tilapia obteniendo un desarrollo precoz, pudiendo duplicar la cosecha en un año ayudando así al mejor aprovechamiento de nuestros recursos (Pandales y Santos, 2017).

La albahaca es muy cultivada en sistemas acuapónicos, se desarrolla muy bien en climas secos con rangos medios de temperatura que van de 16 a 38 °C, la altitud óptima se encuentra entre 0 a 900 msnm, con un requerimiento de una exposición solar media (World Renew y Diaconia Nacional, 2020).

2.4. Acuaponía

La acuaponía es un sistema conjunto donde se une la acuicultura recirculante con la producción hidropónica de plantas. Todo esto con los nutrientes excretados por los organismos acuáticos y por las reacciones de las bacterias sobre los desechos orgánicos, estos son utilizados por las plantas cultivadas en hidroponía. Estos sistemas tienen muchas ventajas en comparación con sistemas hidropónicos y sistemas de recirculación convencionales aislados, una de estas es que se utilizan los desechos generados en el cultivo de organismos acuáticos el cual es un problema en la producción (Muñoz, 2012).

2.4.1. Métodos acuapónicos

FAO (2014) menciona que el sistema NFT (Nutrient Film Technique) es un método hidropónico donde se emplean tuberías horizontales, cada una con una corriente de agua poco profunda rica en nutrientes que fluye a través de él. Las plantas se colocan dentro de

los agujeros en la parte superior de los tubos, y son capaces de utilizar esta película delgada de agua rica en nutrientes (FAO, 2014).

Así mismo menciona que el método DWC por sus siglas Deep Water Culture implica suspender las plantas en láminas de poliestireno, con sus raíces colgando hacia abajo en el agua. Este método es el más común para grandes sistemas comerciales de más de un cultivo específico y es más adecuado para la mecanización. En una pequeña escala, esta técnica es más complicada que las camas de lecho de sustrato, y puede no ser adecuado para algunos lugares, especialmente donde el acceso a los materiales es limitado (FAO, 2014).

Como también nos dice que la técnica lecho de sustrato es el diseño más utilizado para acuaponía a pequeña escala. Este método es muy usado en regiones de desarrollo. Estos diseños son eficientes con el espacio, tienen un costo inicial relativamente baja y son adecuadas para principiantes debido a su simplicidad. En las unidades de lecho de sustrato, el sustrato se utiliza para soportar las raíces de las plantas y también el mismo medio funciona como un filtro, tanto mecánicas y biológicas. Esta doble función es la razón principal por unidades de lecho medios son los más simples.

2.5. Investigaciones en acuaponía con tilapia

Culcos y Tucto (2018) probaron tres densidades de cultivo de peces en un sistema acuapónico para la producción de lechuga. El (T1) con 167 peces/m³, (T2) 250 peces /m³ y el (T3) 333 peces/m³, en el sistema construido se colocó para (T1) 50 peces, para el (T2) 75 peces y para el (T3) 100 peces, como también se colocó 20 lechugas por sistema. Reporta valores de longitud total de 36 mm en la siembra en los tres tratamientos y de 93.10 mm, 96.90 mm y 95.70 mm en el T1, T2 y T3 respectivamente en el primer mes. Obtuvo valores de cantidad de alimento total en el primer mes de 14.29 gr/día, 23.30 gr/día y 29.17gr/día para las densidades 167, 250 y 333 peces/m³ respectivamente. También obtuvo valores de pH que variaron de 7.10 a 7.40, el oxígeno disuelto que vario desde 5.75 hasta 5.28 al final. Obtuvo un mérito económico en soles de 3.13 y un retorno por sol invertido de s/ 1.44 en la densidad 167 peces/m³.

Yang y Kim (2020) trabajaron con un cultivo de tilapia y albahaca en acuaponía con una densidad de 24 peces en tanques de 350 L de agua trabajo con un peso inicial por pes de 316.7g, obtenido un peso final de 419.6 g, una ganancia diaria de peso de 27.4 g, una conversión alimenticia de 1.49 y una sobrevivencia de 100 %. así mismo obtuvo valores oxígeno disuelto de 7.05 mg/L, pH 6.79, temperatura de 25.06 °C, una conductividad eléctrica de 0.84 ds/cm (840 µS/cm), NO₂ 4.98 mg/L y NO₃ 35.4 mg/L.

Espinosa (2015) utilizo tilapia en su sistema acuapónico evaluando la albahaca, menta y hierbabuena, Trabajando a una densidad de 80 peces/ 1.5 m³ de agua, con un peso

inicial de 126.19 g y obteniendo una final de 168.78 g, reportando datos de conversión alimenticia de 1.41 ± 0.46 para los peces, valores de tasa de crecimiento específica en peso (TEC) de 0.67 %, los valores iniciales y finales de tasa de condición (K) fueron 1.64 % y 1.76 % y la conversión alimenticia (TCA) fue de 1.37 con una supervivencia del 100 %.

Villalobos y Gonzales (2016) trabajo en un sistema acuapónicos experimental en donde uso tres densidades de siembra de tilapia con producción de tomate. Las densidades fueron 120, 80 y 40 peces/m³, con pesos iniciales de 0.47 g obteniendo pesos finales de 59.1 g, 62.2 g y 59.7 g respectivamente, obteniendo valores de calidad de agua para la densidad de 120 peces/m³ de pH 7.8, EC 0.22 Ms/cm, temperatura 22 °C, NO₃ 7 ppm y NH₄ 0.3 ppm.

Segura y Valois (2017) realizaron un trabajo en acuaponía con tilapia y lechuga con pesos iniciales de 0.36 g, 0.37, y 0.38 con densidades de 200 peces/m³, 250 peces/m³ y 300 peces/m³, obteniendo pesos finales de 3.34 g 2.36 g y 2.94 g y biomásas finales de 39.87, 39.07, 58.40 g respectivamente en 40 días de evaluación. También se evaluó la calidad de agua a los 20 días de evaluación para el tratamiento de 300 peces/m³ mostrando valores de oxígeno disuelto 5.24 ppm, pH 7.96, temperatura 24 °C, NO₃ 110 ppm, NO₂ 0.8 ppm y NH₃ 0.1 ppm.

Hernandez (2017) trabajo en acuaponía con tilapia roja y lechuga en tanques de 41 L con 10 peces por sistema, donde reporto valores de peso inicial de 3.23 g y peso final en el día 45 de 22.85 g, así mismo obtuvo una longitud inicial de 3.4 cm y una longitud final de 12.5 cm después de 45 días.

Sabwa et al. (2022) trabajo en acuaponía con tilapia y lechuga con densidades de 150, 300 y 450 peces/m³. Los alevinos sembrados a 150 peces/m³ creció de 17.9 g a 42,6 g, mientras que los sembrados a 300 peces/m³ creció de 18.2 g a 32,0 g, los peces sembrados a 450 peces/m³ creció de 18.2 g a un peso de 25.2, la tasa de conversión de alimentos fue de 1.45 %, 1.66 % y 1.86 % para 150, 300 y 450 peces/m³. Muestras medias de tasa de crecimiento específica en peso de 1.19 % y 0.76 % para la densidad de 300 y 450 peces/m³ respectivamente, mostro valores de supervivencia de 93.85 %, 89.73 % y 82.05 % para las densidades de 150, 300 y 450 peces/m³. Así mismo muestra valores de calidad de agua de oxígeno disuelto de 5.35 ppm, 4.86 ppm y 4.03 ppm para las densidades 150, 300 y 450 peces/m³ respectivamente, como también obtuvo valores de pH 7.6, 7.33 y 6.89 para las densidades 150, 300 y 450 peces/m³ respectivamente.

Quijije (2021) trabajó en acuaponía con tilapia roja y lechuga con densidades de 10, 20, 30, y 40 peces/100 L, reporta pesos iniciales de 2.3 g, 2.08 g, 2.15 g, 2.3 g y mortalidad de 5 %, 18.75 %, 28.33 %, 35.63 % para cada tratamiento respectivamente. También reporta

datos de conversión alimenticia de 1.59, 2.09 2.14, 2.17 para las densidades de 10, 20, 30, y 40 peces/100 L en un tiempo de 124 días.

Ademola et al. (2022) estudiaron el cultivo de tilapia en acuaponía con la germinación de plántulas durante 60 días de evaluación, trabajo con una densidad de 250 peces/m³, obtuvo un peso inicial y final de 11.5 g y 31.83 g, obtuvo una conversión alimenticia de 1.35 y un incremento de peso en porcentaje de 176.21 % todo esto al trabajar con sustrato grava. También obtuvo valores de calidad de agua de pH 7.5, TDS 155.0 ppm, oxígeno disuelto 5.9 ppm, nitrato de 2.5 ppm.

Mello et al. (2017) trabajo con acuaponía con tilapia con variedades de lechuga durante 21 días, trabajo con una densidad de 90 peces/m³, utilizo tanques de 500 L para el cultivo de los peces, estos tenían un peso inicial de 70 g para el sistema de aguas claras de recirculación obtuvo valores de 88.12 g, 3.87 kg, 4.02, 0.9 %/día, de peso final medio, biomasa final conversión alimenticia y tasa de crecimiento específico respectivamente.

Siringi et al. (2021) trabajo probando diferentes niveles de espirulina usando una densidad de 20 peces/m³ en 16 semanas de evaluación con un peso inicial 3.91 g y final de 30.81 g, una longitud inicial y final de 64.05 mm y 114.33 mm, una tasa de crecimiento específica de 0.92 %/día. estos datos fueron reportados en el tratamiento con la dieta control.

Huallpa (2017) estudió densidades de 30, 60 y 90 peces/m³ en acuaponía con tilapia, obtuvo una sobrevivencia del 100 %, en cuanto a peso reporta datos iniciales de 30 g y finales promedio de 340 g luego de 5 meses de cultivo. Siendo sus valores de calidad de agua T° 25.6 y oxígeno disuelto 5 ml/L. recomienda producir 2737.26 Kg en biomasa de pepino y 2848.98 Kg de biomasa de tilapia, teniendo un VAN de S/ 323,71 y una TIR de 15 %.

Saseendran et al. (2020) trabajaron en acuaponía integrado al biofloc, con densidades de 150, 250 y 350 peces/m³. Obtuvo datos de tasa de crecimiento específico (SGR) de 2.03, 1.79, 1.60 %/día., índice de conversión alimenticia (FCR) de 1.29, 1.50, 1.63., una biomasa inicial de 0.21, 0.35, 0.49 kg/m³ y final de 11.03, 14.16, 16.43 kg/m³ para las densidades 150, 250 y 350 peces/m³ respectivamente. También obtuvo datos de calidad de agua de temperatura de 29.38, 29.38, 29.62 °C., pH de 7.00, 7.40, 7.40., oxígeno disuelto de 4.63, 4.37, 4.53 mg/L, amoníaco de 0.42, 0.29, 0.36 mg/L., nitrito de 0.13, 0.23, 0.22, mg/L y nitrato de 2.86, 3.3, 3.42 mg/L en las densidades con 150, 250 y 350 peces/m³ respectivamente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y fecha de ejecución

Esta investigación se llevó a cabo en la unidad de piscicultura de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en el Distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco, geográficamente se encuentra ubicado a 09° 18' 41'' de Latitud Sur y 75° 59' 49'' de Longitud Oeste con una altitud 665 msnm, perteneciente a la zona de vida bosque húmedo pre montano tropical, con una temperatura promedio de 24.5 °C, una precipitación promedio anual de 3 194 mm y una humedad de 84%. El trabajo tuvo una duración de 4 meses desde noviembre del 2021 hasta febrero del 2022

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental.

3.3. Animales y plantas experimentales

3.3.1. Peces

Se utilizaron 300 alevinos de *Oreochromis niloticus* (tilapia) no revertidos de 5.09 ± 0.09 g de peso vivo y una longitud de 6.52 ± 0.08 cm, con una edad de 45 días, estos fueron obtenidos del fundo “El encanto de SAIPAI” y fueron distribuidos en 3 tratamientos (T1:18, T2: 25 y T3:32 peces por sistema) cada uno con 4 repeticiones.

3.3.2. Plantas

Se emplearon 216 plantas de *Ocimum basilicum* (albahaca) de la variedad italiana de 2.88 ± 0.11 g con 25 días de germinados, dichas semillas fueron de la marca ANASAC. Se colocó 18 plantas por cada sistema acuapónico.

3.4. Dieta y alimentación

Para la alimentación de los peces se usó alimento balanceado comercial de la marca Aquatech. El alimento para ofrecer se calculó con la biomasa y se fue ajustando después de cada evaluación, de acuerdo con las recomendaciones de uso (Anexo 4).

3.5. Instalaciones y equipos

3.5.1. Sistema acuapónico

El laboratorio contaba con un área de techo translucido para las plantas y otro con techo de calamina para los peces. Se construyeron 12 sistemas individuales del tipo “Lecho de medios”. Se realizó el dimensionamiento de los sistemas según las recomendaciones de Jiménez (2018) y FAO (2014). Cada sistema contaba con una artesa de fibra de vidrio de 100 L el cual funciono como tanque de cultivo de las tilapias, como filtro mecánico se usó una bandeja de 4 L relleno de espuma de poliestireno, para las camas hidropónicas se usó bandejas

de 86 x 51 x 48 cm donde se llenó un volumen de 60 L con grava de río de 1 pulgada de diámetro, dentro de la cama hidropónica se instaló un sifón de campana con tubería de PVC, como sumidero se tuvo un recipiente de 20 L junto a otra bandeja de 4 L donde se colocó la bomba sumergible de la marca MINJIANG NOVENO NS F803 y para las conexiones se usaron tuberías de ½ pulgada de diámetro.

También se usó una bomba de aire de la marca RESUN ACO-006 para airear los sistemas con ayuda de mangueras y piedras difusoras. Se mantuvo un caudal de 1.7 L/min en cada sistema. Para realimentar los sistemas se utilizó agua de un pozo tubular. Antes de la etapa de evaluación se realizó la maduración de los sistemas, se aplicó el activador biológico DENITROL y se puso en funcionamiento por 30 días según lo recomendado por la FAO (2014).

3.5.2. Equipos y materiales de evaluación

Para el registro de los pesos y del alimento se usó una balanza CAMRY EK3627. Para la medición de longitud se usó una regla milimétrica de metal. Oxímetro HI 9146 HANNA para registrar el oxígeno disuelto y multiparámetro HI 9811 HANNA para registrar temperatura, pH, TDS y conductividad del agua. Para la medición de amonio, nitrito y nitrato en el agua se usó los kits HANNA HI3824, HI3873 y HI3874 respectivamente.

3.6. Tratamientos experimentales

T1: Densidad de cultivo de tilapia con 180 peces/m³

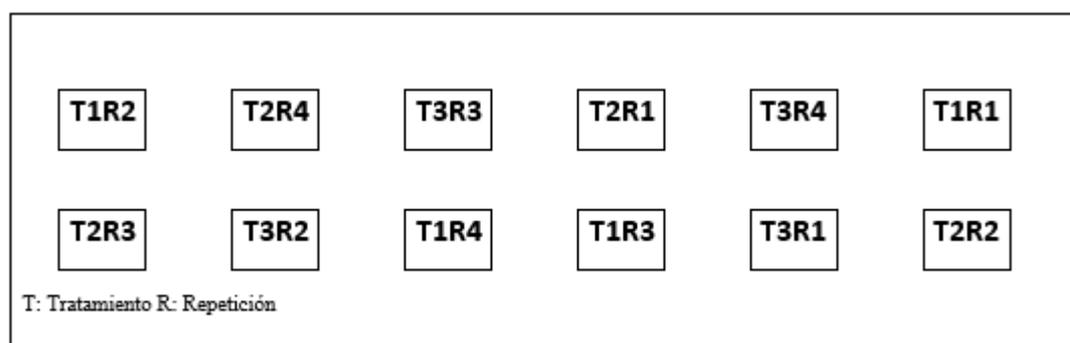
T2: Densidad de cultivo de tilapia con 250 peces/m³

T3: Densidad de cultivo de tilapia con 320 peces/m³

3.7. Variable independiente

- Densidad de cultivo de tilapia.

3.8. Croquis de distribución de tratamientos y repeticiones



3.9. Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos se procesaron mediante el análisis de varianza que corresponde al diseño completamente al azar (DCA) para la evaluación de los índices zootécnicos se usó el análisis de regresión lineal. Así mismo las comparaciones de los parámetros de calidad de agua entre los tratamientos se usó la prueba de (S.N.K) con un nivel de confianza del 95%.

El modelo aditivo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : j-esima observación bajo la i-esima densidad de cultivo.
- μ : media poblacional.
- T_i : efecto de la i-esima densidad de cultivo.
- E_{ij} : Error experimental

Para el análisis se usó el programa (INFOSTAT, 2020).

3.10. Variables dependientes

3.10.1. Índices zootécnicos

- Velocidad de crecimiento en peso (gr/día)
- Consumo diario de alimento (g)
- Conversión alimenticia aparente
- Velocidad de crecimiento en longitud (mm/día)
- Factor de condición (%)
- Tasa de crecimiento específica en peso (%)
- Tasa de crecimiento específica en longitud (%)
- Supervivencia (%)
- Biomasa final (kg/m³)
- Producción final (kg/m³)

3.10.2. Parámetros de calidad de agua

- Temperatura (°C), pH, oxígeno disuelto (ppm), sólidos disueltos totales (ppm), conductividad eléctrica ($\mu\text{s/cm}$), amoníaco (ppm), nitrito (ppm), Nitrato (ppm).

3.10.3. Parámetros económicos

- Beneficio neto (s/)
- Merito económico (%)

3.11. Metodología para la obtención de las variables

3.11.1. Velocidad de crecimiento en peso (VCP)

Para esta evaluación se midió los pesos iniciales y finales de cada uno de los peces en los 42 días de evaluación. Se usó la siguiente fórmula.

$$\text{VCP} = (\text{Peso final g} - \text{Peso inicial g}) / (\text{Tiempo en días})$$

3.11.2. Consumo diario de alimento (CDA)

Primero se calculó el peso del alimento, que se determinó mediante la biometría semanal, luego se calculó el alimento a suministrar empleando la tasa de alimentación destinada a esa etapa, finalmente se midió el alimento consumido por el pez y se dividió entre los 42 días de evaluación. Para lo cual se usó las siguientes fórmulas:

$$B = N^{\circ}P * Wp$$

Donde:

B = Biomasa

N[°]P = Número de peces

Wp = Peso promedio g

$$AS = TA * B$$

Donde:

AS = Alimento suministrado

TA = Tasa de alimentación

B = Biomasa en g

$$\text{CDA} = \text{AC} / \text{D}$$

Donde:

CDA: Consumo diario de alimento

AC: Alimento consumido g

D: Número de días de evaluación

3.11.3. Conversión alimenticia aparente (CAA)

Mide la relación que existe entre el alimento y la ganancia de peso del pez. Para ello se calculó el alimento consumido y la ganancia de peso del pez, se detalla en la siguiente fórmula.

$$\text{CAA} = \text{Alimento consumido (Kg)} / \text{Ganancia de peso (Kg)}$$

3.11.4. Velocidad de crecimiento en longitud (VCL)

Para esta evaluación se midió las longitudes totales iniciales y finales luego de 42 días de evaluación a cada uno de los peces, se detalla en la siguiente fórmula.

$$\text{VCL} = (\text{Longitud final g} - \text{Longitud inicial g}) / (\text{Tiempo en días})$$

3.11.5. Factor de condición (FC)

El factor de condición expresa el grado de bienestar del pez, mediante la relación entre el peso y la longitud del pez. Se calculó usando la siguiente fórmula.

$$FC = (\text{peso total} / \text{longitud total}) * 100$$

3.11.6. Tasa de crecimiento específica en peso (TCE_P)

Expresa el porcentaje de crecimiento en peso. Se detalla en la siguiente fórmula.

$$TCE_P = (\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) / (\text{N}^\circ \text{ de días}) * 100$$

3.11.7. Tasa de crecimiento específica en longitud (TCE_L)

Muestra el porcentaje de crecimiento en longitud, se detalla en la siguiente fórmula.

$$TCE_L = (\ln \text{ longitud final} - \ln \text{ longitud inicial}) / (\text{N}^\circ \text{ de días}) * 100$$

3.11.8. Sobrevivencia (S)

Se contabilizó el número de peces muertos durante los 42 días de evaluación del experimento para cada tratamiento luego se aplicará la siguiente fórmula:

$$S = [(\text{N}^\circ \text{ peces al inicio} - \text{N}^\circ \text{ de peces muertos}) / \text{N}^\circ \text{ peces al inicio}] * 100$$

3.11.9. Biomasa final (BF)

Se calculó el peso promedio final por pez en los 42 días de evaluación y se multiplico por el número de individuos cada tratamiento. se detalla en la siguiente fórmula.

$$B = \text{Peso final por pez} / \text{Número de peces}$$

3.11.10. Producción final (Prod F)

Se calculó el peso promedio final por pez en 42 días de evaluación y se multiplico por el número de individuos de cada tratamiento, luego se multiplico por 10 para expresarlo por metros cúbicos de agua. se detalla en la siguiente fórmula.

$$\text{Prod F} = (\text{Peso final por pez} / \text{Número de peces}) * 10$$

3.11.11. Parámetros fisicoquímicos del agua

Se recopiló datos de oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura (T°), conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (TDS) estas mediciones se realizaron cada 6 días a las 8 am. La medición de amonio (NH₃), nitrito (NO₂) y nitrato (NO₃) se realizó cada 7 días a las 8 am, estas evaluaciones se realizaron durante 42 días

3.11.12. Beneficio neto (BN)

Para el cálculo se aplicará la fórmula detallada, se averiguará el precio del kilogramo de pescado, se usará el cálculo del peso final de cada tratamiento y se hallarán los

costos variables y costos fijos del presupuesto, todo durante los 42 días de evaluación. se usará la siguiente formula.

$$BNj = PYj - (CVj + CFj)$$

BNj = Beneficio neto en nuevos soles (S/.)

j = Tratamiento

P = Precio por kg del pescado (S/.)

Yj = Ganancia de peso por pez (g)

CVj = Costo variable por tratamiento (S/.)

CFj = Costo fijo por tratamiento (S/.)

3.11.13. Merito económico (ME)

Se hallarán el costo total por cada tratamiento y su beneficio neto por tratamiento luego se usará la siguiente formula:

$$ME = BN / CT * 100$$

Dónde:

ME = Merito económico en porcentaje.

BN = Beneficio neto por tratamiento.

CT = Costo total por tratamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Índices zootécnicos de la tilapia

En la Tabla 1 se muestra los parámetros velocidad de crecimiento en peso (g/día), consumo de alimento (g/día) y conversión alimenticia aparente de la tilapia en diferentes densidades de cultivo en acuaponía.

Tabla 1. Velocidad de crecimiento en peso, consumo de alimento y conversión alimenticia aparente de la tilapia

Tratamiento Densidad	PI (g)	PF (g)	VCP (g/día)	CDA (g/día)	CAA
180 peces/m ³	5.08±0.08	13.82±0.85	0.21±0.02	0.32±0.01	1.54±0.14
250 peces/m ³	5.19±0.04	1293±0.57	0.19±0.01	0.32±0.01	1.70±0.08
320 peces/m ³	5.01±0.04	1202±0.26	0.16±0.01	0.29±0.01	1.77±0.05
p-valor	0.3067	0.0013	0.0013	0.0053	0.0076
R ²	0.10	0.66	0.66	0.56	0.53
Regresión	-	-	L	L	L

Análisis de regresión con covariable (peso inicial), PI: peso inicial, PF: peso final, VCP: velocidad de crecimiento en peso, CDA: consumo diario de alimento, CAA: conversión alimenticia aparente.

Se observa que el parámetro VCP tiene una tendencia lineal negativa respecto a la densidad de cultivo (Figura 01), la densidad de cultivo con 180 peces/m³ muestra el valor más alto con 0.21 g/día, seguido las densidades de cultivo de 250 peces /m³ y 320 peces /m³ con valores de 0.19 g/día y 0.16 g/día respectivamente, mostrando que a una menor densidad de cultivo la VCP se incrementa, así mismo se obtuvieron resultados superiores a los mostrados por Segura y Balois (2017), pero inferiores a los mostrados por Hernandez (2017) con densidades similares. Esta misma tendencia muestra Sabwa et al. (2022) con densidades similares, pero con peces de mayor peso. Estas variaciones posiblemente se dan debido a que la densidad de cultivo está relacionada directamente con la velocidad de crecimiento como menciona Campos (2015).

Para el parámetro CDA se muestra una tendencia lineal negativa respecto a la densidad de cultivo (figura 02), obteniéndose mejor resultado para la densidad de 180 peces/m³ y 250 peces/m³ ambos con 0.32 gr/día, el cual es superior a lo reportado por Culcos y Tucto (2018) con densidades similares en su primer mes de evaluación, pero inferior a lo mostrado por Benitez et al (2020), que trabajo con tilapia cultivados en tanques sin recirculación. Esto

posiblemente debido a que mientras más alta es la densidad existe un estrés por el confinamiento en espacios reducidos.

Para el parámetro conversión alimenticia aparente (CAA) se obtuvieron mejores resultados en la densidad de 180 peces/m³ con un valor de 1.54 indicando que se necesita de 1.54 kg de dieta balanceada para producir un kg de pescado, el resultado de los tratamientos muestra una tendencia lineal positiva con respecto a la densidad de cultivo (figura 03) donde a menor densidad hay una mejor conversión alimenticia. Estos resultados son mejores a los datos reportados por Yang y Kim (2020), que trabajo con una menor densidad obteniendo un valor de 1.49. Así mismo Quijije (2021) y Sabwa et al. (2022) que trabajaron con densidades de cultivo similares, pero con peces de mayor peso obteniendo valores inferiores a este trabajo, así mismo Ademola et al. (2022) trabajo con una densidad de 250 peces/m³ con alevinos de mayor peso obteniendo mejores resultados, esta variación de los resultados se dio posiblemente a la calidad de agua que se mantenía en el sistema y al estrés que existía por el confinamiento y la competencia en alta densidad de cultivo.

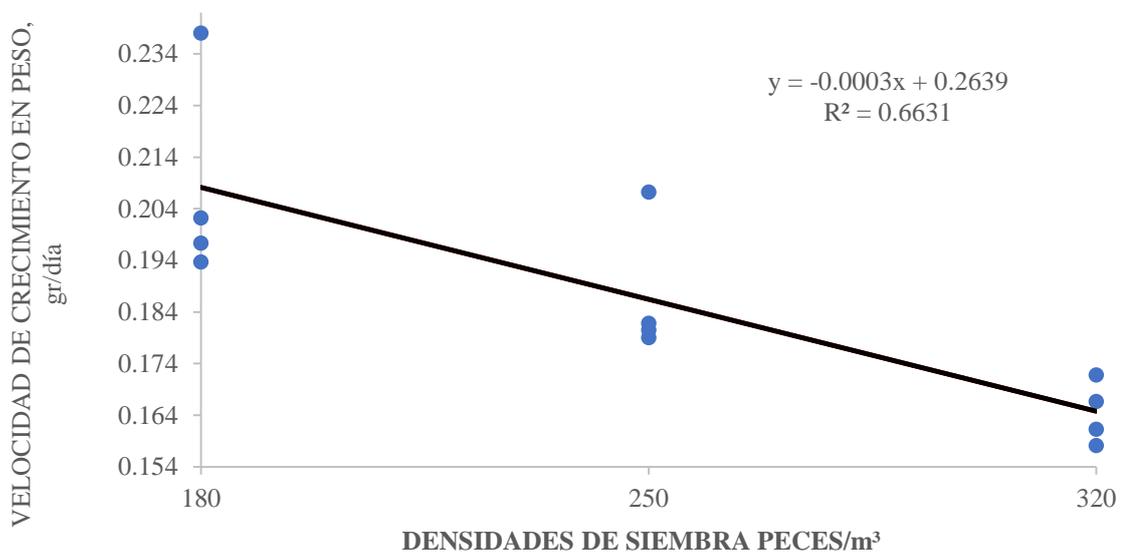


Figura 1. Regresión para velocidad de crecimiento en peso

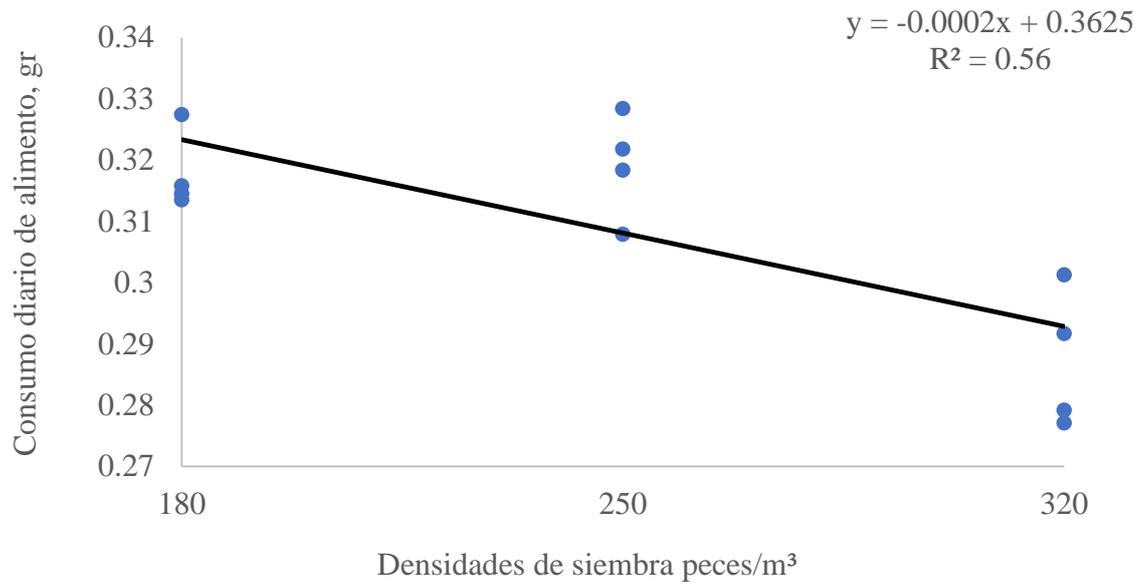


Figura 2. Regresión para consumo diario de alimento

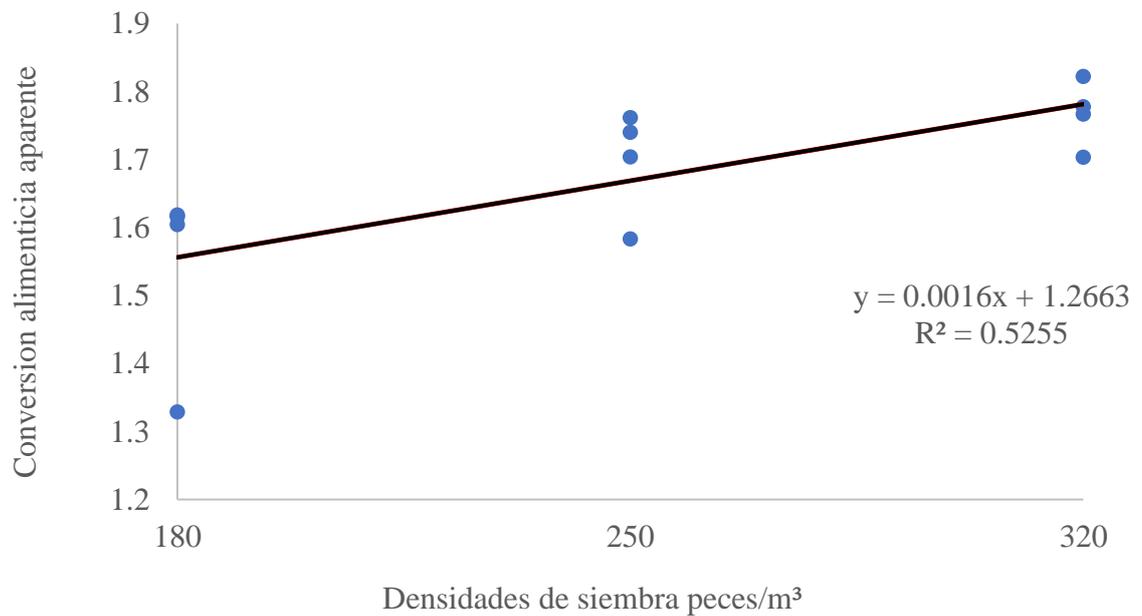


Figura 3. Regresión para conversión alimenticia aparente

En la Tabla 2 se muestra los parámetros de velocidad de crecimiento en longitud (cm/día) y factor de condición (%) de la tilapia evaluado en las tres densidades de siembra en acuaponía.

Tabla 2. Velocidad de crecimiento en longitud y factor de condición de la tilapia

Tratamiento	LI	LF	VCL (mm/día)	FC
Densidad	(cm)	(cm)		(%)
180 peces/m ³	6.52±0.08	9.07±0.08	0.61±0.02	1.87±0.16
250 peces/m ³	6.55±0.13	8.90±0.09	0.57±0.02	1.75±0.07
320 peces/m ³	6.50±0.03	8.47±0.29	0.46±0.07	2.06±0.13
p-valor	0.8565	0.0009	0.0011	0.1310
R ²	0.0034	0.68	0.67	0.21
Regresión	-	-	L	NS

Análisis de regresión con covariable (peso inicial), LI: longitud inicial, LF: longitud final, VCL: velocidad de crecimiento en longitud, FC: factor de condición.

La velocidad de crecimiento en longitud (VCL) muestra una tendencia lineal negativa respecto a la densidad de siembra (figura 04). se muestra mejores valores para la densidad de 180 peces/m³ con 0.61 mm/día y se va reduciendo conforme se incrementa la densidad de cultivo. Sabwa et al. (2022) trabajaron con una densidad de 150 peces/m³ obteniendo una velocidad de crecimiento mucho más elevada. así mismo Culcos y Tucto (2018) que trabajo con una densidad de 250 peces/m³ con un peso inicial de 0.62 g y una final de 20.66 gr en 30 días obtuvo una velocidad de crecimiento más elevado. Estas variaciones posiblemente se debido al estrés por la competencia por el espacio y la calidad de agua del sistema.

El parámetro factor de condición (FC) se observa que no fue influenciada por la densidad de siembra. Los resultados obtenidos son indicativos que existe una buena condición en los tres tratamientos. Se obtuvo un valor de 1.87 % para la densidad de 180 peces/m³ Espinosa (2015) trabajo con 80 peces/1.5 m³ en un sistema acuapónico con un peso inicial de 137 g y una final de 168.7 g obteniendo un FC final de 1.78 % que es muy cercano a este trabajo.

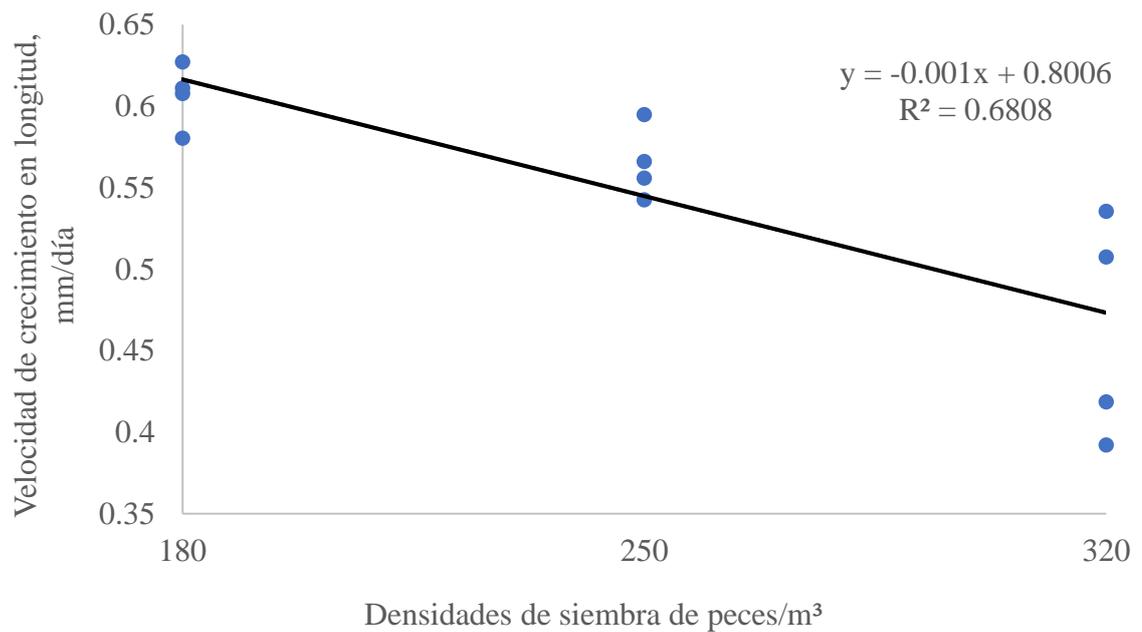


Figura 4. Regresión para velocidad de crecimiento en longitud

En la Tabla 3 se muestra la tasa de crecimiento específica en peso (%), tasa de crecimiento específico en longitud (%), sobrevivencia (%) de la tilapia en tres densidades de siembra en acuaponía.

Tabla 3. Tasa de crecimiento específica en peso, tasa de crecimiento específico en longitud, sobrevivencia de la tilapia.

Tratamiento (Densidad)	TCE_P (%)	TCE_L (%)	S (%)
180 peces/m ³	1.03±0.06	0.34±0.01	95.97±5.21
250 peces/m ³	0.97±0.04	0.32±0.01	94.06±3.94
320 peces/m ³	0.88±0.02	0.27±0.04	91.43±5.69
p-valor	0.0008	0.0011	0.2059
R ²	0.69	0.67	0.15
Regresión	L	L	NS

Análisis de regresión con covariable (peso inicial) TCE_P: tasa de crecimiento específico en peso, TCE_L: tasa de crecimiento específico en longitud. S: tasa de sobrevivencia.

La tasa de crecimiento específica en peso (TCEP) muestra una tendencia lineal negativa con respecto a la densidad de cultivo (figura 05) observándose que este se reduce a mayor densidad de cultivo, mostrando mejores resultados en el tratamiento 180 peces/m³ con

un valor de 1.03 %, Mello et al. (2017) muestra un valor de TCEP de 0.96% trabajando una densidad de 90 peces/m³ en acuaponía con aguas claras, como también Sabwa et al. (2022) obtuvo valores más bajos trabajando con una densidad de 300 peces/m³ pero más altas cuando trabajo con 150 peces/m³. Estas variaciones se debieron posiblemente a la temperatura del agua que se mantenía en el sistema, asociado al estrés causado por el espacio reducido debido biomasa del cultivo.

La tasa de crecimiento específica en longitud (TCEL) muestra una tendencia lineal negativa con respecto a la densidad de cultivo (figura 06), obteniendo mejores resultados para la densidad 180 peces/m³ con un valor de 0.34 % por día, así mismo Siringi et al (2021) que trabajo en acuaponía con una densidad de 20 peces/m³ obtuvo una TCEL mucho más baja que el mostrado. Esto resultados se debieron al estrés causado por la densidad de cultivo como también a las bajas temperaturas en el agua del sistema.

Para el parámetro sobrevivencia (S) se observa que no fue influenciada por la densidad de siembra, pero se obtuvo mejores resultados para la densidad de 180 peces/m³ con un valor de 95,97 % y la más baja en la densidad de 320 peces/m³ con 91.43 %. Huallpa (2017) trabajando con 90 peces/m³ obtuvo un 100 % de sobrevivencia, Ademola et al. (2022) menciona que obtuvo una supervivencia de 96.5 % en acuaponía con sustrato de grava a una densidad de 250 peces/m³. Así mismo Sabwa et al. (2022) trabajando con una densidad de 300 peces/m³ obtuvo una sobrevivencia de 89.73 % la cual es inferior a lo reportado en este trabajo.

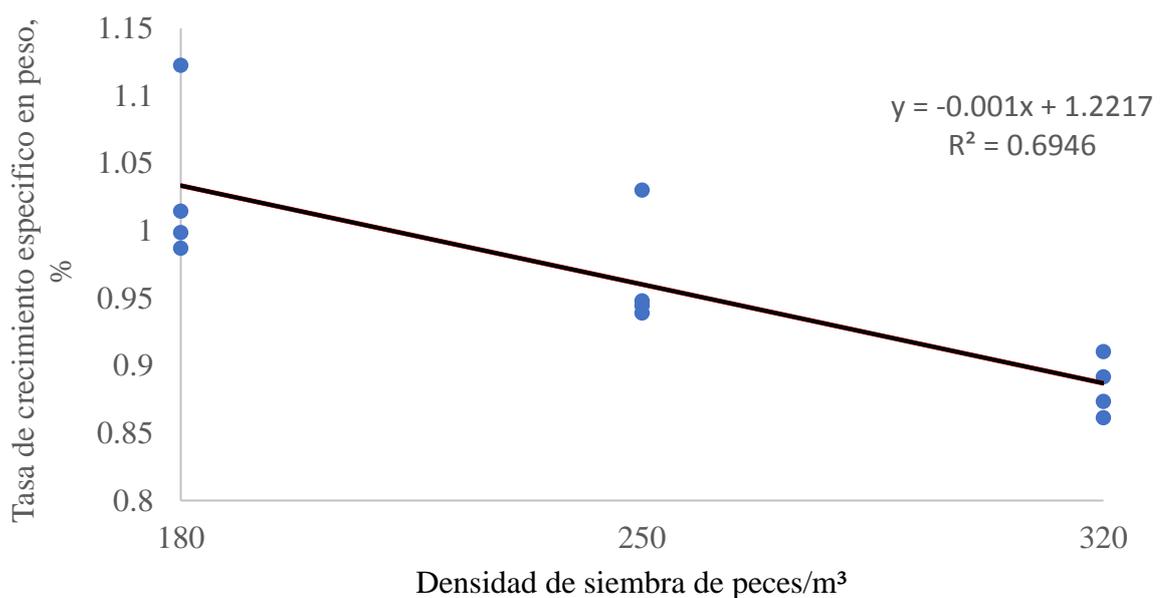


Figura 5. Regresión para tasa de crecimiento específico en peso

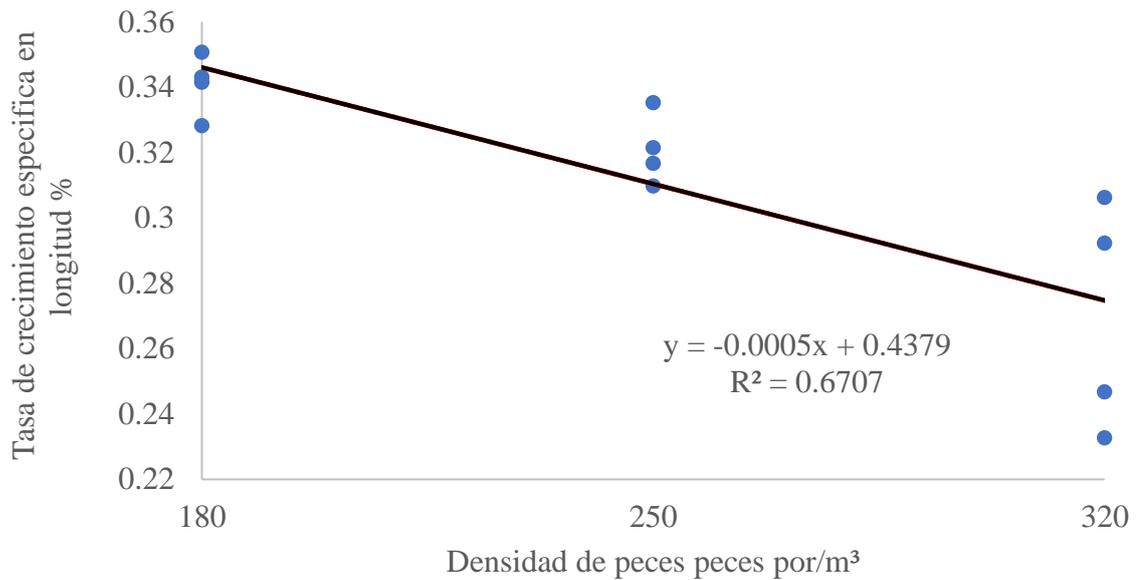


Figura 6. Regresión para tasa de crecimiento específico en longitud

En la Tabla 4 se muestra la biomasa inicial (g), la biomasa final (g), la producción inicial (kg/m^3) y la producción final (kg/m^3) de la tilapia en tres densidades de siembra en acuaponía.

Tabla 4. Biomasa inicial, la biomasa final, la producción inicial y la producción final de la tilapia.

Tratamiento (Densidad)	BI (g)	BF (g)	Prod I (kg/m^3)	Prod F (kg/m^3)
180 peces/ m^3	91.72 ± 0.28	238.83 ± 23.30	0.92 ± 0.003	2.49 ± 0.16
250 peces/ m^3	127.66 ± 0.13	308.28 ± 25.47	1.28 ± 0.002	3.27 ± 0.13
320 peces/ m^3	162.05 ± 0.43	346.83 ± 24.85	1.62 ± 0.004	3.80 ± 0.07
p-valor	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
R ²	1.00	0.79	1.00	0.95
Regresión	-	L	-	L

Análisis de regresión con covariable (peso inicial), BI: biomasa inicial, BF: biomasa final. Prod I: producción inicial. Prod F: producción final.

Se observa que la biomasa final (BF) muestra una tendencia lineal positiva (figura 07) con valores que van desde 238.83 g hasta valores de 346.83 g siendo mayor en la densidad de 320 peces/ m^3 , Segura y Balois (2017) Con densidades de 200 peces/ m^3 , 250 peces/ m^3 y 300

peces/m³ con biomásas iniciales de 7.17 g, 9.30 g y 11.43 g en 40 días de cultivo obtuvo biomásas finales de 39.87 g, 39.07 g y 58.40 g siendo inferiores a lo reportado en este trabajo. Asimismo, Mello et al (2017) con una densidad de 90 peces/m³ trabajo con una biomasa inicial de 3.2 kg obteniendo una biomasa final de 4.6 kg en 21 días de producción esto puede deberse principalmente a la densidad de siembra en cada tratamiento.

En la producción final (Prod F) se observa una tendencia lineal positiva (figura 08) los valores más altos se dan en la densidad de 320 peces/m³ con valores de 3.80 kg/m³ mostrando que a mayor densidad de cultivo existe mayor producción, así mismo Saseendran et al (2020) trabajo con densidades de 150 peces/m³, 250 peces/m³ y 350 peces/m³ obteniendo biomásas finales de 11.03 Kg/m³, 14.16 kg/m³ y 16.43 kg/m³ respectivamente en un periodo de 120 días. Sin embargo, Siringi et al (2021) trabajando con una densidad de 20 peces/m³ obtuvo una producción inferior reportado en este trabajo. Estas variaciones pueden deberse al tiempo de cultivo, la calidad de agua mostrada en cada sistema, y principalmente de la densidad de siembra en cada sistema de cultivo.

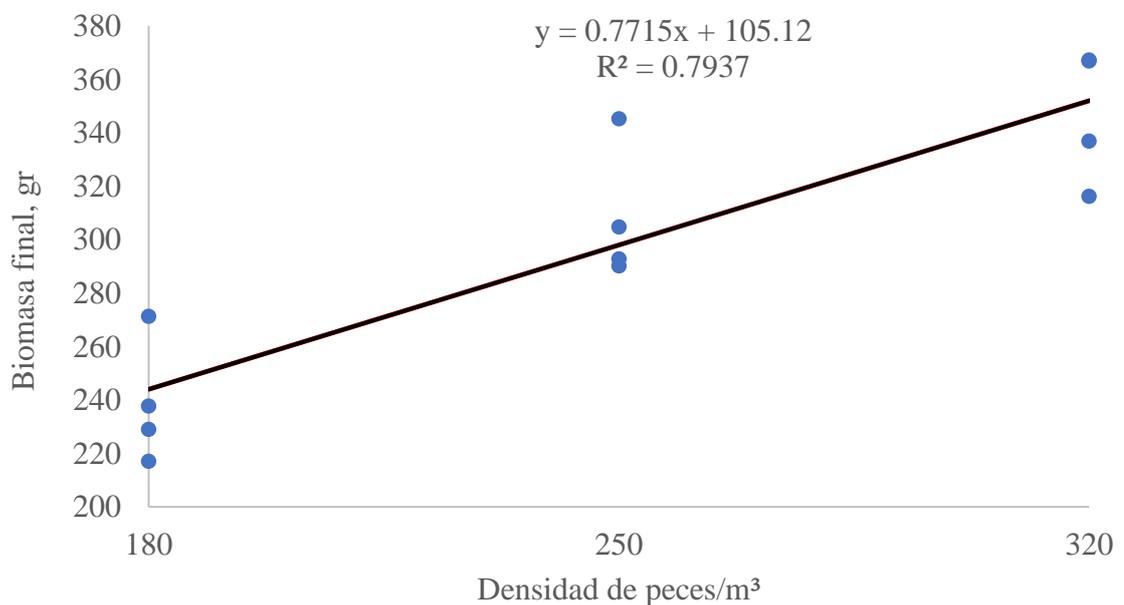


Figura 7. Regresión para biomasa final

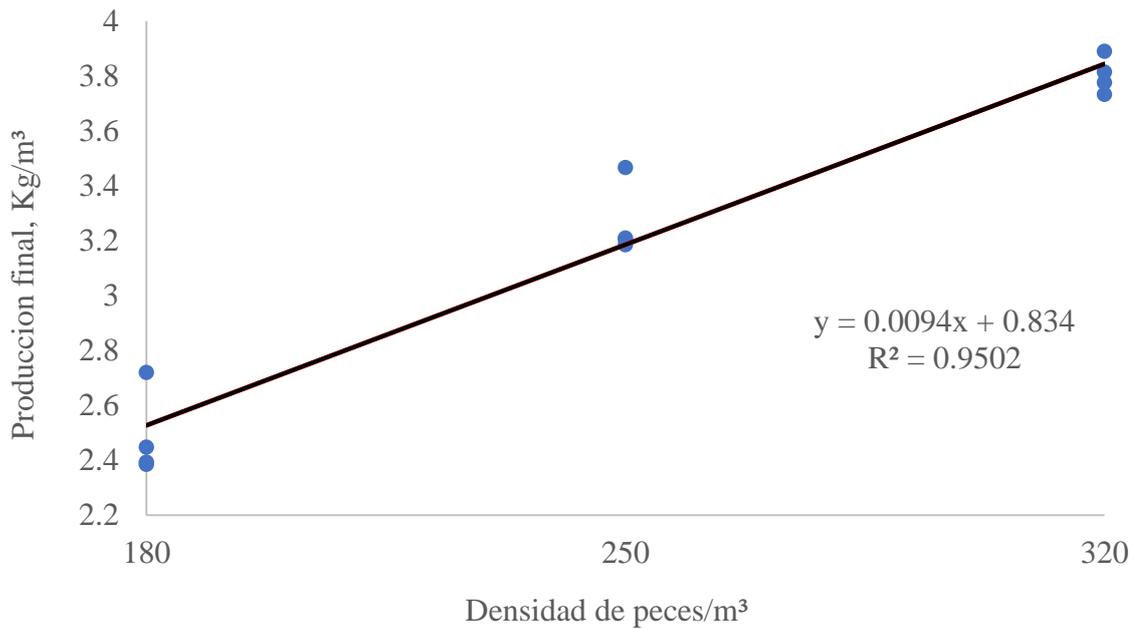


Figura 8. Regresión para producción final

4.2. Parámetros de calidad de agua del cultivo de tilapia

En la Tabla 5 se muestra los parámetros de oxígeno disuelto (mg/l), pH, sólidos disueltos totales (mg/l), y conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$), donde para el factor densidad existe diferencia significativa ($p < 0.05$) en las variables oxígeno disuelto, pH, TDS, y conductividad. Así mismo para el factor etapa existe diferencia significativa ($p < 0.05$) para las variables oxígeno disuelto, pH, TDS y conductividad. Como también para la interacción existe diferencia significativa ($p < 0.05$) para las variables oxígeno disuelto, TDS y conductividad.

Tabla 5. Valores de oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y temperatura en función a la densidad y etapa

Factor	OD (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	CE (μS/cm)	T° (°C)
Densidad	P=0.0106	P=0.0025	P=0.0507	P=0.0179	P=0.2782
Etapas	P=0.0165	P=0.0011	P=0.0001	P=0.0001	P=0.0035
Den x Eta	P=0.0294	P=0.0715	P=0.0101	P=0.0080	P=0.8594
cv	4.65	1.74	4.21	4.55	0.53
R ²	0.60	0.68	0.98	0.99	0.44
Densidad					
180 peces/m ³	5.65±0.2 b	8.06±0.07b	327.5±86.5	537.8±178.6a	24.68±0.15
250 peces/m ³	5.33±0.4 a	7.84±0.24a	342.5±110.6	567.5±217.6b	24.68±0.17
320 peces/m ³	5.24±0.3 a	7.80±0.20a	345.0±107.6	576.3±221.4b	24.58±0.14
Etapas					
Inicial	5.54±0.1a	8.01±0.09b	244.17±13.11a	369.17±9.0a	24.55±0.16a
Final	5.27±0.5b	7.79±0.25a	432.50±22.61b	751.67±48.4b	24.73±0.08b

Letras diferentes en la misma columna, indican diferencia estadística (SNK 5%)., OD: Oxígeno disuelto, pH: Potencial de hidrogeno, TDS: sólidos disueltos totales. CE: Conductividad eléctrica T°: Temperatura.

Para el parámetro oxígeno disuelto (OD) respecto al factor densidad muestra datos de 5.65, 5.33 y 5.24 mg/l para las densidades de 180, 250 y 320 peces/m³ respectivamente estos valores se mantienen dentro de los rangos normales para el sistema de recirculación como lo indica World Renew y Diaconía Nacional (2020) también como para las tilapias como lo indica (Bautista y Ruiz, 2011), así mismo Huallpa (2017) obtiene valores similares trabajando a menor densidad de cultivo. Se observa que el oxígeno disuelto disminuye conforme aumenta la densidad de cultivo (figura 09) esto posiblemente debido a la biomasa ya que existe un mayor consumo de oxígeno. Respecto al factor etapas se muestra valores de oxígeno disuelto de 5.7 y 5.54 mg/l inicio y final respectivamente, mostrando que en la etapa final este disminuye posiblemente debido al incremento de la biomasa, así como se observa en el trabajo de Culcos y Tucto (2018).

El pH respecto al factor densidad se observan valores de 8.06, 7.84, 7.80 para las densidades de 180, 250 y 320 peces/m³ respectivamente, estos valores se encuentran dentro de lo normal según Tsang y Quintanilla (2008), así mismo Sabwa et al. (2022) muestra resultados más bajos trabajando a densidades de cultivo similares. Estos valores muestran que a medida aumenta la densidad el pH del agua disminuye.

Asimismo, para el factor etapa se observan valores de pH 8,01 y 7,79 al inicio y final respectivamente, mostrando que en la etapa final el pH es menor (figura 10), posiblemente estos cambios se deban a factores como proceso de nitrificación y la liberación de CO₂ por parte de los peces los cuales disminuyen el pH como menciona la FAO (2014).

El parámetro sólidos disueltos totales (TDS) con respecto al factor densidad muestra valores de 327.5, 342.5 y 345 ppm para las densidades de 180, 250 y 320 peces/m³ respectivamente mostrando que a mayor densidad existe mayor sólidos disueltos totales, asimismo Ademola et al (2022) muestra valores inferiores al trabajar con una densidad de 250 peces/m³. Los valores de TDS reportados en este trabajo están dentro del rango normal según Rakocy et al. (2006).

Así mismo para el factor etapa se muestran valores de 244.17 y 432.50 ppm para la etapa inicial y final respectivamente mostrando que en la etapa final existe una subida de los sólidos disueltos (figura 11) que sobrepasan levemente los límites recomendables, este incremento podría ser debido a la acumulación de nutrientes que deriva del alimento ofertado y la mineralización de este como menciona Rakocy et al. (2006)

El parámetro conductividad eléctrica (CE) para el factor densidad muestra resultados de 537.5, 567.5 y 576.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para las densidades 180, 250 y 320 peces/m³ respectivamente se observa un incremento conforme se incrementa la densidad de cultivo (figura 12), estos valores están dentro del rango recomendable Rakocy et al. (2006). Así mismo Villalobos y Gonzales (2016) obtuvieron valores inferiores trabajando en un sistema acuapónico con densidades de 120 peces/m³, como también Yang y Kim (2020) obtuvieron valores de 840 $\mu\text{S}/\text{cm}$ trabajando a una menor densidad de peces. Para el factor etapa se obtuvieron datos de conductividad eléctrica de 369.17 y 751.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ al inicio y final respectivamente observándose en a medida que pasa el tiempo se incrementa la conductividad llegando a valores más altos de lo recomendable. Esto debido posiblemente a la acumulación de sólidos debido a la alimentación de los peces y a la posterior mineralización como lo menciona Rakocy et al. (2006)

La temperatura (T) muestra valores de 24.68, 24.68 y 24.58 °C para las densidades de 180, 250 y 320 peces/m³ respectivamente estos valores se encuentran mínimamente por debajo de lo óptimo según World Renew y Diaconia Nacional (2020). Así mismo para el factor etapa se obtuvieron datos de 24.55 y 24.73 °C para la etapa inicial y final respectivamente, los cambios de temperatura (figura 13), posiblemente se debieron a que el laboratorio no tenía invernadero así que los cambios de temperatura ambiental influyo en el agua.

En la Tabla 06 se muestra la interacción de los factores etapa y densidad de peces para la concentración de oxígeno disuelto, mostrando diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Tabla 6. Interacción de los factores etapa y densidad, para la concentración de oxígeno disuelto (mg/L)

Etapa	densidad		
	180 peces/m ³	250 peces/m ³	320 peces/m ³
Inicio	5.58a	5.60a	5.45b
Final	5.73aB	5.06aA	5.03aA

Letras minúsculas diferentes en la misma columna, indican diferencia estadística (SNK 5%).
Letras mayúsculas diferentes en la misma fila, indican diferencia estadística (SNK 5%).

Se observa que en la densidad más alta de 320 peces/m³ en la etapa final se muestran los valores más bajos de oxígeno disuelto en el agua. Esto debido a que conforme el tiempo y la biomasa aumenta también se incrementa la demanda de oxígeno en el sistema, así como lo reporta Sabwa et al (2022).

En la Tabla 7 se muestra la interacción de los factores etapa y densidad para la concentración de sólidos disueltos totales (TDS), mostrando diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Tabla 7. Interacción de los factores etapa y densidad para la concentración de sólidos disueltos totales (mg/L)

Etapa	Densidad		
	180 peces/m ³	250 peces/m ³	320 peces/m ³
Inicio	247.5a	240.0a	245.0a
Final	407.5aA	445.0bB	445.0bB

Letras minúsculas diferentes en la misma columna, indican diferencia estadística (SNK 5%).
Letras mayúsculas diferentes en la misma fila, indican diferencia estadística (SNK 5%).

Se observa que en la mayor densidad y en la etapa final existe un incremento de los sólidos disueltos totales en el sistema, esto posiblemente debido a la acumulación de nutrientes causado por la mineralización de los sólidos provenientes de la ración de los peces ya que mientras mayor sea la biomasa de peces mayor es el consumo de alimento Rakocy et al. (2006).

En la Tabla 8 se muestra la interacción de los factores etapa y densidad para el parámetro conductividad eléctrica, mostrando diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Tabla 8. Interacción de los factores etapa y densidad, para los valores de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Etapa	Densidad		
	180 peces/ m^3	250 peces/ m^3	320 peces/ m^3
Inicio	372.50a	365.0a	370a
Final	702.50bA	770.0bB	782.50bB

Letras minúsculas diferentes en la misma columna, indican diferencia estadística (SNK 5%).

Letras mayúsculas diferentes en la misma fila, indican diferencia estadística (SNK 5%).

Se observa que a mayor densidad de cultivo en la etapa final se obtienen valores más altos de conductividad eléctrica en el agua, esto posiblemente a la acumulación de nutrientes, sólidos y la mineralización de estos en el agua, provenientes de la alimentación de los peces, así como lo indica FAO (2014).

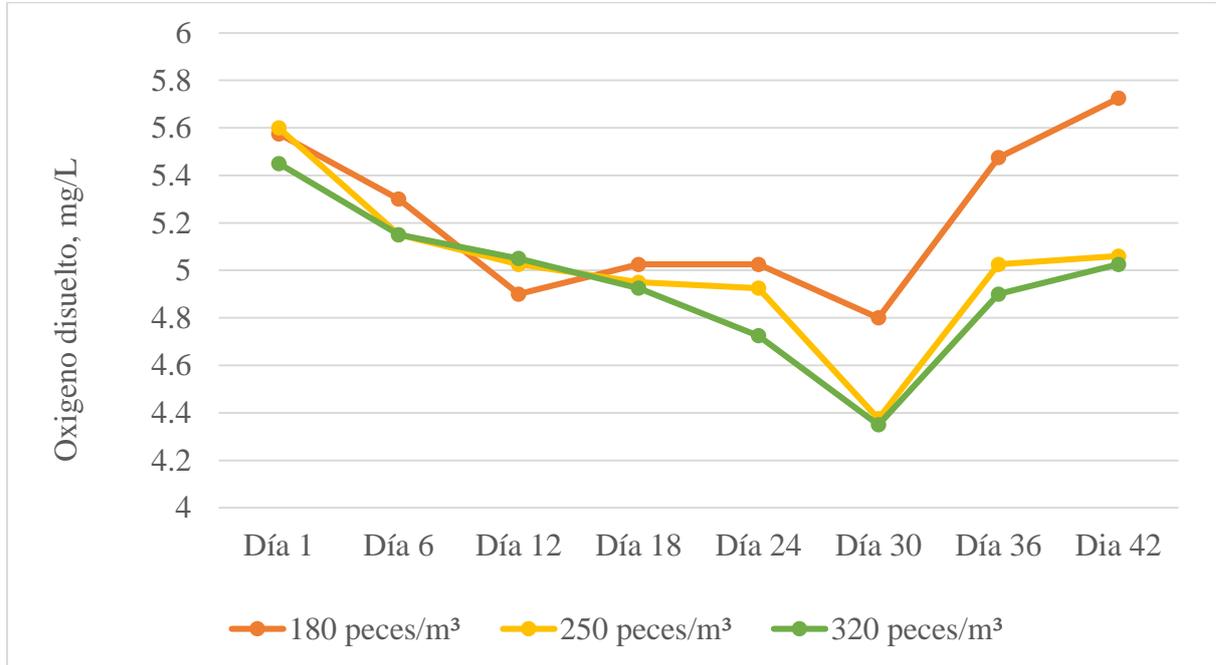


Figura 9. Variación del oxígeno disuelto en los 42 días de cultivo

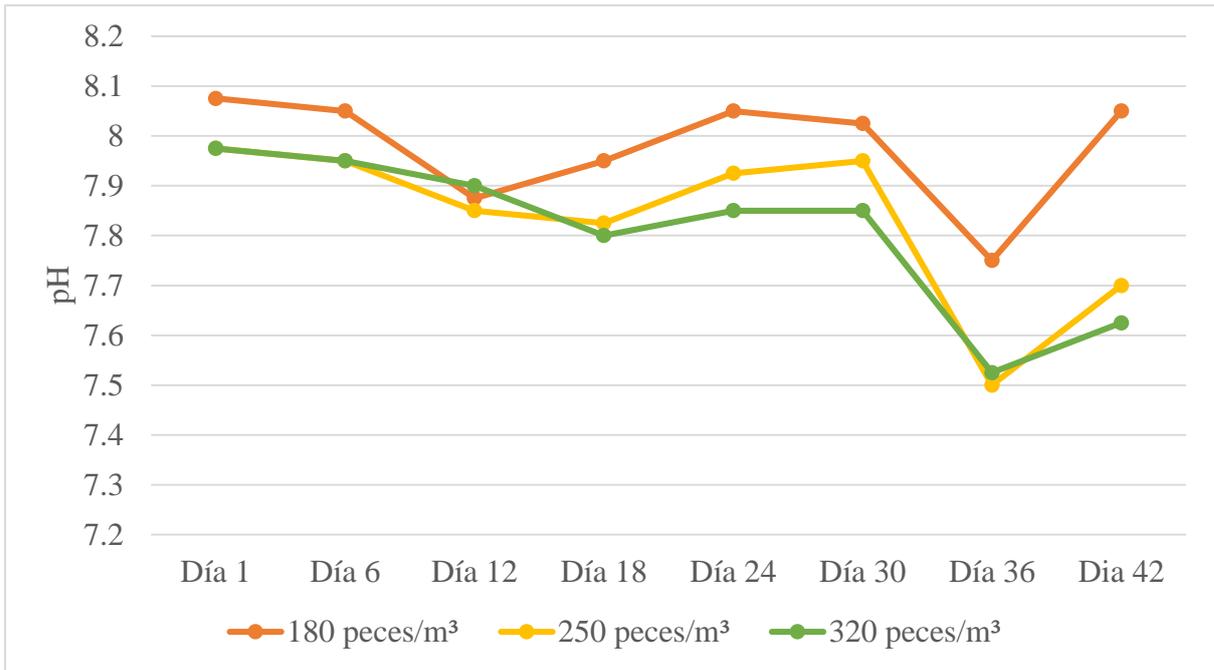


Figura 10. Variación del pH en los 42 días de cultivo

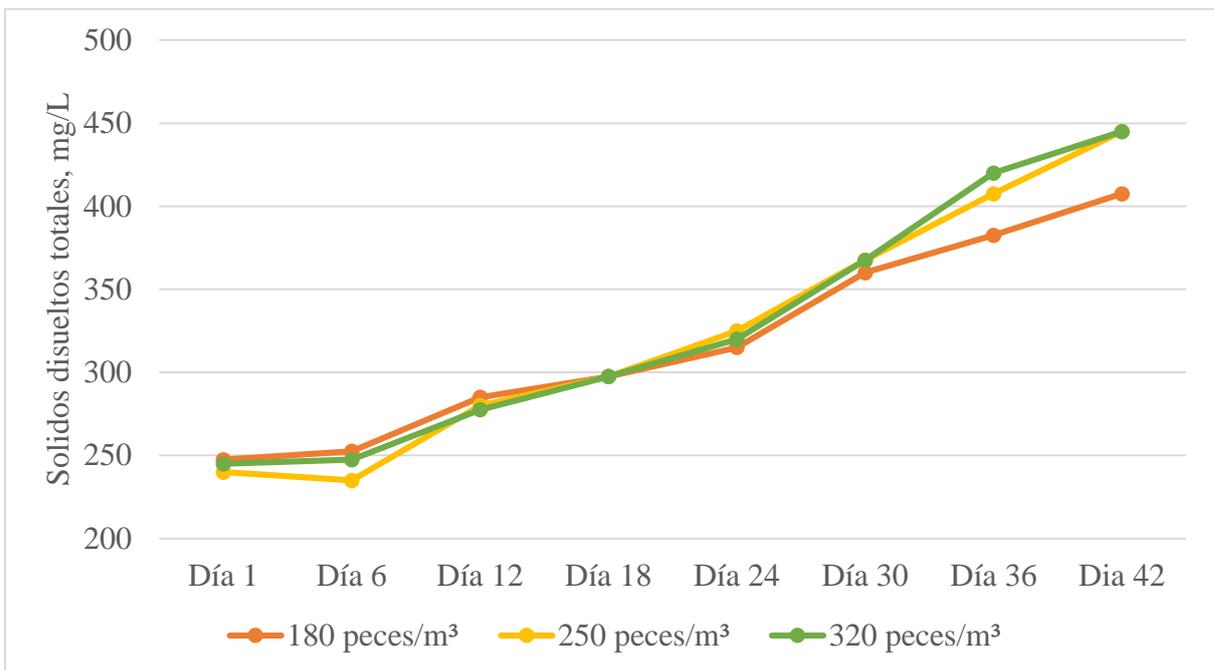


Figura 11. Variación de los sólidos disueltos totales en los 42 días de cultivo

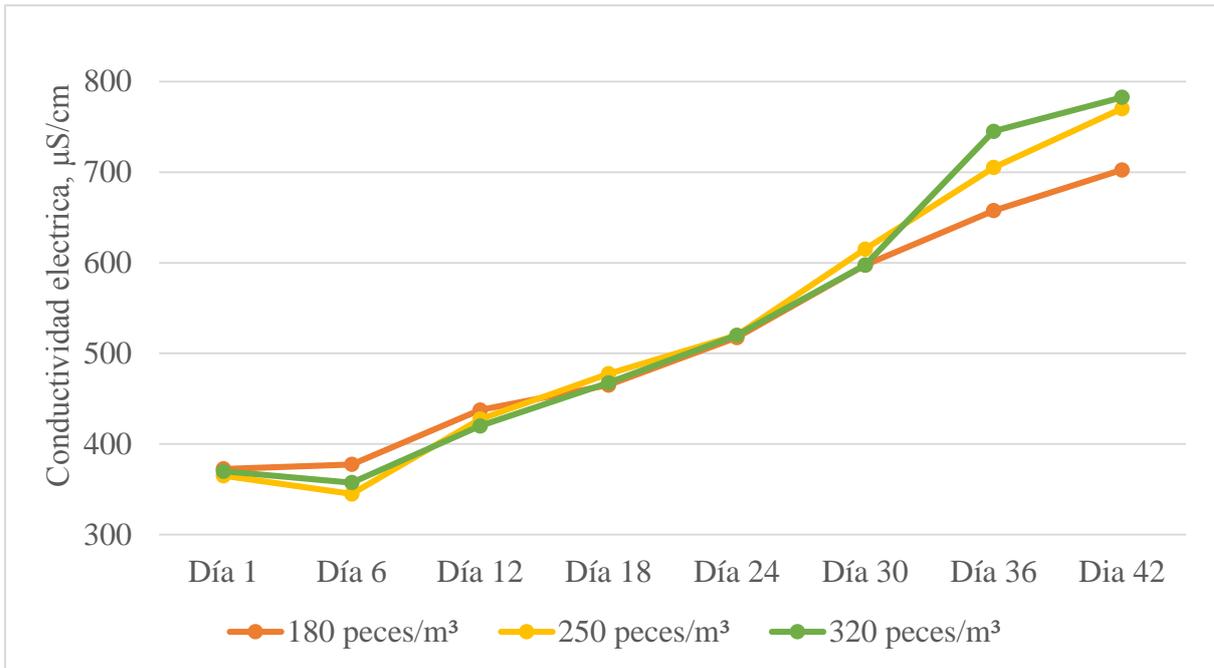


Figura 12. Variación de conductividad eléctrica en los 42 días de cultivo

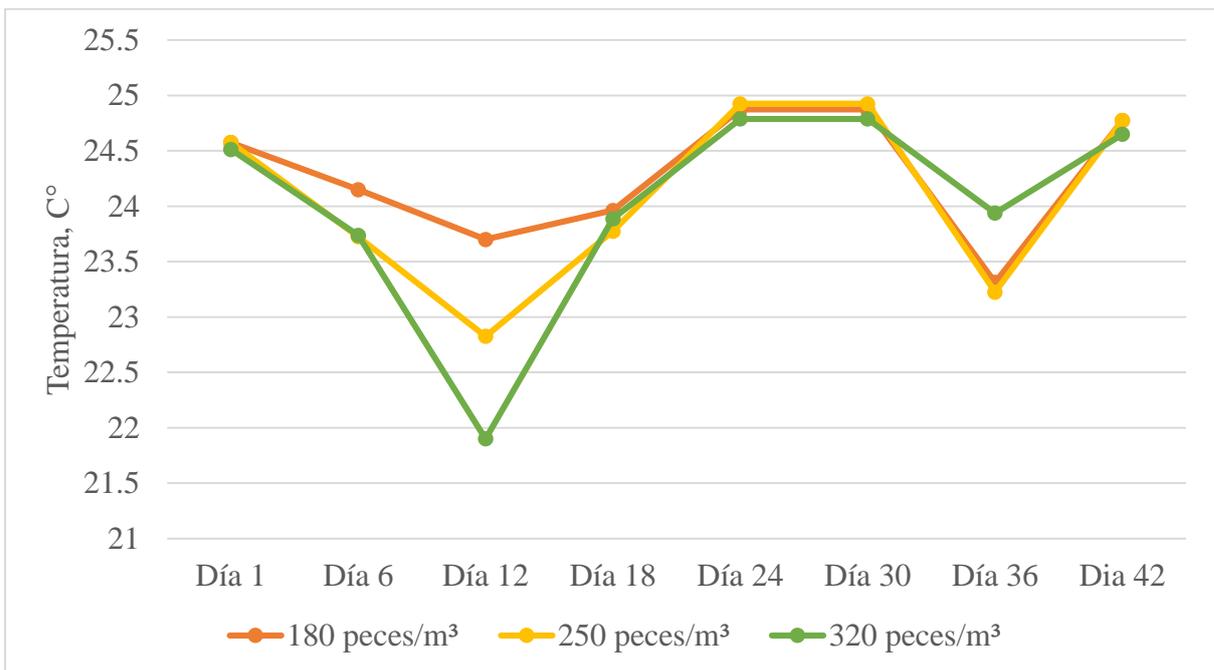


Figura 13. Variación de la temperatura en los 42 días de cultivo

En la Tabla 9 se muestra los parámetros amoníaco (mg/l), nitrito (mg/l) y nitrato (mg/l) de las tres densidades de cultivo. Observándose diferencia estadística significativa para el factor densidad ($p < 0.05$) solo en la variable nitrito. Así mismo para el factor etapa también existe diferencia significativa ($p < 0.05$) para la variable nitrito y nitrato.

Tabla 9. Valores de amoníaco, nitrito, y nitrato, en las tres densidades y etapas de cultivo de tilapia en acuaponía.

Factor	NH₃ (mg/l)	NO₂ (mg/l)	NO₃ (mg/l)
Densidad	-	P=0.0003	P=0.2497
Etapas	-	P=0.0001	P=0.0001
Densidad x Etapas	-	P=0.0003	P=0.2497
cv	-	15.80	20.00
R ²	-	0.98	0.97
Densidad			
180 peces/m ³	0.25±0.27	0.20±0.21a	15.00±16.04a
250 peces/m ³	0.25±0.27	0.28±0.30b	17.50±19.09a
320 peces/m ³	0.25±0.27	0.30±0.32b	17.50±19.09a
Etapas			
Inicial	0.00±0	0.00±0a	0.00±0a
final	0.50±0	0.52±0.1b	33.33±4.92b

Letras diferentes en la misma columna, indican diferencia estadística (SNK 5%). T°: Temperatura, OD: Oxígeno disuelto, pH: Potencial de hidrogeno, TDS: sólidos disueltos totales.

En el parámetro amoníaco se observa que para el factor densidad los tres tratamientos tienen el mismo valor promedio de 0.25 mg/L. (figura 14) este valor se encuentra dentro del rango normal para los alevinos según FONDEPES (2004). Así mismo Saseendran et al (2020) trabajó con densidades de cultivo similares mostrando valores superiores a los de este trabajo.

Para el factor etapas se obtiene un valor inicial de 0 mg/L y final de 0.5 mg/l, aquí se observa un aumento en la parte final del trabajo, estos cambios posiblemente se debieron al incremento de la ración y a la acumulación de sólidos en el sistema, todo esto provocado por la subida de la biomasa como lo indica la FAO (2014).

Para el parámetro nitrito, en el factor densidad se obtuvieron datos promedio de 0.20, 0.28 y 0.30 mg/L para las densidades 180, 250 y 320 peces/m³ respectivamente, observándose que en las densidades de cultivo más altas existe una mayor acumulación de nitritos (figura 15), así mismo para el factor etapas se obtuvieron valores más elevados al finalizar el experimento. En general de estos datos se encuentran más elevados de los recomendados por World Renew y Diaconia Nacional (2020) y Cantor (2007). Esto

posiblemente debido a la saturación del biofiltro causado por el incremento de ración del alimento y a la acumulación de sólidos sobre todo en la etapa final.

Para el parámetro nitrato en el factor densidad se observa valores promedio de 15.00, 17.50 y 17.50 mg/L para las densidades 180, 250 y 320 peces/m³ respectivamente. Estos varían de acuerdo con la densidad (figura 16). Segura y Balois (2017) muestran valores muchos más altos en densidades de cultivo similares. Así mismo para el factor etapa se obtuvieron datos iniciales y finales de 0.00 y 33.33 mg/L respectivamente observándose un incremento en la etapa final. La presencia de nitratos en el sistema y su incremento en la etapa final indica que se está desarrollando normalmente el proceso de nitrificación ya que la mayor cantidad de nitratos se entiende como una mejor oxidación del amoníaco, así mismo estos valores muestran que están dentro de los rangos óptimos establecidos para la tilapia como lo menciona Bautista y Ruiz (2011). Como también están dentro de los recomendables para la acuaponía FAO (2014).

En la Tabla 10 se muestra la interacción que existe entre la etapa y la densidad para el parámetro nitrito (NO₂) en el agua del cultivo de tilapia evaluado en las tres densidades de cultivo en acuaponía.

Tabla 10. Interacción entre la etapa y la densidad para el parámetro nitrito (mg/L)

Etapa	Densidad		
	180 peces/m ³	250 peces/m ³	320 peces/m ³
Inicio	0.00a	0.00a	0.00
Final	0.40aA	0.55bB	0.60B

Letras minúsculas diferentes en la misma columna, indican diferencia estadística (SNK 5%).

Letras mayúsculas diferentes en la misma fila, indican diferencia estadística (SNK 5%).

Se observa que los valores de nitritos en la interacción entre la etapa y la densidad parten de un valor cero en las etapas iniciales, conforme se desarrolló el cultivo y se fue incrementando la biomasa se reportó un valor máximo de 0.6 mg/L en la densidad de 320 peces/m³ pudiendo ser perjudicial para el cultivo, estos valores se comportan de esta manera debido a que conforme se incrementa la ración y la biomasa de los peces, se emitirá más amoníaco que se verá reflejado en la concentración de nitritos debido al proceso de nitrificación, así que como lo menciona Jiménez (2018).

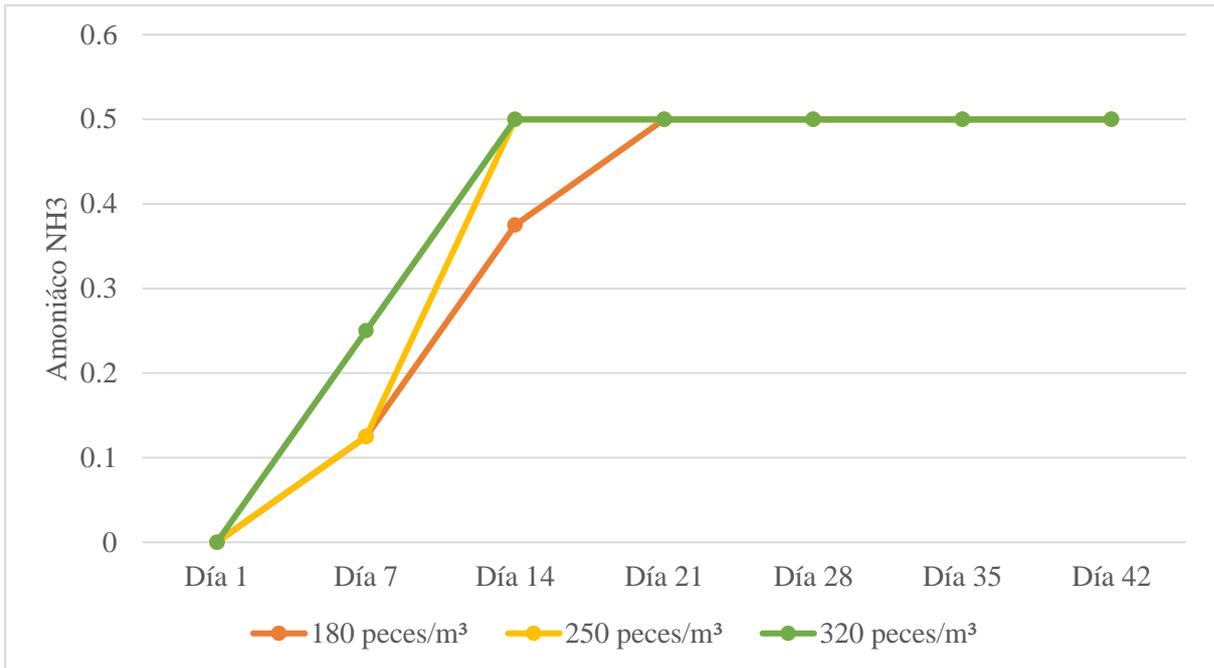


Figura 14. Variación del amoniaco en los 42 días de cultivo

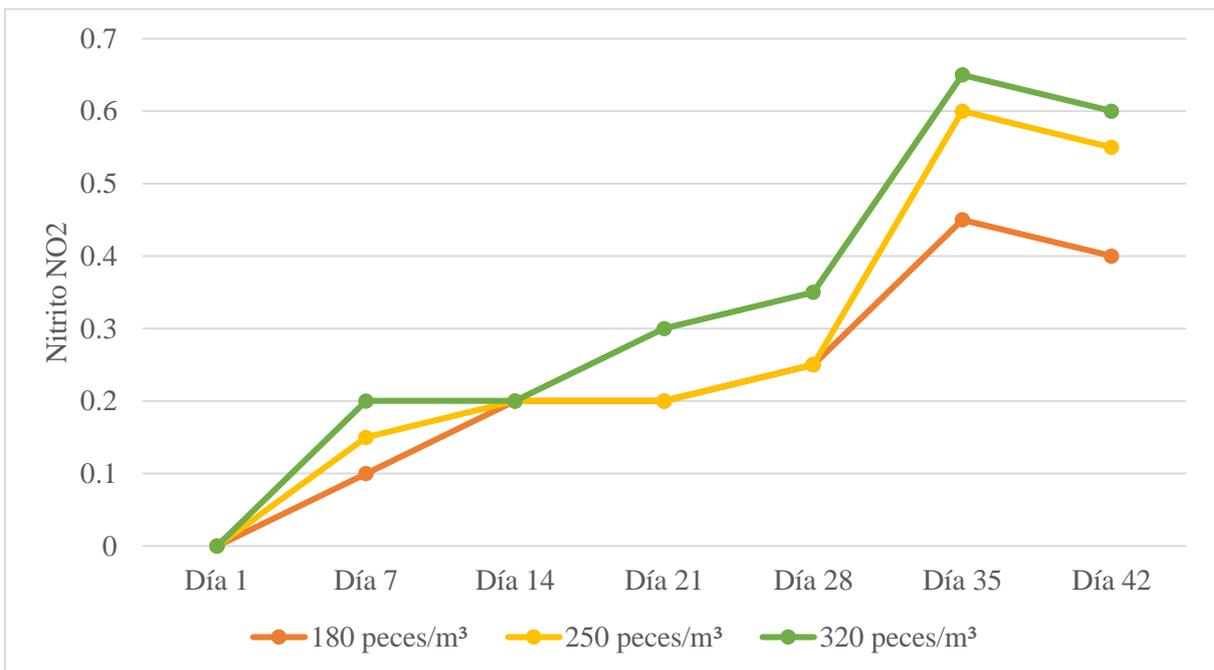


Figura 15. Variación del nitrito en los 42 días de cultivo

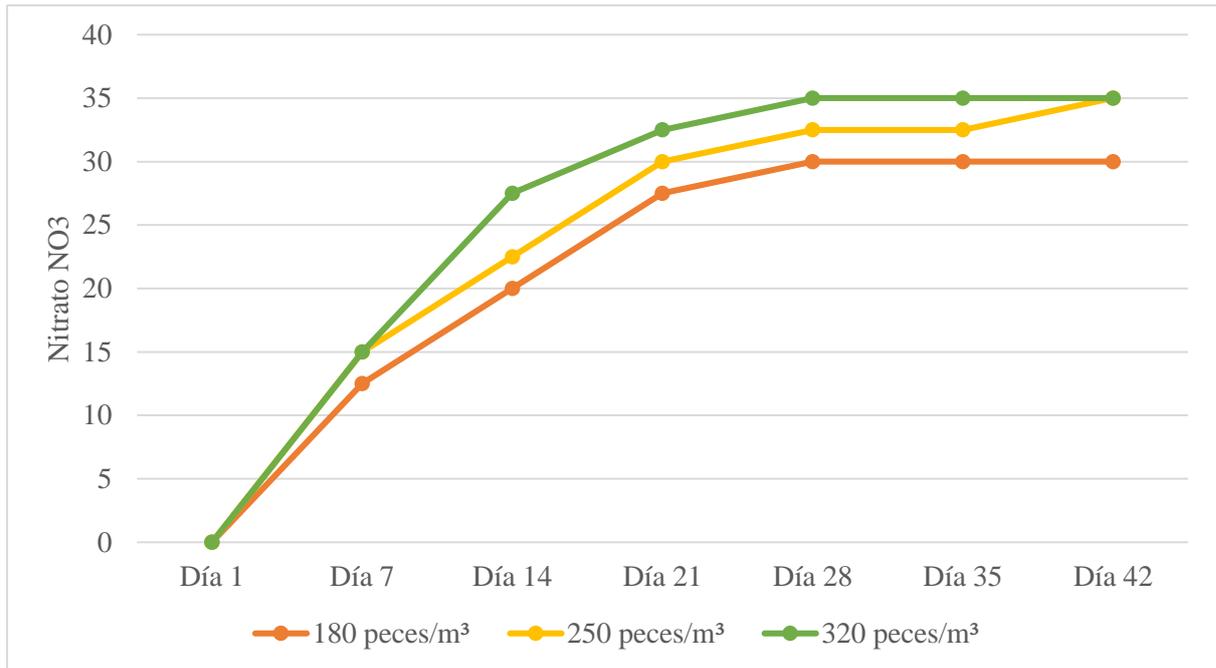


Figura 16. Variación del nitrato en los 42 días de evaluación.

4.3. Parámetros económicos del cultivo de tilapia

En la Tabla 11 se muestra los parámetros económicos beneficio neto y merito económico con respecto a las densidades de cultivo de tilapia en acuaponía, para lo cual se observa el ingreso total y costo total (Anexo 8).

Tabla 11. Valores de beneficio neto y merito económico en las tres densidades de cultivo de tilapia.

tratamiento Densidad	Y(g)	YP(S/.)	CT(S/.)	BN S/.		ME (%)
				por trat.	por m ³	
180 peces/m ³	8.74	9.44	8.17	3.17	15.53	15.53
250 peces/m ³	7.74	11.61	10.07	3.84	15.24	15.24
320 peces/m ³	7.01	13.46	11.08	5.94	21.44	21.44

Y: Ganancia de peso por pez, YP: Ingreso total por tratamiento (precio de venta de tilapia s/ 15.00 por Kg), CT: Costo total por tratamiento, BN: Beneficio neto, ME: Merito económico por tratamiento.

Se obtuvo mejor beneficio neto y merito económico por tratamiento para la densidad de 320 peces/m³ con valores de s/ 2.38 y 21.44 % respectivamente. Culcos y Tucto (2018), Probaron tres densidades de cultivo en un sistema acuapónico con 167 peces/m³, 250 peces/m³ y 333 peces/m³, obteniendo un beneficio neto y un mérito económico superior a lo reportado en este trabajo. Los valores mostrados en este trabajo pueden deberse a que el periodo

de evaluación fue solo de 42 días y no se está tomando en cuenta la producción de vegetales. Así mismo Huallpa (2017) menciona que, en un sistema acuapónicos con tilapia y pepino para llegar a un punto de equilibrio económico como mínimo se debe producir 2737.26 Kg de pepino de biomasa y 2848.98 Kg de biomasa de tilapia.

V. CONCLUSIONES

- Se rechaza la hipótesis propuesta porque la densidad de 180 peces/m³ tienen mejores índices zootécnicos y mejor calidad de agua, pero muestra los parámetros económicos más bajos.
- Los índices zootécnicos muestran mejores resultados para la densidad de cultivo 180 peces/m³, con valores de 0.21 g/día, 0.32 g/día, 1.54, 0.61 mm/día, 1.03 % y 0.34 % para VCP, CDA, CAA, VCL, TCEP y TCEL respectivamente.
- En los parámetros de calidad de agua se observan mejores resultados en la densidad de 180 peces/m³ con valores de 5.65mg/L, 8.06, 537.75 μ S/cm y 0.20mg/L para OD, pH, CE y NO₂ respectivamente así mismo se muestra mejores resultados en la etapa inicial con valores de 5.54 mg/L, 8.01, 244.17 mg/L, 369,17 μ S/cm para OD, pH, TDS, CE respectivamente y 0 mg/L para NH₃, NO₂ y NO₃.
- En cuanto a los parámetros beneficio neto y merito económico se observan mejores resultados para la densidad de 320 peces/m³, con valores de S/. 1.27 y 1.53 % de beneficio neto y merito económico respectivamente.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Realizar estudios con *Oreochromis niloticus* (tilapia) en todas las etapas de desarrollo en acuaponía.
- Plantear trabajos en acuaponía con otras especies de peces y plantas
- Probar otros diseños de sistemas de acuaponía para incrementar la eficiencia del cultivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ademola, B. T., Abdulkarim, B., Hassan, W. N., Adamu, U. S., Alkali, A.L. y Lawal, O. (2022). Response of germination and seedling growth of Jute plant (*Corchorus olitorius* L.) on three different substrates in the tilapia aquaponic system. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10. 5 p. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100366>
- Bautista, C. J. C. y Ruiz, V. J. M. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*, 8 (3), 10-14. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>
- Benitez, E. D. V., Gonzales, G. R. M. Romero, S. C. G. y Villatoro, O. O. J. (2020). Análisis comparativo del rendimiento productivo de tilapia de la línea híbrido gift (*Oreochromis niloticus*), utilizando diferentes densidades de siembra y volúmenes de agua. [Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional UES. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/22770/>
- Culcos, F. G. y Tucto, L. C. (2018). Producción de *Oreochromis niloticus* var. Chitralada “tilapia gris” y *Lactuca sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces [Tesis Lic. Biología- Pesquería. Lambayeque, Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio UNPRG. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3357/BC-TES-TMP-2138.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Campos, B. L. (2015). El cultivo de la gamitana en Latinoamérica. Universidad nacional de la amazonia peruana. <https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/108>
- Cantor, A. F. (2007). Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. <https://docplayer.es/35165080-Manual-de-produccion-de-tilapia.html>
- Espinosa, M. E. (2015). Producción de tres herbáceas utilizadas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos para la producción intensiva de tilapia (*Oreochromis niloticus*). [Tesis para maestro en ciencias pecuarias, Universidad de Guanajuato]. https://www.researchgate.net/publication/277720625_Espinosa_Moya_2015_Produccion_de_tres_especies_de_herbaceas_utilizadas_como_filtros_biologicos_en_sistemas_acuaponicos
- Hernández, Z. L. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis mossambicus*) y Lechuga Crespa (*Lactuca sativa*). Tesis para optar el

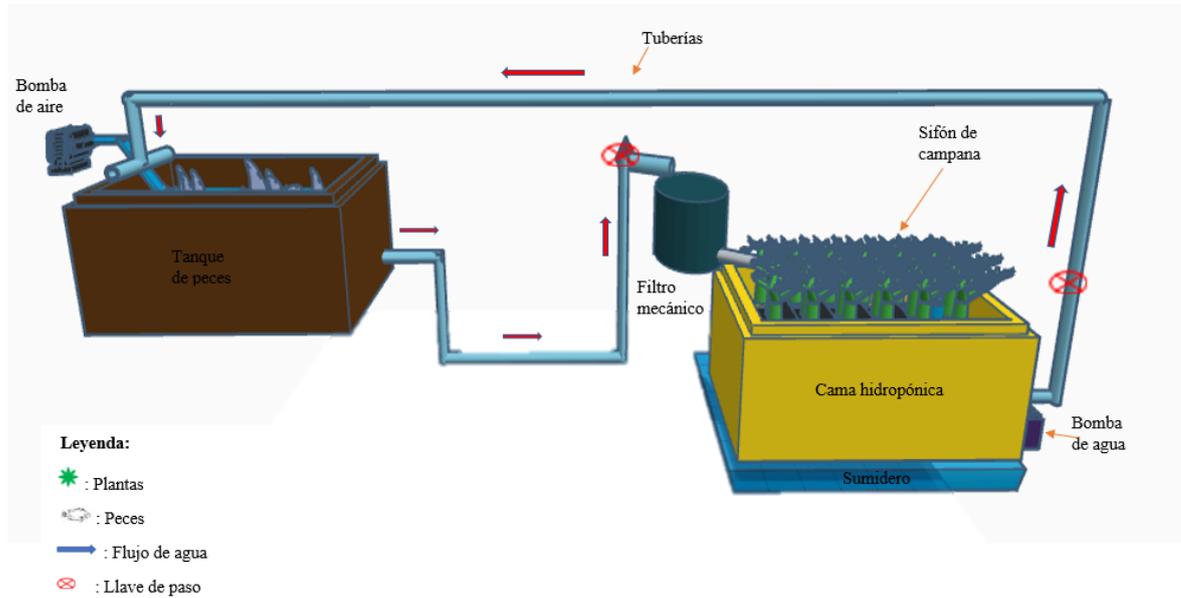
- título de Magíster en Ingeniería Automatización Industrial, [Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62954>
- FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming. Rome, <https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf>
- FONDEPES. (2004). Manual de cultivo de tilapia. Fondo Nacional de Desarrollo pesquero. http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_tilapia.pdf
- Huallpa, Q. L. G. (2017). Balance de biomasa entre la tilapia *Oreochromis niloticus* y pepino dulce *Solanum muricatum* en sistemas de acuaponía por NFT (Nutrient Film Technique) que genera rentabilidad económica [Tesis para optar el grado de maestro en ciencias con mención en proyectos de inversión Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio UNJBG. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4357>
- Jiménez, S. J. (2018). Instructivo para el diseño, construcción y manejo de sistemas de recirculación en el cultivo de paco. Ministerio de la producción. <https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/RAS-2018.pdf>
- Karazu, B. A. y Gülten, K. (2005) The Acute Toxicity of Ammonia on Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Larvae and Fingerlings. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2(29), 339-344. https://www.researchgate.net/publication/279586198_The_acute_toxicity_of_ammonia_on_Tilapia_Oreochromis_niloticus_L_larvae_and_fingerlings
- Mello, P. S., Molinari, D., Lemos de Mello, G., FITZSIMMONS. K. M. y COELHO, E. M.G. (2017). Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*. 103, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.009>
- Muñoz, G. M. E. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Revista Informador Técnico*. 76, 123-129. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/36/41
- Pandales, B. L. A y Santos C. H. D. J. (2017). Evaluación del desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo condiciones de invernadero como una alternativa de producción limpia. [Investigación científica para obtener el título de tecnólogo en horticultura]. Repositorio <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16213>
- Quijije, M. M. P. (2021). Evaluación de cuatro densidades de tilapia roja durante la etapa de alevinaje mediante la técnica de acuaponía (*Oreochromis* sp A. Smith) [Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniería Agropecuaria, Universidad De

- Las Fuerzas Armadas]. Repositorio ESPE.
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/24117>
- Rakocy J. E., Masser M.P., Losordo T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production system: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. Oklahoma State University.
<https://extension.okstate.edu/fact-sheets/print-publications/srac/recirculating-aquaculture-tank-production-systems-aquaponics-integrating-fish-and-plant-culture-srac-454.pdf>
- Saavedra, M. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. USAID.
<https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Sabwa, A. J., Manyala, O. J., MasesE, F.O. y Fitzsimmons, K. (2022). Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *Aquaculture and Fisheries* 7, 328–335. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.03.002>
- Saseendran, S., Dube, K., Changrakant, M. H. y Babitha, R. (2020). Enhanced growth response and stress mitigation of genetically improved farmed Tilapia in a biofloc integrated aquaponic system with bell pepper. *Aquaculture*. 533, 1-24.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736200>
- Segura, G. S. H. y Balois, G. R. J. (2017). Producción acuapónica de *Lactuca sativa* “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris” (línea chitralada), en laboratorio. [Tesis para optar el título de biólogo acuicultor Universidad Nacional Del Santa]. <https://1library.co/document/z31v2k7y-produccion-acuaponica-utilizando-efluentes-oreochromis-niloticus-chitralada-laboratorio.html>
- Siringi, JO., Turoop, L. y Njonge, F. (2021). Growth and biochemical response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to spirulina (*Arthrospira platensis*) enhanced aquaponic system. *Aquaculture*. 544, 1- 9. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737134>
- Tsang, S. Y Quintanilla, M. (2008). Manual sobre producción de tilapia. CENDEPESCA.
<https://www.transparencia.gob.sv/institutions/mag/documents/119824/download>
- Villalobos, R. S. y Gonzales, P. E. (2016). Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en sistema de acuaponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7 (5) 983-992.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000500983

- World Renew Y Diaconía Nacional. (2020). Manual Técnico de Acuaponía. Eurosan Occidente. http://www.eurosan.hn/wp-content/uploads/2021/09/PW511303-Manual-Tecnico-de-Acuaponia_compressed.pdf
- Yang, T. y Kim, H. -J. (2020). Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Journal of Cleaner Production* 274, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122619>

ANEXOS

Anexo 1. Sistema acuapónico modelo “lecho de medios”



Anexo 2. Valores de calidad de agua del pozo tubular.

Parámetros	Valores	Unidad
Temperatura	22.4	°C
Oxígeno disuelto	5.58	mg/L
pH	7.3	
TDS	239.27	mg/L
Conductividad	364.73	us/cm
Dureza total	300	mg/L

Anexo 3. Valores promedio de calidad de agua de los sistemas acuapónicos

Densidad (peces/m³)	Etapa	Oxigeno (mg/L)	pH	Conductividad μs/cm	Solidos disueltos totales (mg/L)	Temperatura (°c)
180	inicial	5,4	8	380	240	24,4
180	inicial	5,7	8,2	370	250	24,5
180	inicial	5,6	8	360	240	24,7
180	inicial	5,6	8,1	380	260	24,7
180	final	6	8	700	400	24,85
180	final	5,7	8	760	430	24,75
180	final	5,7	8,1	660	390	24,75
180	final	5,5	8,1	690	410	24,75
250	inicial	5,5	8,1	370	220	24,75
250	inicial	5,8	7,9	370	230	24,75
250	inicial	5,6	7,9	350	250	24,4
250	inicial	5,5	8	370	260	24,4
250	final	5,04	7,9	790	440	24,8
250	final	5	7,7	730	430	24,75
250	final	4,5	7,3	800	450	24,75
250	final	5,7	7,9	760	460	24,8
320	inicial	5,6	8	380	240	24,7
320	inicial	5,4	8	360	230	24,6
320	inicial	5,4	7,9	370	260	24,3
320	inicial	5,4	8	370	250	24,45
320	final	5,1	7,7	750	430	24,65
320	final	5,3	7,7	770	460	24,75
320	final	4,8	7,5	820	440	24,6
320	final	4,9	7,6	790	450	24,6

Anexo 4. Valores promedio de compuestos nitrogenados de los sistemas acuapónicos

Densidad (peces/m3)	Etapa	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)
180	inicial	0	0	0
180	inicial	0	0	0
180	inicial	0	0	0
180	inicial	0	0	0
180	final	0,5	0,4	30
180	final	0,5	0,4	30
180	final	0,5	0,4	30
180	final	0,5	0,4	30
250	inicial	0	0	0
250	inicial	0	0	0
250	inicial	0	0	0
250	inicial	0	0	0
250	final	0,5	0,4	30
250	final	0,5	0,6	40
250	final	0,5	0,6	40
250	final	0,5	0,6	30
320	inicial	0	0	0
320	inicial	0	0	0
320	inicial	0	0	0
320	inicial	0	0	0
320	final	0,5	0,6	40
320	final	0,5	0,6	30
320	final	0,5	0,6	30
320	final	0,5	0,6	40

Anexo 5. Valores promedio de índices zootécnicos de la tilapia

Densidad de siembra (peces/m³)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Velocidad de crecimiento en peso (g/día)	Tasa de crecimiento específico en peso (%)	Consumo total (g)	Consumo diario de alimento (g)	conversión alimenticia aparente
180	5,12	15,14	0,24	1,12	13,18	0,31	1,31
180	5,11	13,63	0,20	1,01	13,69	0,33	1,61
180	5,12	13,29	0,19	0,99	13,07	0,31	1,60
180	4,96	13,08	0,19	1,00	13,65	0,33	1,68
250	5,16	13,94	0,21	1,03	13,58	0,32	1,55
250	5,21	12,87	0,18	0,94	12,54	0,30	1,64
250	5,24	13,01	0,18	0,94	13,02	0,31	1,68
250	5,17	12,91	0,18	0,95	13,10	0,31	1,69
320	4,98	12,05	0,17	0,91	13,04	0,31	1,84
320	4,96	11,80	0,16	0,90	12,16	0,29	1,78
320	5,04	11,75	0,16	0,88	12,43	0,30	1,85
320	5,04	11,62	0,16	0,86	11,81	0,28	1,80

Longitud inicial (cm)	Longitud Final (cm)	Velocidad de crecimiento en longitud (cm/día)	Tasa de crecimiento específico en longitud (cm/día)	Factor de condición	Biomasa inicial (gr)	Biomasa final (gr)	sobrevivencia (%)	producción final en Kg/m³	producción final en kg/m³
6,58	8,97	0,06	0,32	2,10	92,10	272,60	100,00	0,92	2,73
6,58	9,17	0,06	0,34	1,77	92,00	218,04	88,89	0,92	2,45
6,48	9,08	0,06	0,35	1,77	92,20	239,30	100,00	0,92	2,39
6,43	9,06	0,06	0,36	1,76	89,30	222,42	94,44	0,89	2,36
6,58	9,03	0,06	0,33	1,89	128,90	348,50	100,00	1,29	3,49
6,71	8,89	0,05	0,29	1,83	130,20	296,06	92,00	1,30	3,22
6,39	8,88	0,06	0,34	1,86	131,00	312,19	96,00	1,31	3,25
6,53	8,80	0,05	0,31	1,89	129,30	296,88	92,00	1,29	3,23
6,50	8,77	0,05	0,31	1,79	159,30	361,50	93,75	1,59	3,86
6,51	8,65	0,05	0,29	1,82	158,80	330,40	87,50	1,59	3,78
6,47	8,16	0,04	0,24	2,16	161,30	364,25	96,88	1,61	3,76
6,54	8,28	0,04	0,24	2,04	161,30	313,62	84,38	1,61	3,72

Anexo 6. Valores promedio de las características agronómicas de la albahaca

Densidad de cultivo	Peso inicial	Peso final	Longitud inicial	Longitud final	Numero de hojas inicial	Numero de hojas final
180 peces/m ³	2.76	43.82	7.60	52.22	5.70	14.41
250 peces/m ³	2.90	46.71	7.72	54.17	5.91	14.85
320 peces/m ³	2.99	50.49	7.71	57.13	6.31	15.44

Anexo 7. Composición nutricional y programa de alimentación del alimento AQUATECH

Nutriente	%
Proteína (min)	40
Grasa (min)	5
Fibra (Max)	4
Calcio (min)	1.2
Fosforo (min)	0.8
Ceniza (max)	12
Humedad (max)	12
ED (Mcal/Kg) min	3100

Fuente: Aquatech

Aquatech	Calibre (mm)	Peso de pez (g)	Temperatura del agua (°C)			Frecuencia de alimentación diaria (veces)
			22	24	26	
Tasa de alimentación (%biomasa diaria)						
Tilapia 40	2.0 x 2.0	5-10	6.5	7.5	8.00	6
		10-20	5.8	6.70	7.10	4
		20-30	5.10	5.70	6.20	4

Fuente: Aquatech

Anexo 8. Resumen de costos fijos y costos variables

Costos por tratamiento	180 peces/m³	250 peces/m³	320 peces/m³
Costo fijo (S/)	2.07	2.07	2.07
Mano de obra (S/)	0.97	0.97	0.97
Equipos y Materiales (S/)	1.10	1.10	1.10
Costo variable (S/)	6.1013	8.0034	9.040128
Alimento balanceado (S/)	4.65	6.45	7.36
Energía eléctrica (S/)	0.40	0.40	0.40
Costo de alevinos (S/)	1.05	1.15	1.25
Costo total (CF+CV) (S/)	8.17	10.07	11.08

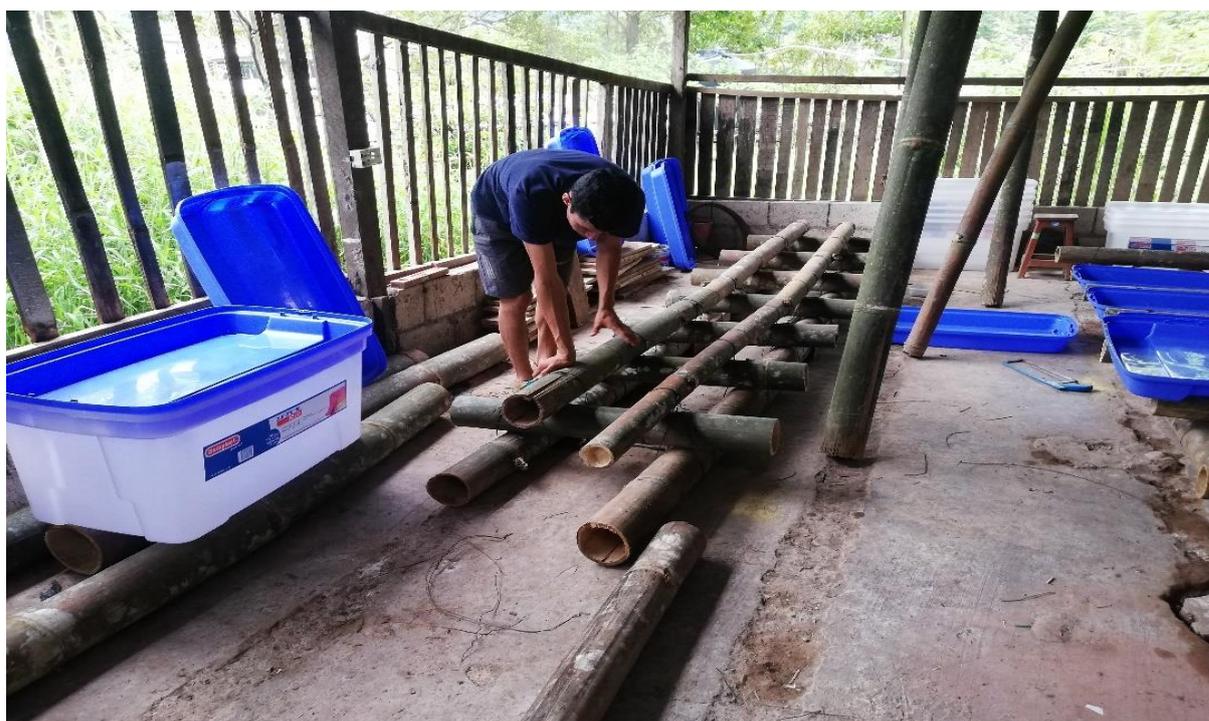
Anexo 9. Panel fotográfico**Figura 17.** Construcción de los sistemas acuapónicos



Figura 18. Sistemas acuapónicos en funcionamiento



Figura 19. Medición de parámetros del agua



Figura 20. Medición de compuestos nitrogenados



Figura 21. Medición de índices zootécnicos.



Figura 22. Medición de alimento balanceado