

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



ABSORCION DE NITROGENO Y FOSFORO MEDIANTE EL USO DE *Ocimum basilicum* (ALBAHACA) EN UN SISTEMA ACUAPONICO CON CULTIVO DE *Oreochromis niloticus* (TILAPIA)

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

FIGRELLA MARILU AGUIRRE GOMEZ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fiorella Aguirre Gomez', is written over a light-colored rectangular background.

Tingo María – Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°029-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 05 de abril de 2023, a horas 3:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“ABSORCION DE NITROGENO Y FOSFORO MEDIANTE EL USO DE
Ocimum basilicum (ALBAHACA) EN UN SISTEMA ACUAPONICO CON
CULTIVO DE *Oreochromis niloticus* (TILAPIA)”**

Presentado por el Bachiller: **IORELLA MARILU AGUIRRE GOMEZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “**MUY BUENO**”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 19 de abril de 2023

Ing. M.Sc. LUIS ALBERTO SANCHEZ ROMERO
PRESIDENTE

Ing. M.Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
MIEMBRO



Ing. M.Sc. ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ
MIEMBRO

Ing. M.Sc. JOSE LUIS PAREDES SALAZAR
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° 126 - 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 Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
ABSORCION DE NITROGENO Y FOSFORO MEDIANTE EL USO DE Ocimum basilicum (ALBAHACA) EN UN SISTEMA ACUAPONICO CON CULTIVO DE Oreochromis niloticus (TILAPIA)	FIGRELLA MARILU AGUIRRE GOMEZ	15% Quince

Tingo María, 24 de mayo de 2023


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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



ABSORCION DE NITROGENO Y FOSFORO MEDIANTE EL USO DE *Ocimum basilicum* (ALBAHACA) EN UN SISTEMA ACUAPONICO CON CULTIVO DE *Oreochromis niloticus* (TILAPIA)

Autor : Aguirre Gomez Fiorella Marilu

Asesor : M. Sc. Paredes Salazar, José Luis

Programa de investigación : Biorremediación y recuperación de ambientes degradados

Línea de investigación : Ciencia y tecnologías ambientales

Eje temático : Fitorremediación

Lugar de ejecución : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Duración : 4 Meses

Financiamiento : Propio: SI

Tingo María – Perú. 2023

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la fortaleza y
sabiduría para lograr mis objetivos

A mis padres Marilu Gomez Carbajal,
Héctor Eliseo Aguirre Melgarejo y mi
hermano Hans Aguirre Gomez por sus
consejos, paciencia y apoyo incondicional
para lograr mi desarrollo profesional

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por la formación académica
- A mi asesor el Magister Paredes Salazar, José Luis por el apoyo en el desarrollo de la investigación y los conocimientos compartidos.
- Al ingeniero Adrián Cerilo Rueda Liberato, por el apoyo antes, durante y después de la elaboración, instalación y desarrollo de la investigación.
- A mi tío Rogelio Aguirre Cordero y mis amigos por la ayuda en la ejecución de la investigación
- A la piscigranja “El encanto de SAIPAI”, a los laboratorios de Química y Microbiología por la predisposición en el préstamo de materiales y equipos para el adecuado desarrollo de la investigación.

INDICE

I. INTRODUCCION.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. ANTECEDENTES.....	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	5
2.2. ABSORCIÓN	6
2.3. NITRÓGENO	6
2.4. FOSFORO	6
2.5. ACUAPONÍA.....	6
2.6. <i>OCIMUM BASILICUM</i> (ALBAHACA).....	7
2.6.1. Morfología.....	7
2.6.2. Composición química.....	7
2.6.3 Cosecha	8
2.6.4. Control de malezas, plagas y enfermedades.....	8
2.6.5. Condiciones ambientales.....	8
2.7. <i>OREOCHROMIS NILOTICUS</i> (TILAPIA).....	8
2.7.1. Requerimientos de parámetros fisicoquímicos para la tilapia.....	9
2.8. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA EN EL SISTEMA ACUAPÓNICO	9
2.8.1. Oxígeno Disuelto.....	10
2.8.2. pH.....	11
2.8.3. Temperatura	11
2.8.4. Conductividad Eléctrica	11
2.8.5. Sólidos Disueltos Totales	11
2.8.6. Compuestos nitrogenados	12
III. MATERIALES Y METODOS	14
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	14
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	15
3.2.1. Material experimental	15
3.2.2. Instalación del sistema acuapónico	15
3.2.3. Materiales y equipos de medición.....	17
3.2.4. Metodología	17
3.2.4.1. Criterios de investigación	17
3.2.4.2. Estimación de la concentración de nitrógeno y fosforo en tres densidades de tilapia en un sistema acuapónico	19
3.2.4.3. Determinación de las características agronómicas de la albahaca	20
3.2.4.4. Determinación de la absorción de nitrógeno y fosforo mediante el uso de la albahaca	21
3.2.4.5. Monitoreo de la calidad de agua en el sistema acuapónico.....	22

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO Y FOSFORO EN TRES DENSIDADES DE TILAPIA EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO CON PRODUCCIÓN DE <i>OCIMUM BASILICUM</i> ...	23
4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS COMO EL PESO FRESCO, NÚMERO DE HOJAS, ALTURA, ÁREA FOLIAR Y VOLUMEN RADICULAR DEL <i>OCIMUM BASILICUM</i> EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO CON TRES DENSIDADES DE TILAPIA.....	23
4.3. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE NITRÓGENO Y FOSFORO MEDIANTE EL USO DE <i>OCIMUM BASILICUM</i> (ALBAHACA) EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO CON TRES DENSIDADES DE TILAPIA.....	28
4.4. MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA POR MEDIO DE LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL SISTEMA ACUAPÓNICO CON PRODUCCIÓN DE <i>OCIMUM BASILICUM</i>	30
V. CONCLUSIONES.....	37
VI. PROPUESTAS A FUTURO	38
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	39
ANEXOS	46

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Rangos óptimos de parámetros fisicoquímicos	10
2. Determinación del ingreso de nitrógeno y fosforo al sistema acuapónico	19
3. Análisis del alimento en el laboratorio	20
4. Ingreso de nitrógeno y fosforo al sistema acuapónico	23
5. Características agronómicas de la albahaca, cultivados en un sistema acuapónico con <i>Oreochromis niloticus</i>	24
6. Porcentaje de absorción de nitrógeno y fosforo, evaluadas en las tres densidades de peces.	28
7. Parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques, en función de la densidad de cultivo de <i>Oreochromis niloticus</i> y el periodo de toma de muestras (Inicio y final).	33
8. Interacciones entre la densidad y el periodo de toma de muestra para el oxígeno disuelto y TDS	34
9. Compuestos nitrogenados del agua de los estanques, en función de la densidad de cultivo de <i>Oreochromis niloticus</i> y el periodo de toma de muestras (Inicio y final).	36
10. Interacción del nitrito (NO ₂ -)	36

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación del lugar donde se realizará la investigación.....	14
2. Sistema acuapónico modelo de “lecho de medios”	16
3. Desarrollo de número de hojas por cada tratamiento en 42 días de evaluación	25
4. Crecimiento en altura de la albahaca en 42 días de evaluación.....	26
5. Regresión lineal para área foliar (dm ²).....	27
6. Interacción entre la densidad y el periodo para el parámetro oxígeno disuelto	34
7. Interacción entre la densidad y el periodo para el parámetro solidos disueltos totales	34
8. Interacción entre la densidad y el periodo para el nitrito	36
9. Construcción del sistema acuapónico.....	51
10. Instalación del sistema acuapónico	52
11. Conexión del agua subterránea.....	52
12. Selección de grava apta para el filtro biológico	53
13. Germinación de semillas de albahaca.....	53
14. Recolección de alevinos de tilapia.....	54
15. Recolección de datos iniciales y la selección de plantines para su evaluación en laboratorio	54
16. Colocando plantines de albahaca en las camas hidropónicas.....	55
17. Medición de parámetros fisicoquímicos.....	55
18. Medición de compuestos nitrogenados.....	56
19. Medición de características agronómicas	56

RESUMEN

La acuaponía es un sistema de recirculación que está integrado por la hidroponía y la acuicultura, en donde se emplea los desechos de los peces como nutrientes para el cultivo de diversos vegetales, haciendo un uso eficiente del agua, evitando que efluentes con altos contenidos de nitrógeno y fosforo se desechen en aguas superficiales, causando problemas de eutrofización. La presente investigación tiene como objetivo determinar la capacidad de absorción de nitrógeno y fosforo mediante el uso de la albahaca en el sistema acuapónico con cultivo de tilapia, para lo cual se construyó 9 sistemas acuapónicos iguales e independientes, en donde se trabajó con tres densidades de peces (180 peces/m³, 240 peces/m³ y 320 peces/m³) y con 18 plantines de albahaca. El periodo de evaluación fue de 42 días una vez colocadas los plantines en las camas hidropónicas, en donde para determinar el porcentaje de absorción de nitrógeno y fosforo se tomó datos iniciales y finales, a su vez se evaluó las características agronómicas de la albahaca y semanalmente los parámetros fisicoquímicos del agua. Los resultados de la absorción de nitrógeno y fosforo, muestran mayor absorción de nitrógeno a comparación del fosforo en relación con la densidad de peces, a su vez se concluye que hay un mayor porcentaje de absorción de nitrógeno y fosforo en la menor densidad de peces (N: 17.21% y P: 13.31%). En cuanto a las características agronómicas la albahaca tuvo mejor desarrollo en la mayor densidad de peces (320 peces/m³), con respecto a las evaluaciones de los parámetros fisicoquímicos del agua estas se mantuvieron dentro del rango recomendado, siendo cambiante conforme se incrementa la densidad y el periodo.

Palabras clave: Sistemas acuapónicos, absorción, filtro biológico.

ABSTRACT

Aquaponics is a recirculating system that is integrated by hydroponics and aquaculture, where fish waste is used as nutrients for the cultivation of various vegetables, making efficient use of water, preventing effluents with high nitrogen content. and phosphorus are discharged into surface waters causing eutrophication problems. The objective of this research is to determine the absorption capacity of nitrogen and phosphorus through the use of basil in the aquaponic system with tilapia culture, for which 9 equal and independent aquaponic systems were built, where they worked with three densities of fish (180 fish/m³, 240 fish/m³ and 320 fish/m³) and with 18 basil seedlings. The evaluation period was 42 days once the seedlings were placed in the hydroponic beds, where to determine the percentage of nitrogen and phosphorus absorption, initial and final data were taken, in turn the agronomic characteristics of the basil were evaluated and weekly. the physicochemical parameters of the water. The results of the absorption of nitrogen and phosphorus, show greater absorption of nitrogen compared to phosphorus in relation to the density of fish, in turn it is concluded that there is a higher percentage of absorption of nitrogen and phosphorus in the lower density of fish (N: 17.21% and P: 13.31 %). Regarding the agronomic characteristics, the basil had better development in the highest density of fish (320 fish/m³), with respect to the evaluations of the physicochemical parameters of the water, these remained within the recommended range, being changing as the density increases. density and period.

Keywords: Aquaponic systems, absorption, biological filter.

I. INTRODUCCION

La agricultura es la principal fuente de ingresos de millones de familias peruanas, entre otras actividades también tenemos el desarrollo de la acuicultura el cual está orientada fundamentalmente a la producción de *Litopenaeus sp* (langostinos), *Oncorhynchus sp* (trucha), *Oreochromis sp* (tilapia) y algunos peces amazónicos.

El desarrollo de la agricultura tradicional está generando diversos impactos ambientales negativos como la deforestación, la degradación de suelo y la contaminación ambiental por el uso excesivo de agroquímicos, a su vez uno de los principales problemas que enfrenta la acuicultura es la deficiencia en el manejo de sus aguas residuales ya que al desechar sus efluentes sin un tratamiento adecuado puede causar problemas de eutrofización en las aguas.

Es necesario implementar tecnologías alternas, que contribuyan a disminuir los efectos negativos causados por estas actividades. Entre ellas tenemos a la acuaponía el cual es un método de producción que combina la hidroponía y la acuicultura, que actualmente se visualiza como una alternativa de producción agropecuaria dirigida al desarrollo sostenible porque utiliza una cantidad relativamente pequeña de agua, genera muy pocos desechos y no hace uso de productos químicos agrícolas, optimizando el uso del agua y tierra fértil. Estos sistemas se pueden implementar tanto a pequeña escala, como a nivel comercial, el sistema acuapónico permite reciclar los desechos orgánicos generados por los peces, los cuales son utilizados para nutrir las plantas que funcionan como filtros biológicos tomando del agua lo que necesitan, y así al absorber estos compuestos limpiando el líquido que regresa a los peces permitiendo a éstos últimos desarrollarse en un medio óptimo para su crecimiento.

Los estudios e investigaciones sobre estos sistemas son escasos, sobre todo en cuanto al comportamiento y la capacidad que tiene la albahaca de absorber nitrógeno y fosforo, ya que el incremento de estos compuestos afecta a la población de tilapia y si superan los parámetros recomendados causan eutrofización al ser vertidos al medio ambiente, sin embargo estos nutrientes son importantes para el adecuado crecimiento y desarrollo de la planta. Es por eso, que esta investigación plantea el siguiente problema: ¿Cuál será la capacidad de absorción de nitrógeno y fosforo que tiene el *Ocimum basilicum* en un sistema acuapónico a diferentes densidades de cultivo de tilapia? y la hipótesis es que la capacidad de absorción de nitrógeno y fosforo por parte del *Ocimum basilicum* dependerá de la densidad de cultivo de tilapia, siendo mejor en la menor densidad.

1.1. Objetivo general

Evaluar la absorción de nitrógeno y fosforo mediante el uso de *Ocimum basilicum* (albahaca) en un sistema acuapónico con cultivo de tilapia.

1.2. Objetivos específicos

- Estimar la concentración de nitrógeno y fosforo en tres densidades de tilapia en un sistema acuapónico con producción de *Ocimum basilicum*
- Determinar las características agronómicas como el peso fresco, número de hojas, altura, área foliar y volumen radicular de *Ocimum basilicum* en un sistema acuapónico con tres densidades de tilapia
- Determinar la absorción de nitrógeno y fosforo mediante el uso de *Ocimum basilicum* (albahaca) en un sistema acuapónico con tres densidades de tilapia
- Monitorear la calidad de agua por medio de la medición de parámetros fisicoquímicos en el sistema acuapónico con producción de *Ocimum basilicum*, en las tres densidades de peces y en dos periodos de evaluación.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Mamani (2021), evaluó tres variedades de albahaca en tres soluciones nutritivas en sistemas hidropónicos de raíz flotante en donde para las características agronómicas de la planta en 58 días de evaluación reportó valores en peso fresco para las tres variedades trabajadas, donde se muestra que la variedad americana presenta mayor peso en fresco con 7.26 g, seguido de la variedad sucre con 6.21 g y por último la variedad superbo con un promedio de 6.13 g. En cuanto al número de hojas se muestra valores de 30.47, 15.28 y 14.36 hojas/planta para las variedades sucre, americana y superbo respectivamente, con respecto a la altura se muestra que la variedad sucre presenta mayor altura con 17.49 cm, la variedad americana con 15.08 cm y por último la variedad superbo con 13.21 cm en promedio, concluyendo así que el T1 (solución cabezas sobre la variedad americana) tuvo mejores resultados y que la variedad de la albahaca tiene una influencia en el desarrollo agronómico.

Teng y Hye-ji (2020), en su artículo sobre comparaciones de balance de masa de nitrógeno y fosforo para sistemas acuapónicos e hidropónicos en base a tomate, albahaca y lechuga, reportaron valores de biomasa vegetal fresca para el tomate (27.5 g), albahaca variedad genovese (15.2 g) y lechuga (10.5 g), donde se observa que el tomate presenta mayor biomasa fresca.

Quenta (2020), evaluó dos variedades de albahaca en sistema hidropónico recirculante NFT, en donde obtuvo valores en promedio de altura de 15.7 cm en la variedad italiana y 15.6 cm en la variedad boliviana.

Bustamante (2019), estudió la multiplicación de micorrizas en tres diferentes sustratos en simbiosis con plantas trampa de sorgo (*Sorghum bicolor L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) en condiciones de invernadero, donde menciona que no se encontraron diferencias significativas para el factor micorrizas en el volumen del sistema radicular, obteniendo valores de 129.27 cm³ y 128.96 cm³ tanto en la micorriza nativa como en la LMSSK al 60% respectivamente, en cambio para el factor sustrato si se presentaron diferencias significativas,

con el sustrato formado por tierra + turba de coco + picón presentando el valor más alto de 168.44 cm^3 . En base a lo anterior el autor menciona que posiblemente a mayor cantidad de nutrientes, mayor aumento del sistema radicular.

Pandales y Santos (2017), en su estudio sobre la evaluación de desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca bajo condiciones de invernadero, reportó valores de calidad de agua en donde obtuvo niveles de pH de 7.5, para la temperatura obtuvo valores que oscilan entre los 19.6 y $21.6 \text{ }^\circ\text{C}$, en cuanto al oxígeno disuelto obtuvo valores de 2.3 mg/L para plantas y 5.2 mg/L para peces, en donde concluye que los parámetros fisicoquímicos presentaron buenos niveles en producción y acumulación de macro y micronutrientes para el desarrollo de las plantas y peces.

Fimbres (2015), estudió la caracterización de los nutrientes de interés hidropónico contenidos en la fracción particulada residual de cultivo de tilapia, en donde menciona que la mineralización fue una implementación favorable para la recuperación de nutrientes como el fósforo y nitratos, ya que si se retira la materia orgánica particulada, el sistema acuapónico tiende a tener un déficit de fósforo.

Espinosa (2015), realizó una investigación sobre la producción de tres especies herbáceas utilizadas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos para la producción intensiva de tilapia, obteniendo como resultados en 50 días después del trasplante y con una producción final de tilapia de 1.66 kg/m^3 , una altura para la albahaca de 43.03 cm , hierbabuena 46.87 cm y menta 60.17 cm donde se puede notar que la menta tuvo mayor desarrollo en cuanto a la altura.

Mendiola (2015) en su investigación sobre la capacidad de remoción de compuestos nitrogenados y fosfatos en sistemas acuapónicos, reportó valores de temperatura en las camas hidropónicas que varían de 20.1 a $28.2 \text{ }^\circ\text{C}$, en donde los días 10, 11 y 56, presenta valores más bajos de 20.3 , 20.6 y $20.4 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente y en los días 12 y 33 del experimento obtuvo valores más altos 27.9 y $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

Torrez (2014), evaluó el rendimiento de dos variedades de albahaca hasta la etapa comercial con relación a la biofertilización en carpa solar, en donde menciona que para el número de hojas se obtiene resultados altamente significativos para las variedades y el nivel de abonamiento, reportando valores para la variedad boliviana de 94.7 hojas/planta y para la variedad italiana una media de 49.8 hojas/planta.

Campos *et al.*, (2013), en su artículo sobre la caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía, menciona que la concentración de sólidos disueltos totales fueron muy altos obteniendo valores 4042.73 ppm y 4153.78 ppm en la entrada y salida del efluente en acuaponía respectivamente. Esto se debió posiblemente según el autor a que se usó solamente el tanque de filtración, ya que hace referencia que en sistemas acuapónicos se deben filtrar el agua parcialmente mediante el uso de tanque de sedimentación y filtración.

Ronzón *et al.*, (2012), en su artículo sobre la producción hidropónica y acuapónica de albahaca y langostino malayo, reportó valores de altura en sistemas acuapónicos con sustrato fijo de 15 cm, lo cual es menor a lo obtenido en hidroponía donde se llegó a valores de hasta 35 cm. En cuanto al peso del langostino malayo en los dos primeros meses se reportó valores bajos que oscilaban entre 0 a 1 g.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Delgado (2020) estudió el aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia en acuaponía, donde reportó que los niveles de conductividad eléctrica registrados determinan una adecuada concentración de sales disueltas en el agua del sistema acuapónico, presentando un promedio de 1.20 dS/m valor que se encuentran dentro del establecido en la norma de calidad ECA para Agua (DS 002-2008-MINAM).

Días (2018) en su investigación sobre la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de la albahaca en zonas áridas, menciona que el mayor rendimiento de la albahaca en peso fresco se alcanza con los niveles 650 y 800 unidades de N/ha con 53.027 y 54.913 t/ha respectivamente sin presentar diferencia estadística entre ellos, concluyendo de esta manera que a mayores dosis de nitrógeno, la planta tiene mayor facilidad de asimilar este compuesto mejorando su desarrollo agronómico.

Silva (2015) en su investigación sobre sistemas de siembra de albahaca para industrialización bajo riego a goteo en zonas áridas, menciona que el área foliar en el tratamiento 3 (siembra indirecta por plantines) obtuvo mayores valores siendo estadísticamente significativo con valores de 18.42 dm², los demás tratamientos no presentan significancia entre estos obteniendo la menor área foliar el tratamiento 1 (siembra directa) con 16.70 dm².

2.2. Absorción

De acuerdo con Coaguila (2021) la absorción es la asimilación de nutrientes que tiene la planta en estudio durante su ciclo de desarrollo, pudiendo ser influenciada por diversos factores interno como externos

2.3. Nitrógeno

Si bien el nitrógeno puede presentarse como molécula diatómica, gas incoloro o formar parte de compuestos sólidos o líquidos, las plantas necesitan de bacterias fijadoras para poder asimilar este nutriente, ya que los vegetales asimilan el nitrógeno en forma de nitrato o amonio. La variedad, especie y ciertos parámetros fisicoquímicos influyen en la absorción que tiene la planta de los compuestos nitrogenados, a su vez para la determinación del contenido de nitrógeno se emplea el método de Kjeldahl (Barba y Cortez, 2019)

2.4. Fosforo

El fosforo actúa en muchos procesos de la planta como la fotosíntesis, respiración, almacenamiento, transferencia de energía, entre muchos otros. A su vez este nutriente se encuentra en los tejidos meristemáticos y participa activamente en la síntesis de proteína (Novoa *et al.*, 2018)

El fosforo es considerado como la mayor limitante en el agua dulce y el incremento de esta produce un aumento del fitoplancton, como resultado de un exceso de fosforo se reduce el nivel de oxígeno, afectando a los peces (Hernández, 2016)

2.5. Acuaponía

La acuaponía es un sistema de recirculación en donde los desechos orgánicos que producen los peces son aprovechados por los vegetales, quienes filtran estos desechos haciendo que el agua retorne limpia hacia los peces. En este tipo de sistemas juega un papel importante los microorganismos ya que inciden en los procesos de mineralización y nitrificación (Tapia, 2018)

Para el óptimo funcionamiento del sistema acuapónico se debe de tener en cuenta los tres constituyentes biológicos importantes, los peces, las bacterias nitrificantes y las plantas. En

cuanto a las bacterias tenemos dos grupos bacterianos importantes Nitrosomonas el cual se encarga de convertir el amonio en nitrito y las Nitrobacter que transforman el nitrito en nitrato (Merlín y Martínez, 2015).

2.6. *Ocimum basilicum* (Albahaca)

La albahaca tiene un amplio uso tanto en el aspecto culinario como en la industria farmacéutica, esta planta pertenece a la familia de las Lamiaceae, destacando principalmente por su alto contenido de aceites esenciales (Pandaes y Santos, 2017).

2.6.1. Morfología

En cuanto a la morfología de la albahaca Alcón (2019) nos menciona lo siguiente:

- Raíz primaria relativamente delgada, hialina, vellosa con ciertos pelos largos y finos.
- Tallos erectos y múltiples redondeados por debajo, con cierta forma cuadrangular por arriba, ramificados desde la base y con una pelusilla recubriendo su superficie.
- Hojas de 2 a 5 cm, opuestas, pecioladas, lanceoladas, ligeramente dentadas con pelos sobre los bordes y de un color verde muy intenso.
- Flores agrupadas en espigas de verticilos.
- Semillas formadas por 4 nuecillas similares a los aquenios lisas y ovoides, su tamaño oscila entre 2mm de largo a 1 mm de ancho.

2.6.2. Composición química

En 100g de albahaca Días (2018) menciona la siguiente composición química.

Energía	: 23 kcal
Proteína	: 3.15 g
Lípidos	: 0.64 g
Vitaminas A	: 264 Mcg
Tiamina	: 0.034 Mg
Folato	: 68,00 Mcg
Hierro	: 3.17 Mg

Calcio	: 177,00 Mg
Fosforo	: 40 mg/100g

2.6.3 Cosecha

La cosecha de esta planta se realiza dependiendo su uso final, en sistemas acuapónicos mayormente es empleada para consumo fresco para lo cual se debe cosechar entre los 50 - 70 días después de plantada, cortando de preferencia los extremos de las ramas de 10 – 20 cm de longitud antes de la floración, en caso de que la cosecha tiene como fin la extracción de aceites, el corte se debe realizar antes o al inicio de que aparezcan las primeras flores lo que ocurre entre los 90 y 110 días después de plantada (Espinosa, 2015).

2.6.4. Control de malezas, plagas y enfermedades

En cultivos orgánicos como los acuapónicos e hidropónicos, para el control de malezas se emplea mecanismos superficiales para evitar daños en el sistema radicular de la planta (Somerville *et al.* 2022).

2.6.5. Condiciones ambientales

La albahaca crece mayormente en climas templados, desarrollándose bien entre los 15 y 25 °C, con una humedad relativa de 80 %, no resiste las heladas ni temperaturas por debajo de -2 °C (Espinosa, 2015).

El pH adecuado para el cultivo de albahaca en sistemas hidropónicos es de 5.5 a 6.5 (Contreras y Gomez, 2008).

2.7. *Oreochromis niloticus* (Tilapia)

Este pez es muy usado en sistema acuapónicos o de recirculación, habita mayormente en zonas tropicales y es originario de África y Cercano Oriente (Pandales y Santos, 2017).

Es omnívoro, su alimentación consiste en crustáceos, insectos, malezas, fitoplancton y tiene buena adaptación a alimentos balanceados. Tienen una reproducción sexual donde la hembra alcanza la madurez sexual en menor tiempo a comparación del macho (FAO, 2008).

Este pez tiene un manejo sencillo ya que es resistente a la manipulación, enfermedades, y diversos factores ambientales, a su vez se pueden cultivar en estanques, jaulas flotantes y tanques tolerando altas densidades de siembra (Porteros, 2019).

Para el adecuado desarrollo de este pez, en sistemas acuapónicos es importante el control sobre algunos parámetros del agua como temperatura, oxígeno, pH, nitrito, nitrato, amonio, fosfatos. Además de proveerle todo el nutriente necesario para su crecimiento, suministrando un alimento completo que contenga de 25 a 30% de proteína (Espinosa, 2015)

2.7.1. Requerimientos de parámetros fisicoquímicos para la tilapia

- Temperatura: La temperatura óptima según Saavedra (2006) oscila entre 25- 32 °C, su reproducción se inhibe a temperatura menor a 20 °C y puede ocasionar la muerte de animal a temperaturas menores a 11 °C.
- Oxígeno disuelto: el rango óptimo según Saavedra (2006) es 5 - 9 mg/L, sin embargo la tilapia puede tolerar bajos niveles aproximadamente 1 mg/L, si es menor, se reduce el consumo de alimento, retardando su crecimiento.
- pH: El rango óptimo es 6 - 9 (Saavedra, 2006) se presenta mejor desarrollo de la tilapia en niveles de pH neutro o levemente alcalino, sin embargo en aguas ácidas su crecimiento se reduce.

2.8. Parámetros fisicoquímicos del agua en el sistema acuapónico

Los parámetros fisicoquímicos más importantes a tener en cuenta para el óptimo funcionamiento del sistema acuapónico son el oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

Tabla 1. Rangos óptimos de parámetros fisicoquímicos

Parámetros	Rango óptimo			Autor
	Plantas	Bacterias	Peces	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	>3	4 – 8	4 - 6	FAO (2014)
		6 – 7		Nelson (2008)
pH	5.5 – 7.5	6 – 8.5	6 – 8.5	FAO (2014)
	-	7 - 9	-	Rakocy <i>et al.</i> , (2004)
	5.5 – 6.5	-	-	Resh (2001)
Temperatura (°C)	16 - 30	17 – 34	22 - 32	FAO (2014)
	22.2	25 - 30	-	Rakocy <i>et al.</i> , (2004)
		18 - 30		Worl Renew y Diaconia Nacional (2020)
Conductividad Eléctrica (µs/cm)		300 - 600		Rakocy <i>et al.</i> , (2004)
		<1000		Hernández (2017)
Sólidos Disueltos Totales (ppm)		200 – 400		Rakocy <i>et al.</i> , (2004)
		<2000		Ramírez (2000)
Amoníaco (mg/L)	<30	<3	<3	FAO (2014)
			0.1	Saavedra (2006)
		<4	0.6- 2.0	Colorado y Ospina (2019)
Nitrito (mg/L)	<1	<1	<1	FAO (2014)
			0.1	Saavedra (2006)
Nitrato (mg/L)	-	<400	<400	FAO (2014)
	<250	-	<300	Bañuelos (2017)

Fuente: Elaboracion propia

2.8.1. Oxígeno Disuelto

Sanabria (2021) menciona que el oxígeno disuelto hace referencia al oxígeno molecular que se encuentra disuelto en el agua y vienen a ser uno de los principales factores limitantes para la vida acuática, debido a que gran parte de los organismos vivos necesitan respirar oxígeno para llevar a cabo los procesos de conversión de alimento en energía o

biomasa. Este parámetro es afectado por factores como la salinidad (el agua dulce tiene más oxígeno que la salada), la temperatura o la altitud

2.8.2. pH

El pH es la concentración de iones de hidrógeno en el agua y nos indica si el agua es ácida (menor de 7), neutra (7) o básica (por encima de 7) (Ulloa, 2019). Este parámetro posee un comportamiento fluctuante dependiendo de la hora del día y la profundidad del agua, debido a que este tiene una relación muy estrecha con el dióxido de carbono. En el día el CO₂ es utilizado por el fitoplancton para su actividad fotosintética, lo que ocasiona un aumento en el pH. En la noche la fotosíntesis se detiene y ocurre una acumulación de CO₂ en el agua lo que causa una disminución en el pH (Casas, 2008).

2.8.3. Temperatura

Este parámetro es de suma importancia debido a la influencia que tiene en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la asimilación de oxígeno, la precipitación de compuestos, floculación, sedimentación y filtración, a su vez la temperatura tiene alto impacto en los procesos químicos y biológicos (Chacón y Ramos, 2019).

2.8.4. Conductividad Eléctrica

Chacón y Ramos (2019), lo definen como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos, un aumento de este parámetro indica mayor presencia de sólidos disueltos totales o de minerales en el agua

En sistemas acuapónicos es importante tomar en cuenta si la conductividad eléctrica se acerca a 600 $\mu\text{s}/\text{cm}$, se debe de tomar las siguientes acciones como aumentar la tasa de intercambio de agua o reducir la tasa de población de peces y la entrada de alimentos reducirá rápidamente la acumulación de nutrientes (Rakocy *et al.*, 2006).

2.8.5. Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales vienen a ser la suma de los sólidos suspendidos y disueltos que se encuentran en el agua dentro de las cuales se pueden encontrar sales

inorgánicas además de pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua, esta se expresa en ppm (Imbaquingo y Mendoza, 2018).

En sistemas acuapónicos los valores de TDS, suelen variar debido al aporte diario de nutrientes, el intercambio de agua, retención de sólidos y la mineralización (Rakocy *et al.*, 2006).

2.8.6. Compuestos nitrogenados

a) Amoniac

De acuerdo con Zuluaga y Martínez (2017) para que un sistema de recirculación como la acuaponía funcione correctamente, depende mayormente del equilibrio en la producción de desechos nitrogenados en el sistema, seguido de la transformación de éstos a formas aprovechables por las plantas y por último la asimilación de estos compuestos por parte de los vegetales. El incremento de este compuesto dentro del sistema de cultivo puede ocasionar daños en los tejidos de los peces especialmente en riñones y branquias, trayendo consecuencias como un retraso en el crecimiento, predisposición a enfermedades y en algunos casos la muerte, por lo cual es importante mantener niveles óptimos de este compuesto en el sistema.

Los niveles óptimos de amoniac en el sistema deben fluctuar entre los 0.01 mg/L a 0.1 mg/L, valores cercanos a 2 mg/L son críticos para los peces (Colorado y Ospina, 2019), en el caso de las bacterias nitrificantes la actividad de estas disminuye cuando se llega a niveles mayores a 4 mg/L.

b) Nitrito

Es generado a partir de la transformación de amoniac a nitrato y es de vital importancia por ser un gran agente contaminante, la toxicidad de este compuesto depende de la cantidad de cloruros, la temperatura y los niveles de oxígeno en el agua (Colorado y Ospina, 2019).

De acuerdo con Bañuelos (2017). el nitrito es tóxico para los peces, causando afectaciones a concentraciones de 0.25 mg/L y niveles altos de nitrito puede ocasionar la muerte rápida de los peces. Se debe mantener niveles menores a 1 mg/L para evitar afectaciones tanto en bacterias y peces.

c) Nitrato

Este compuesto es menos tóxico, los peces pueden soportar altos niveles como 300 mg/L, sin embargo niveles por encima 250 mg/L puede afectar a las plantas como la albahaca produciendo un crecimiento vegetativo excesivo y un almacenamiento peligroso en las hojas lo cual puede ser perjudicial para el consumo humano, en tal sentido Bañuelos (2017) recomienda mantener niveles entre 5 – 150 mg/L.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

El experimento tuvo una duración de 4 meses, el cual constó de 45 días de construcción, 30 días de maduración paralelo a los 25 días de germinación de las albahacas y 42 días de evaluación, iniciando el 26 de octubre del 2020 y culminando el 19 de febrero del 2021. Se llevó a cabo en el área de piscicultura de la Facultad de Zootecnia en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, de acuerdo con el SENAMHI esta zona está ubicada a una altitud de 662 m.s.n.m, cuenta con una temperatura en promedio de 25 °C, humedad relativa que supera el 80%, con precipitaciones durante todo el año, llegando a presentar una precipitación acumulada de 3500 mm anual.

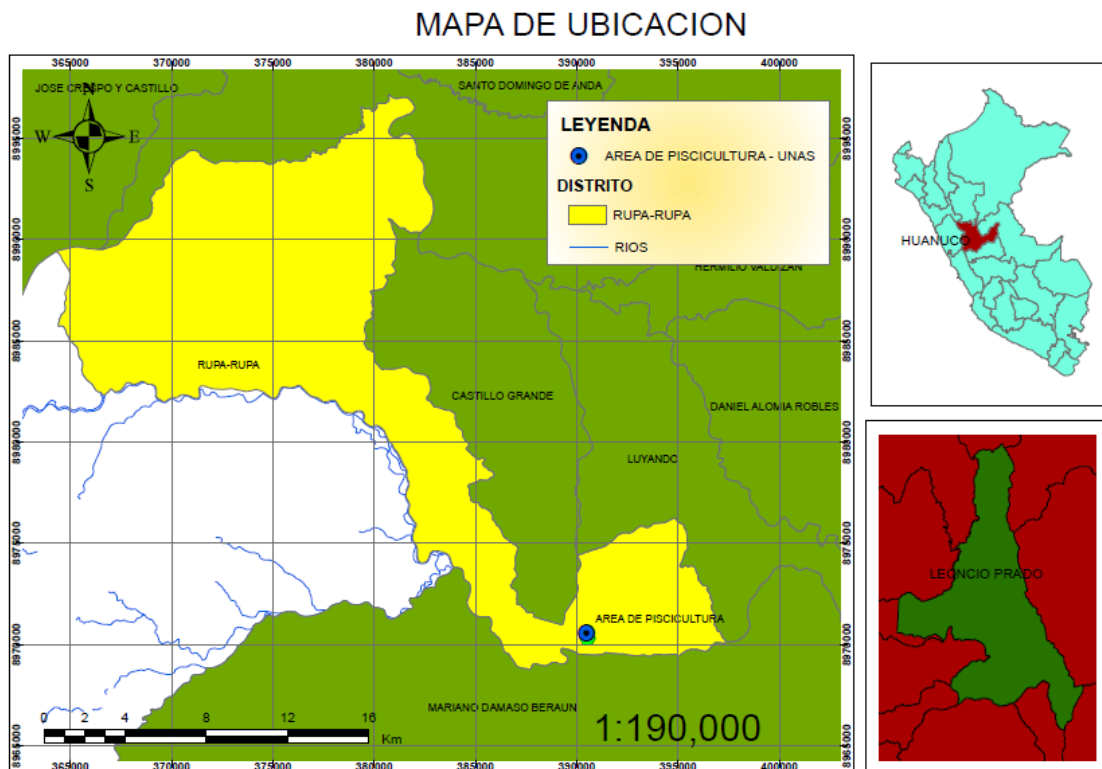


Figura 1. Mapa de ubicación del lugar donde se realizó la investigación

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material experimental

Plantas

Se trabajó con plantas de *Ocimum basilicum var. Italiana* (albahaca variedad Italiana) las cuales fueron adquiridas en semilla de la marca Anasac, para posteriormente colocarlas en camas germinadoras por un periodo de 25 días. Pasado este tiempo se trasladaron a las camas hidropónicas del sistema acuapónico a razón de 18 plántulas de albahaca por cada unidad experimental, teniendo en cuenta la altura promedio (6 a 8 cm), las 5 a 6 hojas verdaderas y con peso promedio de 2-3 g, verificando visualmente que las plantas estuviesen libres de plagas y enfermedades.

Peces

El pez empleado fue el *Oreochromis niloticus* (Tilapia), con una población de 225 peces con una edad aproximada de 45 días, peso promedio aproximado de 5.09 g provenientes del fundo “El encanto de SAIPAI”, estos peces fueron distribuidos en tres tratamientos con 3 repeticiones cada uno, fueron alimentados diariamente y el alimento empleado fue de la marca Aquatech (40% proteína).

3.2.2. Instalación del sistema acuapónico

La instalación del sistema acuapónico tuvo una duración de 45 días y se realizó en el área de piscicultura, el cual cuenta con dos zonas una con calamina transparente para las plantas y una zona oscura para los peces.

Se construyó 09 sistemas individuales donde se utilizó el modelo de “lecho de medios”, cada sistema estuvo constituido por 01 artesa de fibra de vidrio de 100L para los peces, cubierto con una malla para evitar la entrada de insectos u otras partículas externas a los tanques de cultivo. Para el filtro mecánico se usó recipientes de 4 litros, los cuales estuvieron rellenos de espuma de poliestireno, esto con el fin de retener partículas provenientes del tanque de las tilapias.

Las camas hidropónicas aparte de abarcar a las plantas también funcionaron como filtros biológicos donde se usaron bandejas de 167 litros de capacidad, el cual fue rellenado por grava de río de 1 pulgada de diámetro a razón de 60 L, el uso de la grava de río permitió la colonización y el establecimiento de bacterias nitrificantes. Cada una de las camas hidropónicas conto con un sifón de campana que permitió oxigenar el sistema.

Para el sumidero se usó un recipiente de 20 litros, el cual estaba unido a una bandeja de 4 litros donde se colocó la bomba sumergible de marca MINJIANG NOVENO NS F803, el cual permitió la recirculación constante del agua a un caudal de 1.6 L/min. Todo el sistema estuvo conectado por tuberías de PVC de media pulgada de diámetro.

Para la aireación de los tanques de cultivo de peces se usó una bomba de aire de marca RESUN ACO-006, el cual estuvo conectado por medio de mangueras y piedras difusoras. El abastecimiento de agua para los sistemas acuapónicos fue de un pozo, de la cual se extraía agua subterránea. Antes de iniciar las evaluaciones se realizó una maduración del sistema por 30 días como lo sugiere la (FAO, 2014).

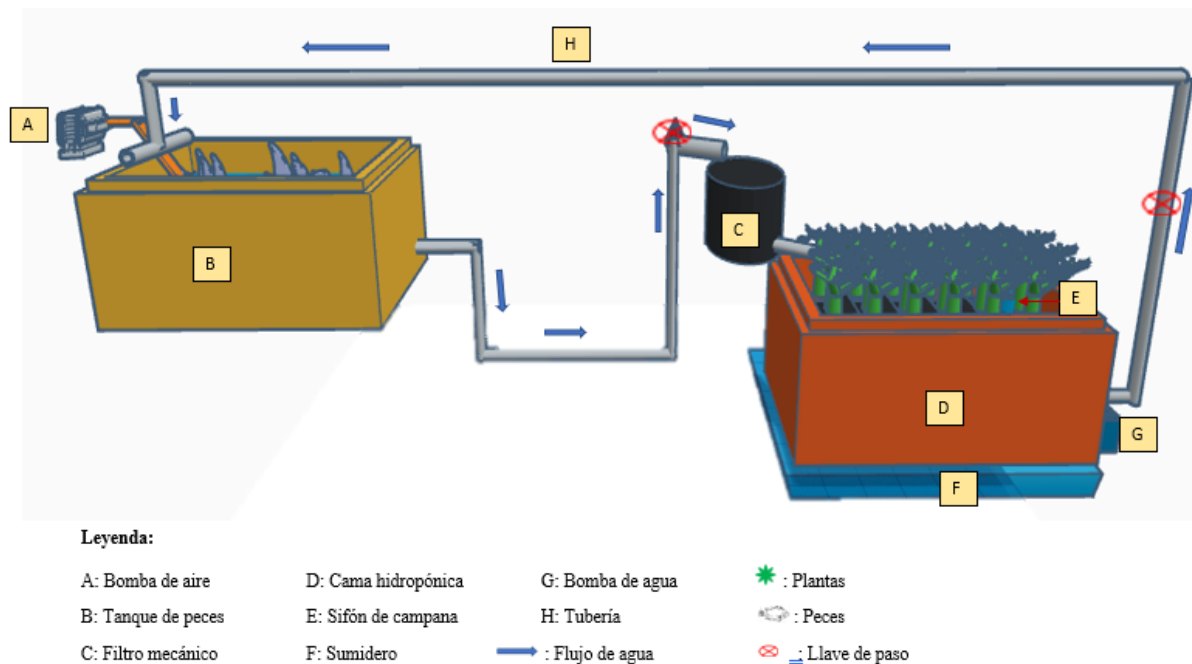


Figura 2. Sistema acuapónico modelo de “lecho de medios”

3.2.3. Materiales y equipos de medición

Para determinar la absorción de nitrógeno y fósforo por parte de la albahaca, se enviaron muestras de la planta y el alimento al laboratorio, en el caso del nitrógeno total se usó el método de KJENDHAL y para la medición de fósforo se empleó el método de METAVANADATO ESPECTRO UV VISIBLE-THERMO SCIENTIFIC USA,

Para la medición de las características agronómicas de la albahaca se utilizó cinta métrica, balanza digital, balanza analítica, hojas bond, plumón indeleble, tijera y probeta.

Para los parámetros fisicoquímicos del agua se usó un oxímetro HI 9146 HANNA, un multiparámetro HI 98114 HANNA y para la medición de los compuestos nitrogenados en el agua (amoníaco, nitrito y nitrato) se usó los kits HANNA HI3824, HI3873 y HI3874 respectivamente.

3.2.4. Metodología

3.2.4.1. Criterios de investigación

a) Población y muestra

- La población estuvo conformada por 18 plantines en cada unidad experimental, que hacen un total de 162 plantas de *Ocimum basilicum* (albahaca).
- Para la muestra se empleó el método aleatorio simple

b) Tipo de investigación

Aplicada

c) Nivel de investigación

Experimental

d) Variables de estudio

○ Variable independiente

Densidad de cultivo de tilapia (peces/m³)

○ Variable dependiente

Absorción de nitrógeno y fósforo por parte de la albahaca (%)

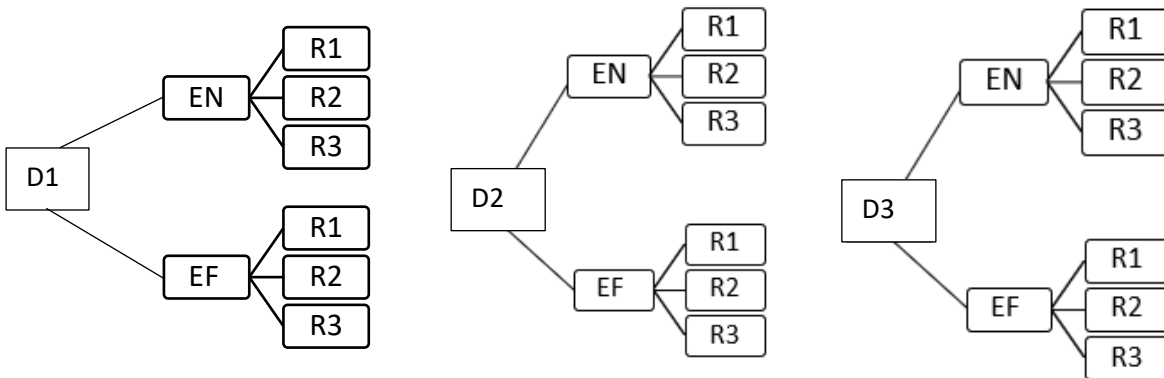
○ Variable Interviniente

Características agronómicas de la albahaca

Parámetros fisicoquímicos del agua

e) Diseño de investigación

Se aplicó un diseño de investigación experimental, en la que se evaluó la capacidad de absorción del nitrógeno y fósforo mediante el uso de la albahaca, para lo cual se realizaron mediciones de nitrógeno y fósforo al inicio (después del trasplante) y al final (42 días después), con tres repeticiones por densidad de cultivo (180 peces/m³, 250 peces/m³ y 320 peces/m³)



Leyenda: [D1]: Densidad uno, [D2]: Densidad dos, [D3]: Densidad tres, [EN]: Evaluación de nitrógeno, [EF]: Evaluación de fósforo, [R1]: Repetición uno, [R2]: Repetición dos, [R3]: Repetición tres.

f) Análisis estadístico

Para el análisis de todos los datos recolectados se usó el programa estadístico (INFOSTAT 2020). Los datos se procesaron mediante el análisis de varianza correspondiente al diseño completamente al azar (DCA), donde para las evaluaciones de los datos se usó la prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95%.

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

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

Fuente: Hinkelmann y Kempthorne (1994)

3.2.4.2. Estimación de la concentración de nitrógeno y fósforo en tres densidades de tilapia en un sistema acuapónico

Para estimar la concentración de nitrógeno y fósforo que ingresa al sistema acuapónico teniendo en cuenta la densidad de peces, primero se determinó la densidad de peces con la que se trabajará tomando en cuenta fuentes secundarias como Sabwa, Jimenes y el manual de la FAO.

Una vez calculado la densidad de peces con la que se trabajará, para determinar el ingreso de nitrógeno y fósforo se tomó en cuenta dos datos:

1. El consumo de alimento por el pez en 42 días de evaluación de cada unidad experimental
2. Análisis del contenido de nitrógeno y fósforo del alimento en el laboratorio de análisis de suelos, aguas y ecotoxicología de la UNAS,

Teniendo estos dos valores por medio de cálculos se estimó el total que nitrógeno y fósforo que ingreso al sistema, considerando que el pez retiene un 25% del nitrógeno y un 29% de fósforo (Jover, 2000).

Tabla 2. Determinación del ingreso de nitrógeno y fósforo al sistema acuapónico

Tratamiento	Consumo de alimento en 42 días (g)	N (g)	P (g)	N Considerando la retención por el pez (25%)	P Considerando la retención por el pez (29%)
T1R1 (180 peces/m ³)	208.82	11.34	1.23	8.50	0.87
T1R2 (180 peces/m ³)	216.83	11.77	1.28	8.83	0.91
T1R3 (180 peces/m ³)	206.98	11.24	1.22	8.43	0.87
T2R1 (250 peces/m ³)	298.76	16.22	1.76	12.17	1.25
T2R2 (250 peces/m ³)	275.97	14.99	1.63	11.24	1.16
T2R3 (250 peces/m ³)	286.44	15.55	1.69	11.67	1.20
T3R1 (320 peces/m ³)	367.14	19.94	2.16	14.95	1.54
T3R2 (320 peces/m ³)	342.50	18.60	2.02	13.95	1.43
T3R3 (320 peces/m ³)	349.89	19.00	2.06	14.25	1.46

Tabla 3. Análisis del alimento en el laboratorio

Análisis del alimento en laboratorio	
N (%)	5.43
P (%)	0.59

$$N (g) = \frac{N \text{ LAB} * C.A}{100} \dots \dots \dots (2)$$

$$P (g) = \frac{P \text{ LAB} * C.A}{100} \dots \dots \dots (3)$$

$$N \text{ 25\% } (g) = N (g) - (N (g) * 0.25) \dots \dots \dots (4)$$

$$P \text{ 29\% } (g) = P (g) - (P (g) * 0.29) \dots \dots \dots (5)$$

3.2.4.3. Determinación de las características agronómicas de la albahaca

a) Peso Fresco (g). Se tomó valores iniciales (al momento de colocarlos en las camas hidropónicas) y finales (en la cosecha - 42 días después) en donde se colocó plantas completas de albahaca (raíz, tallo, hojas), en una balanza digital para así obtener el peso en fresco.

b) Número de hojas. El conteo de número de hojas se realizó cada 7 días, tomando valores iniciales una vez colocado la planta en las camas hidropónicas (25 días después de germinado) y valores finales (cosecha - 42 días después)

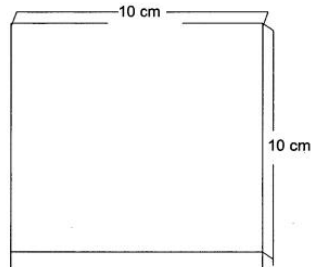
c) Altura (cm). Se recolectó valores cada 3 días, siendo los valores iniciales una vez colocados los plantines de albahaca a las camas hidropónicas y los valores finales (cosecha-42 días después), en donde con una cinta métrica se midió desde el nacimiento de la raíz hasta el ápice del tallo.

d) Área foliar (dm²). Al igual que en el peso fresco se tomó valores iniciales (al momento de colocarlos en las camas hidropónicas) y finales (en la cosecha - 42 días después), en donde se recolectó plantas al azar, para posteriormente determinar el área foliar por el método de las pesadas, tal como lo menciona (Rondan, 2013).

- Se dibujó las siluetas de las hojas de la albahaca en un papel con igual grosor y densidad, seguido de esto se recortó las siluetas de las hojas dibujadas del papel por cada planta a evaluar. Por otro lado, se dibujó un cuadrado perfecto con dimensiones de 10 cm por lado el cual hace un área de 100 cm², este papel fue pesado y sirvió como peso patrón para hallar el área foliar.

- Finalmente pesamos todas las siluetas de las hojas recortadas por cada unidad experimental, con estos datos, se procedió a realizar una regla de tres simple, donde se obtuvo el valor del área foliar por cada planta

Ejemplo: Papel $100 \text{ cm}^2 = \text{dm}^2$



Peso del papel cuadrado = 100 g

Peso de la silueta recortada = 50 g

1 dm^2 ————— 100 g

x ————— 50 g

e) **Volumen radicular (cm^3)**, se determinó en la etapa inicial (al momento de colocarlos en las camas hidropónicas) y final de la planta (en la cosecha - 42 días después), para lo cual se colocó agua en una probeta, se midió este volumen (V_1), luego se sumergió la raíz de la planta dentro de la probeta y se midió el volumen del agua (V_2), seguido de esto por diferencia ($V_1 - V_2$) se obtuvo el volumen total de la raíz.

3.2.4.4. Determinación de la absorción de nitrógeno y fósforo mediante el uso de la albahaca

Los tratamientos evaluados fueron tres densidades de cultivo de tilapia (*O. niloticus*) 180 peces/ m^3 , 250 peces/ m^3 y 320 peces/ m^3 , cultivados con 18 plantines de *Ocimum basilicum* (albahaca) en un sistema acuapónico.

1. De las 9 unidades experimentales se recolectó plantines al azar de albahacas al inicio (antes de colocarlas a las camas hidropónicas) y al final del experimento (cosecha 42 días después), estas muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelos, aguas y ecotoxicología de las UNAS, donde se calculó el contenido de nitrógeno y fósforo en porcentaje de las muestras iniciales y finales

2. Se envió muestras del alimento al laboratorio de análisis de suelos, aguas y ecotoxicología de las UNAS, para obtener el contenido de nitrógeno y fósforo en porcentaje.

Para determinar el porcentaje de absorción de estos elementos por parte de la albahaca, se realizó el cálculo del total de nitrógeno y fósforo que ingresa al sistema acuapónico por el alimento tomando en cuenta los análisis del laboratorio² y lo mencionado por Jover (2000) que la retención de nitrógeno y fósforo por el pez es de un 25% y 29% respectivamente.

Seguido de esto se procedió a calcular el total de nitrógeno contenido en la albahaca según las muestras analizadas en el laboratorio¹. Teniendo ambos valores se determinó con la siguiente fórmula, cuánto del total de nitrógeno y fósforo que ingreso al sistema por el alimento es absorbido por la albahaca en 42 días de evaluación, expresado en porcentajes.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \dots \dots (6)$$

Fuente: Paredes (2015)

3.2.4.5. Monitoreo de la calidad de agua en el sistema acuapónico

El monitoreo de la calidad de agua se realizó mediante las mediciones de los parámetros fisicoquímicos, para lo cual se estableció un horario fijo considerando aspectos importantes como el diseño del sistema, la procedencia del agua, su calidad, el mantenimiento de dicha calidad y el no afectar a los seres vivos que se encuentren dentro del sistema, a su vez se siguió las recomendaciones dadas por autores como la FAO y manuales de cultivos acuícolas y sistemas de recirculación, el horario establecido fue cada 6 días a las 8 am, En donde para la medición del oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales se empleó un oxímetro marca HANNA modelo HI9146 y un multiparámetro marca HANNA modelo HI98194 debidamente calibrados. Para la medición de los compuestos nitrogenados en el agua (amoníaco, nitrito y nitrato) se usó los kits HANNA HI3824, HI3873 y HI3874 respectivamente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimación de la concentración de nitrógeno y fosforo en tres densidades de tilapia en un sistema acuapónico con producción de *Ocimum basilicum*

En la Tabla 4 se muestra el ingreso de nitrógeno y fosforo al sistema por medio del consumo de alimento teniendo en cuenta la retención del pez.

Tabla 4. Ingreso de nitrógeno y fosforo al sistema acuapónico

Tratamiento	Densidad	Nitrógeno (N) g	Fosforo (P) g
T1	180 peces/m ³	8.59	0.88
T2	250 peces/m ³	11.69	1.20
T3	320 peces/m ³	14.38	1.48

Se observa que a mayor densidad de peces, hay un mayor ingreso de nutrientes como nitrógeno y fosforo al sistema acuapónico, esto es semejante a lo reportado por Días (2018) el cual menciona que a mayor densidad de cultivo de peces habrá mayor consumo de alimento por ende mayores dosis de nitrógeno y fosforo, sin embargo el autor menciona que hay que tener en cuenta el no sobrepasar una dosis máxima ya que trae consigo una disminución en la absorción de nutrientes por parte de los vegetales afectando el desarrollo de estas, esto es explicado de acuerdo a la ley de rendimiento decrecientes que indica que a medida que aumentan las dosis de un elemento fertilizante disminuye el incremento de la cosecha.

4.2. Determinación de las características agronómicas como el peso fresco, número de hojas, altura, área foliar y volumen radicular del *Ocimum basilicum* en un sistema acuapónico con tres densidades de tilapia

La evaluación inicial de las características agronómicas de la albahaca se registró momentos antes de colocar las plantas a las camas hidropónicas 42 días después se realizó la evaluación final. Para el análisis de los datos y su posterior procesamiento en INFOSTAT se

restó los valores iniciales debido a que los plantines de la albahaca se desarrollaron fuera del sistema acuapónico (camas germinadoras).

Al tercer día de realizado el primer muestreo dentro del sistema acuapónico, se observó que ciertos plantines de *Ocimum basilicum*, presentaban manchas oscuras en hojas, tallos y raíces el agente causal de esos síntomas pueden ser hongos que se encuentran en el suelo y en el ambiente tales como *Rhizoctonia sp.* y *Peronospora sp.* Estos plantines fueron reemplazados.

Seguido de esto se tuvo un crecimiento constante, en el análisis estadístico de las características agronómicas se reportó que existe diferencias estadísticas significativa ($p < 0.05$) en el área foliar.

Tabla 5. Características agronómicas de la albahaca, cultivados en sistemas acuapónicos con *Oreochromis niloticus*

Densidad	180 peces/m ³	250 peces/m ³	320 peces/m ³	p-valor	CV (%)
Peso (g)	41.06	43.81	47.50	0.387	12.02
Número de hojas	8.82	8.96	9.00	0.974	9.95
Altura (cm)	45.98	46.59	47.92	0.735	5.48
Área foliar (dm ²)	2.99 a	3.91 b	5.05 c	0.001	3.53
Volumen radicular (cm ³)	2.58	2.53	3.12	0.802	38.62

Letras diferentes en fila muestra diferencia estadística (Duncan: 0.05)

En cuanto al peso se muestra un aumento de acuerdo con la densidad de peces, pero sin diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) tal como se observa en la Tabla 5, esto debido posiblemente a que en la mayor densidad de peces hay un mayor ingreso de nitrógeno por el alimento tal como lo menciona Callejas y Pulgarín (2021).

Para la variedad *Ocimum basilicum var. italiana*, se reportó valores de 47.50g en promedio para T3 (320 peces/m³), lo cual fue superior a lo reportado por Mamani (2021) quien trabajó con tres variedades de albahaca (americana, sucre y superbo) en un sistema hidropónico. A si mismo Teng y Hye-ji (2020) obtuvieron una menor biomasa fresca en cuanto a las albahacas de la variedad genovese en su estudio sobre comparaciones de balance de masa de nitrógeno y fosforo para sistemas acuapónicos e hidropónicos. El mayor peso fresco obtenido en la presente investigación se puede deber a las características genéticas, morfológicas y fisiológicas propias de esta variedad.

Autores como Racocy (2006) y Savidov (2004) mencionan que la tecnología acuapónica para el crecimiento y desarrollo de las plantas en invernaderos o ambientes controlados es

significativamente superior a la hidroponía inorgánica, ya que en investigaciones realizadas por dichos autores han puesto en manifiesto que la acuaponía no tiene resultados superiores a la hidroponía antes de que las diferentes bacterias se hayan asentado en el sistema, pero cuando el sistema acuapónico está completamente en operación es decir maduro la producción acuapónica de plantas es superior a la hidroponía. También menciona que las plantas cultivadas en acuaponía suelen ser más resistentes a enfermedades que las cultivadas en hidroponía esto debido a la presencia de sustancias orgánicas disueltas que crean un ambiente de crecimiento ecológicamente balanceado.

En la Figura 3 se observa el incremento en el número de hojas con respecto al tiempo, a su vez en el Cuadro 5 se observa que el número de hojas muestra un aumento de acuerdo con la densidad de peces obteniendo mejores resultados en la mayor densidad de peces pero sin diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), teniendo valores promedio de 8.82 hojas/planta (180 peces/m³), 8.96 hojas/planta (250 peces/m³) y 9.00 hojas/planta (320 peces/m³) en 42 días de evaluación, estos valores son inferiores a lo reportado por Mamani (2021) el cual evaluó tres variedades de albahaca en tres soluciones nutritivas en un sistema hidropónico, así mismo Torrez (2014) evaluó el rendimiento de dos variedades de albahaca hasta la etapa comercial relacionado a la biofertilización en carpa solar obteniendo resultados superiores en la variedad boliviana e italiana. El desarrollo del número de hojas pudo ser influenciado principalmente por las características genéticas de cada variedad y factores ambientales como la radiación solar, ya que el trabajo se desarrolló al interior del laboratorio.

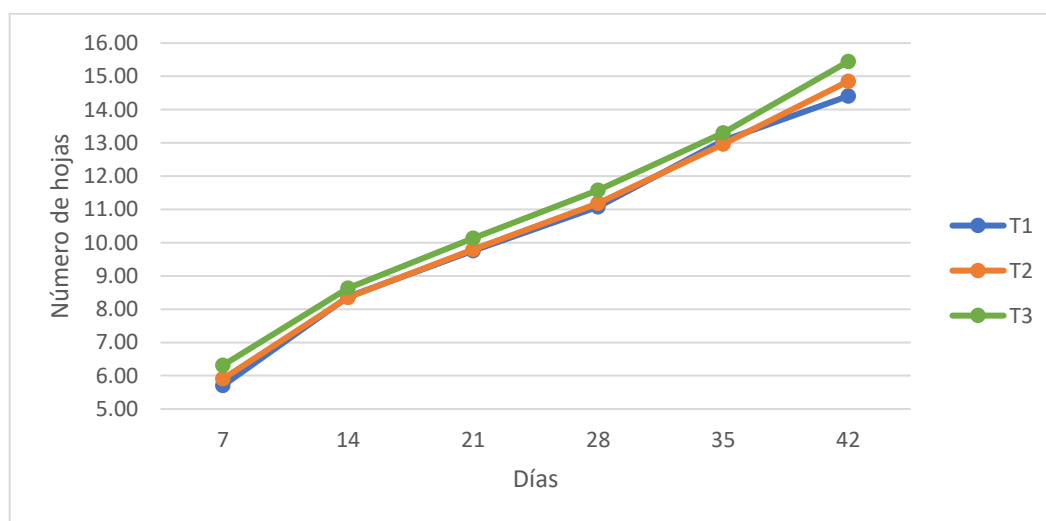


Figura 3. Desarrollo de número de hojas por cada tratamiento en 42 días de evaluación

En cuanto a la altura el Cuadro 5, muestra un aumento acorde a la densidad de peces teniendo valores de 45.98 cm/planta (180 peces/m³), 46.59 cm/planta (250 peces/m³) y 47.92 cm/planta (320 peces/m³), a su vez en la Figura 4 se observa un crecimiento constante de la albahaca con respecto al tiempo en 42 días de evaluación.

En un estudio realizado por Espinosa (2015) el cual evaluó tres especies de herbáceas en sistemas acuapónicos para la producción intensiva de tilapias reporta una altura promedio para la albahaca de 43.03 cm/planta en 50 días de evaluación, la cual es menor a lo obtenido en esta investigación esto debido posiblemente a que el autor obtuvo menor producción final de tilapias 1.66 kg/m³ a comparación con la producción final que se obtuvo en la investigación 2.49 kg/m³ para T1, 3.27 kg/m³ para T2 y 3.8 kg/m³ para T3. La mayor producción de tilapias influye de manera positiva en el desarrollo de las plantas, ya que hay mayor aporte de nutrientes.

Los valores de altura obtenidos en esta investigación son mayores a lo reportado por (Ronzón *et al.*, 2012), el cual trabajó con langostinos y albahacas en un sistema acuapónico donde obtuvo un valor de 15 cm/planta en promedio en un periodo de 72 días, esto debido a que el autor reportó que al inicio del estudio la biomasa de los estanques era baja esto asociado a la talla inicial de las post larvas por lo que el alimento suministrado no producía altas cargas de derivados nitrogenados limitando a las bacterias para la adecuada transformación de amonio a nitrato, siendo esta ultima un nutriente importante en el desarrollo de la planta.

El desarrollo de la albahaca en el sistema acuapónico en cuanto a la altura es superior a lo reportado por Mamani (2021) y Quenta (2020), los cuales trabajaron en sistemas hidropónicos. Savidov (2004) menciona que si se alcanzan ciertos niveles clave de nutrientes en sistemas acuapónicos la producción de vegetales suele ser superior en comparación con los sistemas hidropónicos

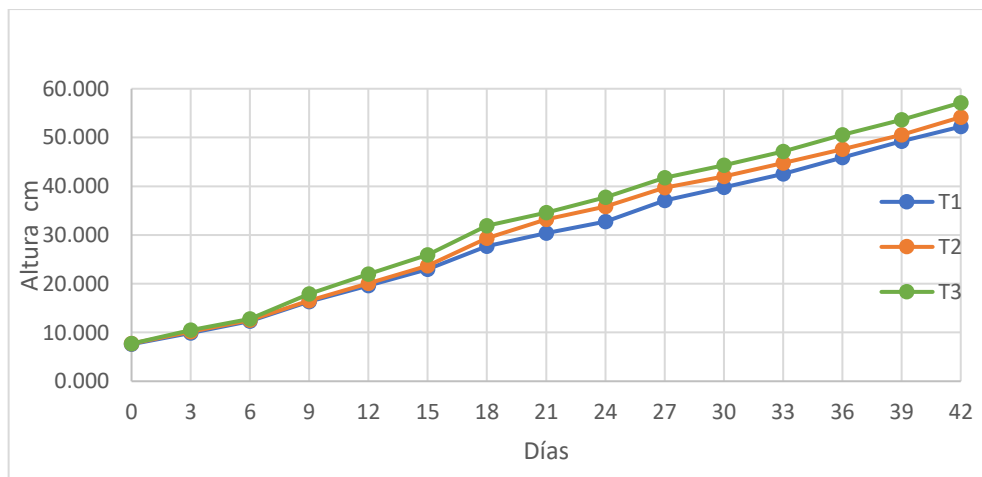


Figura 4. Crecimiento en altura de la albahaca en 42 días de evaluación

En la Tabla 5 con respecto al área foliar (dm^2) se observa un aumento acorde a la densidad de peces teniendo valores de 2.99 dm^2 (180 peces/m^3), 3.91 dm^2 (250 peces/m^3), 5.05 dm^2 (320 peces/m^3) en 42 días de evaluación mostrando diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), así mismo la Figura 5 se observa una tendencia lineal positiva donde los valores más altos se dan en la mayor densidad de peces. Esto debido como lo mencionado en párrafos anteriores al haber mayor densidad de peces hay mayor aporte de nutrientes lo cual beneficia al desarrollo de la planta.

La determinación del área foliar es importante y nos permite analizar el desarrollo de la planta en estudio, de acuerdo con Silva (2015) si mayor es el área foliar mayor es la tasa fotosintética y esto a su vez favorece en la producción de fotosintatos las cuales son responsables del desarrollo de las plantas. Este autor realizó una investigación en la que evaluó el comportamiento de cultivo de la albahaca en cuatro sistemas de siembra en suelo obteniendo mejores resultados en el tipo de siembra por plantines produciendo en promedio 18.42 dm^2 , lo cual es superior a lo reportando en esta investigación donde se obtuvo valores en promedio de 5.05 dm^2 (320 peces/m^3). Una limitante por el cual se obtuvo niveles bajos de área foliar sería el ingreso de radiación solar directa ya que al trabajar con un sistema acuapónico esta se tuvo que desarrollar en un ambiente controlado la cual estuvo con calaminas transparentes que limitaban el ingreso de radiación solar. Albrizo y Steduto (2005) mencionan que la radiación solar es un factor importante ya que las plantas que crecen en falta de luz además de tener un pobre contenido de clorofila muestran un retardo en el desarrollo foliar, también mencionan que el crecimiento del cultivo depende en la capacidad de follaje para capturar radiación, agua y nutrientes.

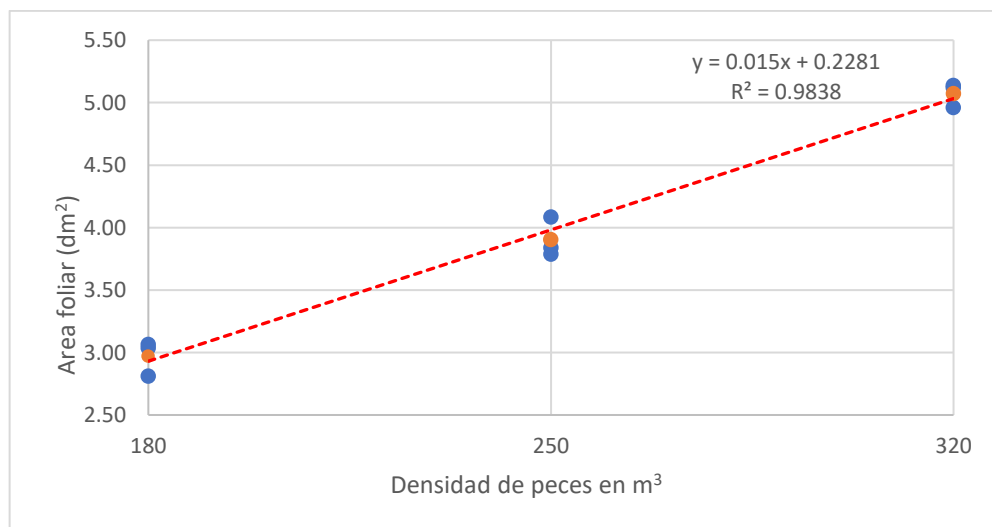


Figura 5. Regresión lineal para área foliar (dm^2)

En cuanto al volumen radicular (cm^3) la Tabla 5, muestra un leve incremento a medida que aumenta la densidad de peces (obteniendo un mayor desarrollo radicular en la mayor densidad de peces 3.12 cm^3 (320 peces/m^3). Esto se debe a que una mayor densidad de peces da como resultado una mayor producción de nutrientes lo que beneficia el desarrollo de la radicular.

Bustamante (2019) en su investigación con albahaca obtuvo valores de 168.44 cm^3 en cuanto al volumen radicular la cual es superior a lo reportado en esta investigación. Esto se pudo deber a que el autor trabajó en un medio de cultivo diferente (suelo) en donde evaluó 48 días más que en este trabajo. La baja absorción de fósforo por parte de la albahaca pudo ser otra limitante en cuanto a su desarrollo radicular, ya que de acuerdo a Fernández (2007) el fósforo es un buen estimulante del desarrollo radicular de las plantas.

4.3. Determinación de la absorción de nitrógeno y fósforo mediante el uso de *Ocimum basilicum* (albahaca) en un sistema acuapónico con tres densidades de tilapia

Los tratamientos evaluados fueron tres densidades de siembra de peces (*O. niloticus*) 180 peces/m^3 , 250 peces/m^3 y 320 peces/m^3 , cultivados con 18 plantines de *Ocimum basilicum* (albahaca) en un sistema acuapónico. La Tabla 6 muestra el porcentaje de absorción de nitrógeno y fósforo por parte de la albahaca, en donde se obtuvo diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) en la absorción de nitrógeno.

Tabla 6. Porcentaje de absorción de nitrógeno y fósforo, evaluadas en las tres densidades de peces.

Densidad	180 peces/ m^3	250 peces/ m^3	320 peces/ m^3	p-valor	CV (%)
N ingresado al sistema (g)	8.59	11.69	14.38	-	-
Contenido de N de la albahaca (g)	1.69	1.61	1.83	-	-
P ingresado al sistema (g)	0.88	1.20	1.48	-	-
Contenido de P de la albahaca (g)	0.11	0.12	0.18	-	-
Absorción N % ¹	17.21 c	13.97 b	11.46 a	0.005	6.91
Absorción P % ¹	13.31	9.84	11.38	0.1064	13.32

1: Análisis de regresión con covariable peso, Letras diferentes en fila muestra diferencia estadística (Duncan: 0.05)

Se observa mayor porcentaje de absorción de nitrógeno en comparación del fosforo esto se pudo deber a que la albahaca tiende a asimilar más ciertos nutrientes como el nitrógeno, tal como lo menciona Moran (2020) que el nitrógeno es el elemento que más absorbe la planta a comparación del fosforo y potasio ya que requiere de este elemento para su adecuado desarrollo, así mismo los valores bajos de fosforo pueden estar relacionado a lo mencionado por Fimbres (2015) que en un sistema acuapónico se presenta un déficit de fosforo debido a que se retira la materia orgánica particulada donde se encuentra el mayor porcentaje de este compuesto.

A su vez el mayor porcentaje de absorción de nitrógeno y fosforo por parte de la albahaca se dio en el tratamiento con densidad de siembra 180 peces/m³ esto se pudo deber a que en la menor densidad de peces hubo menor ingreso de nitrógeno y fosforo los cuales fueron absorbidos rápidamente por la planta en comparación con los otros tratamientos. Así mismo la densidad de 320 peces/m³ presenta los valores más bajos de absorción de nitrógeno esto debido posiblemente a que el nitrógeno que ingreso al sistema es más alto en comparación a los otros tratamientos debido a la mayor cantidad de peces ya que este ingresa como parte del alimento que se le da a las tilapias, tal como lo menciona Callejas y Pulgarín (2021) que el nitrógeno ingresa a un sistema acuapónico como proteína cruda (alimento) la cual es liberada al agua luego de que las tilapias se alimentan y metabolizan estas proteínas. Este nitrógeno liberado por medio de conversión bacteriana es transformado a nitrato la principal fuente de nitrógeno para el crecimiento de la albahaca.

Otro aspecto a considerar para una mejor absorción de nutrientes por parte de las plantas es el flujo de agua. Carrasco & Izquierdo (1996) mencionan que para el óptimo funcionamiento de un sistema de recirculación la bomba de agua debe de impulsar un caudal de 2 a 3 L/min., en el sistema se trabajó con un caudal 1.6 L/min el cual es inferior a lo mencionado por estos autores. El flujo de agua es importante para que haya una mayor absorción de nutrientes, en esta investigación se trabajó con un sistema acuapónico de tipo Growbed System o cama de sustrato en la que se añadió un sifón de campana para controlar el llenado y vaciado de las camas hidropónicas, para un buen funcionamiento del sifón y por el diseño del sistema se trabajó con un caudal de 1.6 L/min la cual es inferior a lo reportado por autores como Jaimes (2019), que trabajaron con sistemas tipo NFT y con caudales que oscilan entre 2- 3 L/min. El menor flujo de agua con la que se trabajó pudo tener un efecto en la absorción de nutrientes por parte de las albahacas.

4.4. Monitoreo de la calidad de agua por medio de la medición de parámetros fisicoquímicos en el sistema acuapónico con producción de *Ocimum basilicum*

En la Tabla 7 se muestra el análisis de varianza de los parámetros fisicoquímicos donde se observa que para el factor densidad, hubo diferencia estadística en cuanto a los parámetros oxígeno disuelto y pH, así mismo para el factor momento hubo diferencia estadística significativa para todos los parámetros. En cuanto a la interacción se observa diferencia significativa ($p < 0.05$) en el oxígeno disuelto y los sólidos disueltos totales.

Los parámetros fisicoquímicos como oxígeno disuelto y temperatura se encontraron dentro de los rangos establecidos por la FAO (2014) tanto para peces, plantas y bacterias, en cuanto al pH para peces y bacterias estas se encontraron dentro del rango establecido sin embargo se superó el rango en cuanto a las plantas, pudiendo ser esta una limitante para el óptimo acceso de las plantas a macro y micronutrientes.

En cuanto al factor densidad, se observa que el parámetro oxígeno disuelto obtiene mejores resultados en la menor densidad de peces con valores de 5.68 mg/L para 180 peces/m³, 5.24 mg/L para 240 peces/m³ y 5.27 mg/L para 320 peces /m³, esto se debió posiblemente a que a mayor densidad de peces estas requieren mayor oxígeno disuelto. De acuerdo con Racocy *et al.*, (2006) el oxígeno disuelto en un sistema acuapónico puede tener un comportamiento oscilante debido a los altos requerimientos por parte de los peces, las bacterias nitrificantes y la región radicular de la planta sumado a las altas cargas orgánicas que se producen consumiendo de esta manera considerables concentraciones de oxígeno en sus procesos de transformación química.

El oxígeno disuelto en el factor periodo muestra valores al inicio de 5.56 mg/L y al final de 5.24 mg/L mostrando una ligera disminución. Estos valores se encuentran dentro del rango recomendado por Nelson (2008) el cual menciona que los niveles de oxígeno disuelto en el sistema acuapónico deben mantenerse entre 6 - 7 mg/L, otras investigaciones con albahaca en acuaponía como lo desarrollado por Pandales y Santos (2017) también reportan valores de oxígeno disuelto (5.2 mg/L) dentro del rango recomendado, esto debido a la importancia de este parámetro ya que si se reportan niveles bajos de oxígeno disuelto los peces podrían morir, también las bacterias nitrificantes requieren un nivel adecuado de oxígeno disuelto en el agua a fin de mantener altos niveles de productividad (Suarez *et al.*, 2021), ya que la nitrificación es una reacción oxidativa en donde se utiliza el oxígeno como un reactivo por ende sin oxígeno la

reacción se detiene (FAO, 2014), además si los niveles de oxígeno disuelto son bajos pueden crecer otro tipo de bacterias que afecten la adecuada producción de nitrato (desnitrificación) lo cual afectaría el desarrollo de los vegetales. También es importante mencionar que el oxígeno disuelto tiene una relación directa con la temperatura ya que si esta se incrementa la solubilidad del oxígeno disminuye por lo tanto, se recomienda que en épocas más calurosas se incremente la aireación en el sistema.

El pH con respecto al factor densidad obtuvo mayor valor en la menor densidad de peces teniendo valores para T1 (8.05), T2 (7.80) y T3 (7.80) siendo estos superiores al rango establecido por la FAO (2014) para las plantas pero se encuentra dentro del rango normal para peces y bacterias. El pH adecuado para el cultivo de albahaca es de 5.5 a 6.5 para cultivos hidropónicos (Contreras y Gomez, 2008), a su vez Resh (2001) menciona que la planta tendrá mayor disponibilidad de nutrientes a un pH de 5.5 – 6.5. En general los valores de pH, en el sistema acuapónico tienden a tener fluctuaciones esto influenciado de cierta manera por los peces, debido a los procesos biológicos como la liberación de amoníaco y desechos a través de las branquias que son disueltos en el agua. Sin embargo el tener un pH en el rango óptimo para peces y bacterias permitió el desarrollo normal de estas. Para la producción de albahacas el pH al superar el rango recomendado pudo ser una limitante para la adecuada absorción de nutrientes, pero esto no se vio reflejado a simple vista ya que no se observó deficiencias de crecimiento ni daños en las raíces y hojas.

En cuanto al factor periodo se reportó una ligera disminución teniendo un pH inicial de 8 y un valor final de 7.77 esto se pudo deber al proceso de nitrificación, de acuerdo con la FAO (2014) las reacciones de conversión de amoníaco a nitrato es uno de los principales causantes de la disminución del pH en el agua.

La conductividad eléctrica en el factor densidad presentó mejores resultados en la mayor densidad de peces T3 (320 peces/m³) con una medida de 575.00 µs/cm, seguido de T2 (250 peces/m³) con un valor de 568.33 µs/cm y finalmente T1 (180 peces/m³) con un menor valor de 548.33 µs/cm. De acuerdo con Delgado (2020) esto posiblemente se debe a que en unidades experimentales donde hay una mayor densidad de peces se generan sales y nutrientes constantemente y por lo tanto hay mayor conductividad eléctrica ya que en su investigación obtuvo niveles altos de conductividad en las salidas de las unidades de cultivo de tilapias (1220 µs/cm).

En el factor periodo la conductividad eléctrica tuvo un ligero incremento al finalizar el experimento reportando un valor inicial de 367.78 µs/cm y final de 760.00 µs/cm, estos valores

son ligeramente bajos a lo recomendado en sistemas hidropónicos en los cuales el rango óptimo oscila entre 1500 a 1800 $\mu\text{s/cm}$ (Nelson, 2008), pero si se encuentra en el rango óptimo para sistemas acuapónicos en donde los valores oscilan entre los 300 a 600 $\mu\text{s/cm}$ (Rakocy *et al.*, 2004) y $<1000 \mu\text{s/cm}$ (Hernández 2017). La conductividad eléctrica en el sistema no requirió acción de control ya que siempre se mantuvo en el rango requerido si se reportan valores altos se podría presentar toxicidad en las plantas y en caso de ser bajos habría una falta de nutrientes.

Con respecto al factor densidad los sólidos disueltos totales obtuvieron mejores resultados en la mayor densidad de peces reportando valores de 325 ppm (180 peces/ m^3), 336.67 ppm (250 peces/ m^3) y 343.33 ppm (320 peces/ m^3), esto posiblemente se debió según Rakocv *et al* (2006) a que en el estanque con mayor densidad de peces hay una mayor acumulación de nutrientes debido a las tasas de alimentación. Los niveles de TDS se encuentran dentro del rango recomendado por Ramírez (2000).

Autores como Alcocer (2017) reportaron valores promedio de 331.51 ppm en su estudio de peces dorados y lechugas en acuaponía. Campos *et al.*, (2013) en su estudio sobre la caracterización de un efluente de tilapia en acuaponía obtuvo valores en promedio de 4153.78 ppm los cuales son muy altos al rango recomendado, esto se debió posiblemente a que en el diseño de su sistema acuapónico no se contó con un tanque de sedimentación para filtrar el agua.

En cuanto al factor periodo se reportó un incremento en la evaluación final teniendo un valor inicial (240 ppm) y final (430 ppm). Es importante mantener niveles de TDS por debajo de 2000 ppm evitando así síntomas de depósitos de sólidos en raíces de las plantas, así mismo Rakocy *et al.* (2006) sugiere que en estos sistemas se deben mantener valores de 200- 400 ppm para que se produzcan buenos resultados.

Por su parte la temperatura del agua en el factor densidad obtuvo valores de 24.66 (T1:180 peces/ m^3), 24.70 (T2: 250 peces/ m^3) y 24.60 (T3: 320 peces/ m^3) lo cual es semejante a lo mencionado por Espinosa (2015), el cual reportó valores que oscilan entre 20.2 y 25.2 °C. Mendiola (2015) también reportó valores de temperatura que se mantuvieron dentro del rango óptimo de crecimiento para albahacas. De acuerdo con Contreras y Gomez (2008) la temperatura debe estar de 20 a 30 °C en el suelo para su óptimo crecimiento.

En cuanto al factor periodo se obtuvo un ligero incremento pero no sobrepasa el rango que recomienda el manual de Worl Renew y Diaconia Nacional (2020), en la cual se menciona que la temperatura se debe mantener dentro del rango 18 – 30 °C, lograr un equilibrio en cuanto a la temperatura es importante para el adecuado funcionamiento del sistema acuapónico ya que

si estas sobrepasan el rango establecido pueden causar afectaciones en los vegetales ocasionando disminución del crecimiento y susceptibilidad a patógenos.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques, en función de la densidad de cultivo de *Oreochromis niloticus* y el periodo de toma de muestras (Inicio y final).

Densidad	OD (mg/L)	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	TDS (ppm)	TEMP($^{\circ}\text{C}$)
Factor A: Densidad					
180 peces/m ³	5.68 a	8.05 b	548.33 a	325.00	24.66
250 peces/m ³	5.24 b	7.80 a	568.33 a	336.67	24.70
320 peces/m ³	5.27 b	7.80 a	575.00 a	343.33	24.60
Factor B: Periodo					
Inicio	5.56 a	8.00 a	367.78 b	240.00 b	24.57 b
Final	5.24 b	7.77 b	760.00 a	430.00 a	24.74 a
cv. %	3.74	1.94	6.19	4.34	0.57
p-valor					
Densidad	0.004	0.022	0.414	0.128	0.483
Periodo	0.006	0.007	0.001	0.001	0.023
Inter. D X P	0.003	0.188	0.344	0.051	0.713

Letras diferentes en columna para cada factor muestra diferencia estadística (Duncan: 0.05)

En la Tabla 8, se muestra la interacción entre los factores estudiados (densidad de peces y periodo) donde se observa que a menor densidad y en el periodo final el oxígeno disuelto es mayor esto debido a que en los estanques donde haya mayor densidad de peces habrá mayor consumo de oxígeno, tal como lo menciona Rakocy *et. al.* (2006) factores como la respiración celular, el proceso de oxidación de las bacterias nitrificantes y la absorción del oxígeno por parte de la región radicular de la albahaca consumen considerables cantidades de oxígeno en los procesos de transformación química.

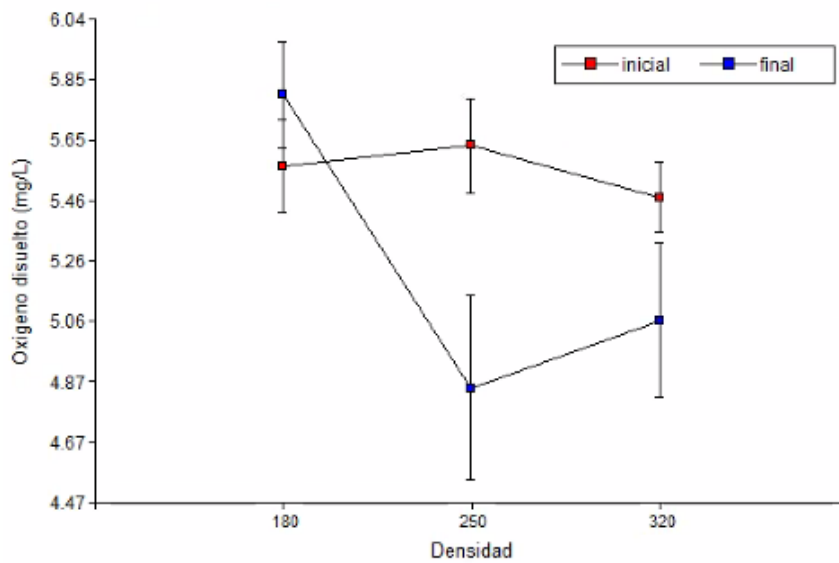
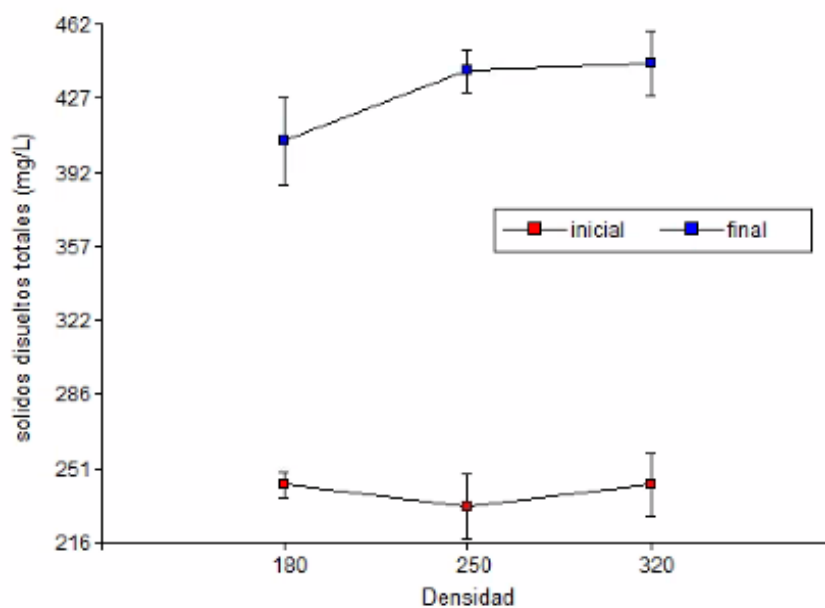
Con respecto al parámetro Sólidos disueltos totales (TDS) se observa un mayor valor en la mayor densidad de peces en el periodo final, esto debido al igual que en la conductividad eléctrica la mayor densidad de peces suele incrementar el nivel de TDS (Reyes *et.al.*, 2016), además de la estrecha relación que hay entre ambos ya que si sube la conductividad eléctrica también suele incrementar la cantidad de sustancias disueltas en el agua.

Tabla 8. Interacciones entre la densidad y el periodo de toma de muestra para el oxígeno disuelto y TDS

Densidad	180 peces/m ³	250 peces/m ³	320 peces/m ³
Oxígeno disuelto			
Inicial	5.57	5.63 A	5.47
Final	5.80 a	4.85 b B	5.07 b
TDS			
Inicial	243.33 B	233.33 B	243.33 B
Final	406.67 b A	440.00 a A	443.33 a A

Letras minúsculas diferentes en fila muestra diferencia estadística (Duncan: 0.05)

Letras mayúsculas diferentes en columna para cada variable muestran diferencia estadística (Duncan: 0.05).

**Figura 6.** Interacción entre la densidad y el periodo para el parámetro oxígeno disuelto**Figura 7.** Interacción entre la densidad y el periodo para el parámetro sólidos disueltos totales

En la Tabla 9, se muestra el análisis de varianza de los compuestos nitrogenados donde se observa que en el factor densidad hubo diferencia estadística para el nitrito, en cuanto al factor periodo se obtuvo diferencia estadística en los parámetros nitrito y nitrato. En cuanto a la interacción se observa diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) en el nitrito.

En cuanto al amoníaco para el factor densidad y periodo se reportó valores que no superaran el rango recomendado por Colorado y Ospina (2019), los cuales mencionan que la tilapia tolera niveles de amoníaco de 0.6 a 2.0 mg/L; en el caso de los vegetales niveles superiores a 3mg/L puede producir un crecimiento más débil y un estiramiento menor de los tallos. Los niveles óptimos de amoníaco presentados en el sistema se pueden deber a que la transformación de amonio a nitrito por parte de las bacterias nitrosomonas está siendo eficiente.

Para el nitrito en el factor densidad se obtuvo valores de 0.20 mg/L (180 peces/m³), 0.27 mg/L (250 peces/m³) y 0.30 mg/L (320 peces/m³) observando que existe una mayor acumulación de nitrito en la mayor densidad de peces, así mismo en el factor periodo se obtuvo mayor valor al finalizar el experimento. Los datos reportados se encuentran dentro del rango recomendado por la FAO (2014) para plantas, peces y bacterias, pero superan lo recomendado por Saavedra (2004) el cual menciona que los niveles de nitrito se deben mantener en un rango óptimo de 0.1 mg/L para no afectar a los peces ya que niveles superiores puede causar hipoxia en los peces ocasionando en ciertos casos la muerte. El incremento del nitrito en el sistema se pudo deber a la acumulación de sólidos en el biofiltro

Para el nitrato en el factor densidad se obtuvo valores de 15 mg/L, 18.33 mg/L y 16.67 mg/L para 180 peces/m³, 250 peces/m³ y 320 peces/m³ respectivamente, en cuanto al factor momento se obtuvo mejores resultados al finalizar el experimento. Los niveles reportados se encuentran dentro del rango recomendado Bañuelos (2017), el cual menciona que se debe mantener niveles inferiores a 250 mg/L para evitar afectaciones en los vegetales, así mismo los niveles de nitrato son inferiores a lo reportado por Pandales y Santos (2017) en su investigación con albahaca en acuaponía. Es importante mantener niveles óptimos de nitratos para el adecuado desarrollo de la planta, a su vez el incremento de este parámetro al finalizar el experimento nos indica que se está desarrollando de manera adecuada el proceso de nitrificación.

Tabla 9. Compuestos nitrogenados del agua de los estanques, en función de la densidad de cultivo de *Oreochromis niloticus* y el periodo de toma de muestras (Inicio y final).

Densidad	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
Factor A: Densidad			
180 peces/m ³	0.25	0.20 b	15.00 a
250 peces/m ³	1.50	0.27 a	18.33 a
320 peces/m ³	1.50	0.30 a	16.67 a
Factor B: Periodo			
Inicio	0.00	0.00 b	0.00 a
Final	0.50	0.51 a	33.33 b
CV, %	0.00	18.45	20.00
p-valor			
Densidad	-	0.009	0.262
Periodo	-	0.001	0.001
Inter. D X P	-	0.009	0.262

Letras diferentes en columna para cada factor muestra diferencia estadística (Duncan: 0.05)

NH₃: Amoniac, NO₂⁻: Nitrito, NO₃⁻: Nitrato

En la Tabla 10 se muestra la interacción entre los factores densidad de peces y periodo donde se observa que a una densidad de 250 peces/m³ el nitrito es mayor, esto se pudo deber a que en el tratamiento 2 (250 peces/m³) hay mayor concentración de amoniac a causa de las excretas de los peces a comparación del tratamiento 1 (180 peces/m³).

Tabla 10. Interacción del nitrito (NO₂-)

Densidad	180 peces/m ³	250 peces/m ³	320 peces/m ³
Nitrito (mg/L)			
Inicial	0.00 B	0.00 B	0.00
Final	0.40 bA	0.53 aA	0.00 a

Letras minúsculas diferentes en fila muestra diferencia estadística (Duncan: 0.05)

Letras mayúsculas diferentes en columna para cada variable muestran diferencia estadística (Duncan: 0.05).

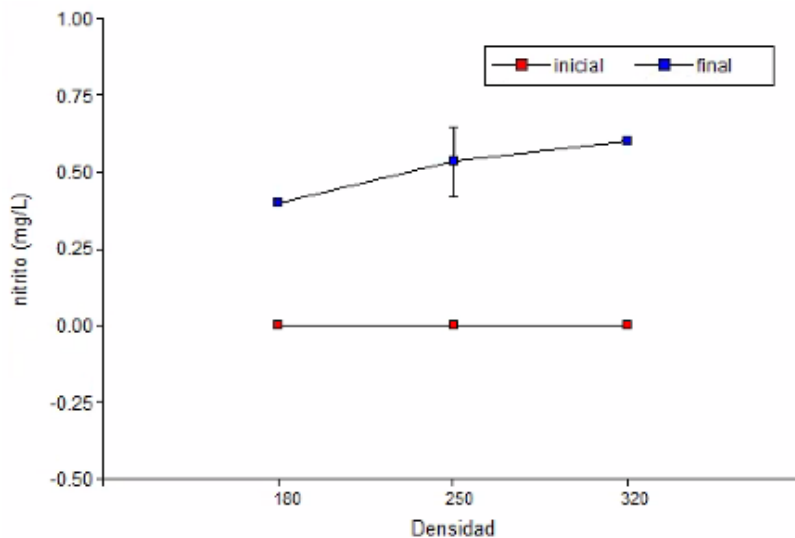


Figura 8. Interacción entre la densidad y el periodo para el nitrito

V. CONCLUSIONES

Se estimó la concentración de nitrógeno y fosforo con tres densidades de tilapia en el sistema acuapónico donde la concentración de estos nutrientes fue influenciada directamente por la densidad de peces, obteniendo mayores valores en la mayor densidad de peces.

Se determinó las características agronómicas de la albahaca donde hubo una relación directa con la densidad de peces, reflejando que a mayor densidad de tilapias hay un mayor desarrollo agronómico de la albahaca.

Se determinó la absorción de nitrógeno y fosforo mediante el uso de la albahaca en el sistema acuapónico con tres densidades de tilapia, donde hubo una respuesta significativa en la absorción de nitrógeno, pero no en la absorción de fosforo con respecto a la densidad de peces, así mismo a menor densidad de peces hubo mayor absorción de estos nutrientes.

La calidad de agua en el sistema acuapónico estuvo influenciada por el periodo y la densidad de peces mostrando diferencia estadística significativa, donde los parámetros estuvieron dentro del rango recomendado, pero mostrando una tendencia a ser cambiante mientras se incrementa la densidad y el periodo de cultivo.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

Desarrollar investigaciones en cuanto a métodos para la prevención de enfermedades en peces y plantas en sistemas acuapónicos.

Realizar investigaciones en cuanto a la adición de nutrientes para evitar deficiencias en las plantas en un sistema acuapónico.

Desarrollar estudios sobre la población bacteriana en los biofiltros de los sistemas acuapónicos.

Plantear proyectos que apunten hacia la implementación de sistemas acuapónicos en zonas rurales o en zonas urbanas con espacios limitados, permitiendo la producción de peces y plantas para el consumo y comercialización contribuyendo así en la economía familiar de la región.

Implementar sistemas en donde se cambie la producción intensiva de peces por extensiva construyendo sistemas productivos más sostenibles como el sistema acuapónico, en donde la albahaca funciona tuvo buenos rendimientos en la absorción de nitrógeno y fosforo a nivel de Tingo María.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albrizo, R., Steduto, P. (2005). Resource use efficiency of field – grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea radiation use efficiency. *Rev. Agriculture Meteorol.* 130 (4): 254 – 268
- Alcocer, P. (2017). Diseño y construcción de dos sistemas acuapónicos horizontales para la producción conjunta de peces dorados y lechugas. [Tesis de grado, Universidad de Sevilla].
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/63802/TFG%20DISE%20DIO%20Y%20CONS%20TRUCCI%20D3N%20DE%20DOS%20SISTEMAS%20ACUAP%20D3NICOS%20HORIZ%20ONTALES%20PARA%20LA%20PRODUCCI%20D3N%20CONJUNTA%20DE%20PECES%20DORADOS%20Y%20LECHUGAS.pdf?sequence=2>
- Alcón, S. (2019). Comportamiento productivo de dos variedades de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) con dos densidades de siembra en ambientes atemperados en la localidad de Viacha- departamento de La Paz. [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés- Bolivia]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/23466/T-2710.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alicia, G., Ana, V. (2009). Uso de la rizo filtración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuración que contienen cromo, cobre y cadmio. *Rev. Latinoamericana de Metalurgia y Materiales.* 1(2):1-10
- Barba, P., Cortez, V. (2019). Estudio de la dinámica del nitrógeno amoniacal en contacto con diferentes sistemas acondicionados en laboratorio, Cajamarca-2018. [Tesis de grado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello]. Repositorio institucional.
<http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/869/1.%20Informe%20de%20tesis%20Mishel%20Barba%20Eliana%20Cortez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bañuelos, J. (2017). Acuaponía, parámetros básicos de diseño. [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México]. Repositorio institucional.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8341/JOSE%20ROBERTO%20BA%20C3%2091UELOS%20JAUREGUI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bernal, A., Deroncele, C.R., Días, P.T. (2012). Registro de plagas de albahaca blanca (*Ocimum basilicum*) bajo condiciones de cultivo protegido. *Redalyc. Fito sanidad.* 16(2):1-4.
- Bustamante, O. (2019). Multiplicación de micorrizas en tres diferentes sustratos en simbiosis con plantas trampa de sorgo (*Sorghum bicolor L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) en condiciones de invernadero. [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3680/1/T-UTEQ-0171.pdf>
- Casas, D. (2008). Sistema de recirculación de agua para la cría intensiva de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). [Tesis de grado, Universidad Centro Occidental, Venezuela].

- Calvo, G. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. Rev. Universidad de Salamanca. 1(3):1-14.
- Callejas, Z., Pulgarín, R. (2021). Diseño y evaluación de un sistema acuapónico como estrategia de seguridad alimentaria en zonas urbanas deprimidas en Pereira, Risaralda. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio UTP. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/2133/TS_ELRM_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Campos, P., Alonso, L., Avalos, C., Asiain, H. y Lorenzo, R. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 1(5): 939-950.
- Carrasco, G.; Izquierdo, J. (1996). La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Manual técnico. Universidad de Talca. https://www.researchgate.net/publication/277012808_La_empresa_hidroponica_de_mediana_escalala_tecnica_de_la_solucion_nutritiva_recirculante_NFT
- Coaguila, A. (2021). Absorción de nutrientes y acumulación de sólidos totales en cebolla china *Allium cepa* var. *Aggregatum* cv. 'Criolla Limeña', con tres niveles de abonamiento, en zona árida. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12980/IAcoapjf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Colagrosso, A. (2015). Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala. <https://silo.tips/download/instalacion-y-manejo-de-sistemas-de-cultivo-acuaponicos-a-pequea-escala>.
- Colorado, G., Ospina, C. (2019). La acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz. Centro de Biotecnología agropecuaria.
- Coraspe, L., Takashi M., Ide, F., Contreras, E.F., Ocheuze, T.P. (2009). Absorción de formas de nitrógeno amoniacal y nítrica por plantas de papa en la producción de tubérculo - semilla. Rev. Agronomía tropical. 59(1): 1-7.
- Delgado, G. (2020). Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*) en acuaponía. [tesis maestría, Universidad Nacional Agraria de la Molina, Perú]. Repositorio institucional. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4446/delgado-gavilano-nella.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Delgadillo, L., Gonzales, R.C., Prieto, G.F., Villagómez, I.J., Acevedo, S.O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Rev. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 14(2): 1-16.

- Días, L. (2018). Fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) en zonas áridas. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9373/AGdiladae.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Edinson, W., Moreno, S. y Alina, Z. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. Revista científica de la Facultad de Ciencias Biológicas. 34 (2): 60-72.
- Egna, H., Boyd, C. (1997). Dynamics of Pond Aquaculture. Edit. CRC Press
- Espinosa, M. (2015). Producción de tres especies de herbáceas utilizadas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos para la producción intensiva de tilapias (*Oreochromis niloticus Var. Stirling*). [Tesis de Maestría] Universidad de Guanajuato. México.
- FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming. food and agriculture organization of the United Nations Rome. <https://www.fao.org/in-action/globefish/publications/details-publication/en/c/338354/>
- Fernández, M. (2007). Fosforo amigo o enemigo. Rev. ICIDCA. 41(2): 1-8.
- Fimbres, A. (2015). Caracterización de los nutrientes de interés hidropónico contenidos en la fracción particulada residual de cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*). [Tesis maestría, centro de investigaciones biológicas de Noreste, S.C.]. Repositorio institucional. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/115/1/fimbres_y.pdf
- FONDEPES. (2004). Manual de cultivo de tilapia. Editor, Alfredo R. palomino Ramos. 1ra edición. Perú. 112 p.
- Hernández. Z. (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 de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62954>
- Hernández, J. (2010). Aceite de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) y su potencial de producción sustentable para uso medicinal. [Tesis de grado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México]. Repositorio institucional. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2418/JORGE%20LUIS%20HERNANDEZ%20REYES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, G. (2016). Caracterización de la calidad de agua en un sistema intensivo de cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, en condiciones de alta salinidad con recambio de agua limitado. [Tesis de grado. Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz]. Repositorio institucional. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/42/1/hernandez_j.pdf

- Imbaquingo, U., Mendoza, C. (2018). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua almacenada en cisternas en la escuela politécnica nacional. [Tesis de grado. Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz]. Repositorio institucional.
- Jaimes, T. (2019). Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (NFT) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en la estación experimental Patacamaya la paz. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito]. Repositorio institucional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19786/1/CD-9196.pdf>
- 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>
- Jover, C. (2000). Estimación del crecimiento, tasa de alimentación y producción de desechos en piscicultura mediante un modelo bioenergético. Rev. AquaTIC. 1(9): 1-11.
- López, M., Gallegos, M., Pérez, F., Gutiérrez, R. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticos. Rev. Internacional de Contaminación. Ambiental. 21 (2) 91-100.
- Mamani, C. (2021). Evaluación de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) en tres soluciones nutritivas en sistema hidropónico de raíz flotante en el municipio de el Alto. [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/26202/T-2916.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Mendiola, G. (2015). Evaluación de la capacidad de remoción de compuestos nitrogenados y fosfatos utilizando diferentes sustratos en los filtros biológicos de sistemas acuapónicos. [Tesis de grado, Universidad de Guanajuato, México].
- Merlín, C., Martínez, Y. (2015). Capacidad de absorción de nitratos de plantas acuáticas cultivadas en acuaponía. Rev. Divulgación científica. 1(2): 1-5.
- Morales, R., Escalante, E., López, S. (2007). Producción de biomasa y rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus L.*) - frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en función del nitrógeno y fosforo. Rev. Ciencia ergo sum. 14(2): 1-8.
- Morán, C. (2020). Estimación de curvas de absorción de nutrientes para el cultivo de maíz híbrido (*Zea mays*), en tres zonas productoras de la provincia de Los Ríos. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador]. Repositorio institucional. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8409/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000266.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nelson, R. (2008). Aquaponic Food Production, Raising fish and plants for food and profit. Copyright.
- Novoa, M., Miranda, D., Melgarejo, L. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fosforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). Rev. Colombiana de ciencias hortícolas. 12(2):1-15.

- Pandales, B., Santos, C. (2017). Evaluación de desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) bajo condiciones de invernadero como una alternativa de producción limpia. [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia]. Repositorio institucional. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16213/PANDALESBECER_RALUISAUGUSTO2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chacón, R., Ramos, Z. (2019). Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión].
- Paredes, S. (2015). Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua). [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Pesantez, V. (2014). Estudio del proceso de depuración de aguas residuales industriales provenientes de empresas mineras. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca – Ecuador]. Repositorio institucional. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20202/1/TESIS.pdf>
- Pilco, V. (2015). Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de *Piaractus brachyomus* “Paco” en un sistema acuapónico super intensivo en el IESPPB. [Tesis de grado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unia.edu.pe/bitstream/unia/109/1/TESIS%20DE%20SISTEMA%20A%20CUAPONICO.pdf>
- Porteros, J. (2019). Crecimiento de *Oreochromis niloticus* “tilapia nilótica” etapa de levante cultivada a dos densidades en San Juan de Curumuy. 2018. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1494/BIO-POR-JUA-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quenta, C. (2020). Evaluación de dos variedades de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) en sistema hidropónico recirculante NFT en el municipio de Pucarani – La Paz. [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/24910/T-2778.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rakocy J., Masser M., Losordo T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. *Southern Regional Aquaculture Center (SRAC)*. Publication N° 454. https://www.researchgate.net/publication/284496499_Recirculating_aquaculture_tank_production_systems_Aquaponics-Integrating_fish_and_plant_culture
- Reyes, F., Sandoval, V., Rodríguez, M., Trejo, T., Sánchez, E., Reta, M. (2016). Concentración de nutrientes en efluente acuapónico para producción de *Solanum lycopersicum L.* *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 1(17): 1-15.

- Resh, H. (2001). Cultivos Hidropónicos: Nuevas Técnicas de Producción. Edit. Mundi prensa.
- Rondán, A. (2013). Propagación sexual y asexual de la Erythrina (*Erythrina poeppigiana* (Walpes y Cook)) en dos tipos de sustratos y su relación con la inoculación simbiótica en Tingo María. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/157/AGR-600.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ronzón, O., Hernández, V., Pérez, R. (2012). Producción hidropónica y acuapónica de albahaca (*Ocimum basilicum*) y langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*). Redalyc. 15(2), 1-10.
- Saavedra, M. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. USAID. Nicaragua. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Sanabria, P. (2021). Rapidez de transferencia de oxígeno por aireación de agua residual, en un contactor rotativo circular. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6884/T010_41278742_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Savidov, N. (2004). Evaluation and Development of Aquaponics Production and Product Market Capabilities in Alberta. Ids Initiatives Fund Final Report. Project #679056201
- Sabwa, A. J., Manyala, O. J., Mases, 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>
- Silva, R. (2015). Sistemas de siembra de albahaca (*Ocimum basilicum* L. var *Genovesa*) para industrialización bajo riego a goteo en zonas áridas – La Joya. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1783/AGsiropc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. FAO. <https://www.fao.org/3/i4021es/i4021es.pdf>
- Suarez, C., Lobillo, E., Fernández, C., Quevedo, R., Pérez, U. (2021). Polyculture production of vegetables and red hybrid tilapia for self-consumption by means of micro-scale aquaponic systems. Science Direct. 95 (1): 1-11.
- Tapia, D. (2018). Rediseño de reactores acuapónicos unifamiliares para el autoconsumo. [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK, Quito]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3090/1/TESIS%20Final%20corregida%20%20ACUAPONIA%20TAPIA%202018.pdf>

- Teng, Y., Hye-ji, K. (2020). Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Sciendirect. EE.UU.* 274(1):1-15.
- Torrez, G. (2014). Evaluación del rendimiento de dos variedades de albahaca (*Ocimum basilicum*) hasta la etapa comercial con relación a la biofertilización en carpa solar. [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5614/T-2030.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ulloa, G. (2019). Determinación fisicoquímica del agua potable que se consume en el campus universitario de la Universidad Nacional de Trujillo - Departamento "La Libertad"- Perú. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/15771/Ulloa%20Guevara%20Rosa%20Teresa.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Ulloa, T. (2015). El efecto de dos porcentajes de recirculación de agua en el cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio institucional. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2009/1/CD681_TESIS.pdf
- Valeria, F. (2003). Fichas de cultivo de especies aromáticas tradicionales. INIA-Las brujas. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8778/1/Fpta-11-p.205-225.pdf>
- Word Renew y Diaconia Nacional. 2020. Manual técnico de Acuaponía. Chauloteca. 110p.
- Zuluaga, G., Martínez, Y. (2017). Capacidad de absorción de amonio de plantas acuáticas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos. *Rev. divulgación científica.* 3(2): 1-5.

ANEXOS

Apéndice 1. Cuadros y resultados de laboratorio

Anexo A. Parámetros de calidad de agua subterránea

Parámetro	Valores
Oxígeno disuelto	5.58 mg/L
pH	7.3
Dureza	300 mg/L CaCo
Temperatura	22.4 °C
Caudal	94.7 l/h
Conductividad eléctrica	364.73 μ s/cm
TDS	239.27 ppm

Anexo B. Resultados de laboratorio de nitrógeno (N) y fósforo (P₂O₅)



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - Celular 944407531
analisisde@sua.unas.edu.pe



ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:			AGUIRRE GOMEZ FIORELLA MARILU				PROCEDENCIA				FACULTAD DE ZOOTECNIA UNAS - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO							
DATOS DE LA MUESTRA			ANÁLISIS PROXIMAL								RESULTADOS EN BASE SECA							
			Humedad Hd (%)	EN BASE HUMEDA MATERIA SECA		EN BASE SECA		PORCENTAJE (%)				PARTES POR MILLON (ppm)						
Código	REFERENCIA	Materia Orgánica (%)		Cenizas (%)	Materia Orgánica (%)	Cenizas (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Ca ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm		
M 133	FOLIARES	T1 INICIAL	---	---	---	---	3.18	0.68	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 134	FOLIARES	T2 INICIAL	---	---	---	---	3.30	0.81	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 135	FOLIARES	T3 INICIAL	---	---	---	---	3.35	0.80	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 136	FOLIARES	T1R1	---	---	---	---	2.51	0.44	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 137	FOLIARES	T1R2	---	---	---	---	2.63	0.51	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 138	FOLIARES	T1R3	---	---	---	---	3.07	0.36	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 139	FOLIARES	T2R1	---	---	---	---	2.85	0.54	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 140	FOLIARES	T2R2	---	---	---	---	2.63	0.50	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 141	FOLIARES	T2R3	---	---	---	---	3.35	0.46	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 142	FOLIARES	T3R1	---	---	---	---	2.68	0.70	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 143	FOLIARES	T3R2	---	---	---	---	2.63	0.58	---	---	---	---	---	---	---	---		
M 144	FOLIARES	T3R3	---	---	---	---	2.80	0.60	---	---	---	---	---	---	---	---		

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-625902

Tingo María 30 de junio 2021

[Firma]
 AGUIRRE GOMEZ FIORELLA MARILU



NINGUN VALOR NO DETECTABLE

Anexo C. Cálculo del porcentaje de absorción de nitrógeno (N) y fosforo (P)

Tratamiento (peces/m ³)	Repetición	Peso fresco inicial de la albahaca (PFI) (g)	Materia seca inicial de la albahaca (MSI) (%)	(1): Peso inicial de la albahaca teniendo en cuenta el %ms (g)	Peso fresco final de la albahaca (PFF) (g)	Materia seca final de la albahaca (MSF) (%)	(2): Peso final de la albahaca teniendo en cuenta el %ms (g)	(3): Peso total de la albahaca teniendo en cuenta el %ms (g)	Porcentaje de nitrógeno en la albahaca reportado en laboratorio (%N.L)	Porcentaje de fosforo en la albahaca reportado en laboratorio (%P.L)	(4): Nitrógeno contenido en la albahaca (g)	(5): Fosforo contenido en la albahaca (g)
180	T1R1	48.00	8.24	3.96	912.80	7.43	67.82	63.86	2.51	0.19	1.58	0.12
180	T1R2	50.10	8.24	4.13	646.50	6.97	45.07	40.94	2.63	0.22	1.05	0.09
180	T1R3	50.80	8.24	4.19	807.00	7.20	58.10	53.92	2.57	0.16	2.45	0.12
250	T2R1	51.60	7.84	4.05	915.52	7.92	72.54	68.49	2.85	0.24	1.93	0.16
250	T2R2	53.40	7.84	4.19	801.36	7.33	58.74	54.55	2.63	0.22	1.41	0.11
250	T2R3	51.70	7.84	4.05	805.34	5.98	48.17	44.11	3.35	0.20	1.48	0.08
320	T3R1	52.80	8.24	4.35	860.14	7.36	63.26	58.91	2.68	0.31	1.55	0.18
320	T3R2	54.40	8.24	4.48	877.50	8.90	78.08	73.60	2.63	0.25	1.90	0.18
320	T3R3	54.50	8.24	4.49	989.00	7.92	78.36	73.87	2.80	0.26	2.04	0.19

Nitrógeno total que ingreso por el alimento (N.A) (g)	Fosforo total que ingreso por el alimento (P.A) (g)	(6): Nitrógeno ingresado por el alimento teniendo en cuenta lo asimilado por el pez (25%) (g)	(7): Fosforo ingresado por el alimento teniendo en cuenta lo asimilado por el pez (29%) (g)	Porcentaje de absorción de nitrógeno (%R. N)	Porcentaje de absorción de fosforo (%R.P)
11.34	1.23	8.50	0.87	18.54	13.56
11.77	1.28	8.83	0.91	11.94	9.71
11.24	1.22	8.43	0.87	29.09	13.84
16.22	1.76	12.17	1.25	15.89	12.53
14.99	1.63	11.24	1.16	12.52	9.82
15.55	1.69	11.67	1.20	12.69	6.87
19.94	2.16	14.95	1.54	10.36	11.60
18.60	2.02	13.95	1.43	13.65	12.70
19.00	2.06	14.25	1.46	14.34	12.95

*Tener en cuenta que la retención de nitrógeno por el pez es de 25 % y de 29% en fosforo (Jover,2000)

$$(1) = \frac{MSI \times PFI}{100}$$

$$(6) = N.A - (N.A \times 0.25)$$

$$(2) = \frac{MSF \times PFF}{100}$$

$$(7) = P.A - (P2O5.A \times 0.29)$$

$$(3) = (2) - (1)$$

$$\% \text{ Absorción de Nitrogeno} = \frac{((6) - ((6) - (4)))}{(6)} \times 100$$

$$(4) = \frac{\%N.L \times (3)}{100}$$

$$\% \text{ Absorción de Fosforo} = \frac{((7) - ((7) - (5)))}{(7)} \times 100$$

$$(5) = \frac{\%P.L \times (3)}{100}$$

--	--	--	--	--	--

Anexo D. Valores promedio de las características agronómicas

Tratamiento (peces/m³)	Repetición	Numero de hojas	Altura (cm)	Área foliar (dm²)	Peso (g)	Volumen radicular (cm³)
180	T1R1	8.78	48.85	3.04	48.04	2.77
180	T1R2	8.78	43.42	3.06	33.13	2.47
180	T1R3	8.56	41.59	2.81	42.01	2.18
250	T2R1	9.89	50.12	4.08	48.00	1.53
250	T2R2	9.61	42.66	3.79	41.55	2.68
250	T2R3	7.33	46.56	3.84	41.87	3.35
320	T3R1	8.78	49.05	5.12	44.85	1.83
320	T3R2	9.39	47.41	4.96	45.73	3.24
320	T3R3	9.22	51.79	5.14	51.92	4.64

Anexo E. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos

Densidad (peces/m³)	Periodo	Repetición	OD (mg/L)	pH	CE (µs/cm)	TDS (ppm)	TEMP. (°C)
180	Inicial	T1R1	5.4	8	380	240	24.4
180	Inicial	T1R2	5.7	8.2	370	250	24.5
180	Inicial	T1R3	5.6	8	360	240	24.7
180	Final	T1R1	6	8	660	400	24.85
180	Final	T1R2	5.7	8	790	430	24.75
180	Final	T1R3	5.7	8.1	730	390	24.75
250	Inicial	T1R1	5.5	8.1	370	220	24.75
250	Inicial	T1R2	5.8	7.9	370	230	24.75
250	Inicial	T1R3	5.6	7.9	350	250	24.4
250	Final	T1R1	5.04	7.9	790	440	24.80
250	Final	T1R2	5	7.7	730	430	24.75
250	Final	T1R3	4.5	7.3	800	450	24.75
320	Inicial	T1R1	5.6	8	380	240	24.7
320	Inicial	T1R2	5.4	8	360	230	24.6
320	Inicial	T1R3	5.4	7.9	370	260	24.3
320	Final	T1R1	5.1	7.7	750	430	24.65
320	Final	T1R2	5.3	7.7	770	460	24.75
320	Final	T1R3	4.8	7.5	820	440	24.60

Compuestos nitrogenados				
Densidad (peces/m ³)	Periodo	Amoniaco (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)
180	Inicial	0.00	0.00	0.00
180	Inicial	0.00	0.00	0.00
180	Inicial	0.00	0.00	0.00
180	Final	0.50	0.40	30.00
180	Final	0.50	0.40	30.00
180	Final	0.50	0.40	30.00
250	Inicial	0.00	0.00	0.00
250	Inicial	0.00	0.00	0.00
250	Inicial	0.00	0.00	0.00
250	Final	0.50	0.40	30.00
250	Final	0.50	0.60	40.00
250	Final	0.50	0.60	40.00
320	Inicial	0.00	0.00	0.00
320	Inicial	0.00	0.00	0.00
320	Inicial	0.00	0.00	0.00
320	Final	0.50	0.60	40.00
320	Final	0.50	0.60	30.00
320	Final	0.50	0.60	30.00

Apéndice 2. Galería de fotos



Figura 9. Construcción del sistema acuapónico



Figura 10. Instalación del sistema acuapónico



Figura 11. Conexión del agua subterránea



Figura 12. Selección de grava apta para el filtro biológico

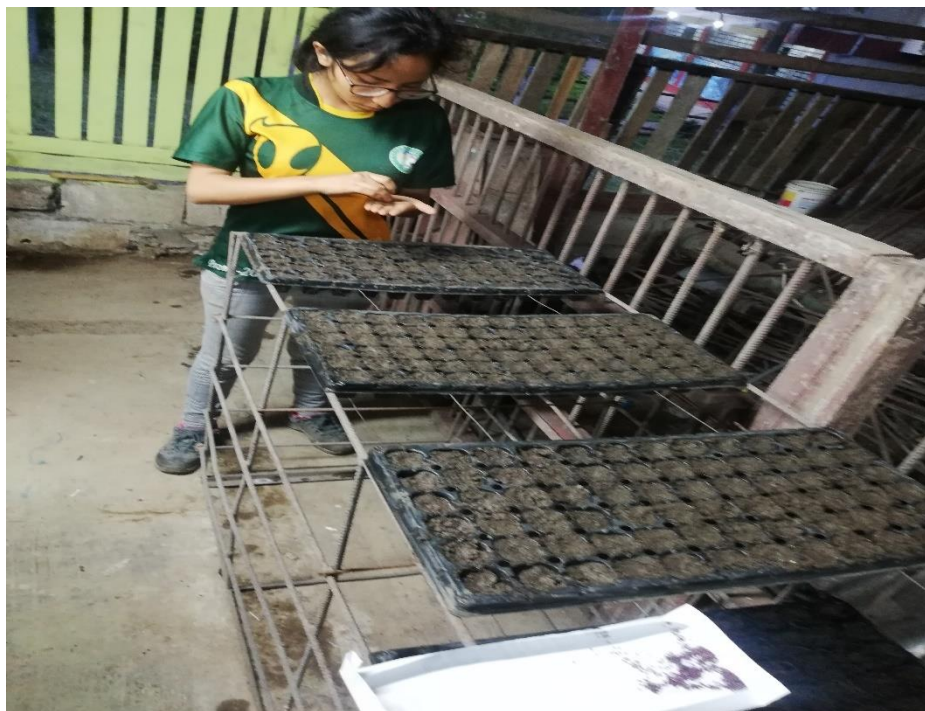


Figura 13. Germinación de semillas de albahaca



Figura 14. Recolección de alevinos de tilapia



Figura 15. Recolección de datos iniciales y la selección de plantines para su evaluación en laboratorio



Figura 16. Colocando plantines de albahaca en las camas hidropónicas



Figura 17. Medición de parámetros fisicoquímicos



Figura 18. Medición de compuestos nitrogenados



Figura 19. Medición de características agronómicas



Figura 20. Recolección de datos finales