

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de ingeniería ambiental



Una Institución Adventista

Eficiencia en la remoción de nitratos utilizando cuatro tipos de plantas en un sistema acuapónico

Tesis para obtener el Título Profesional de ingeniero ambiental

Autor:

José Carlos Gamarra Alcántara
Rosario Verónica Gamarra Alcántara
Einer Mija Huamán

Asesor:

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

Lima, junio 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Hugo Fernández Rojas, de la Facultad de ingeniería y arquitectura Escuela Profesional de ingeniería ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **Eficiencia en la remoción de nitratos utilizando cuatro tipos de plantas en un sistema acuapónico**” constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) José Carlos Gamarra Alcántara, Rosario Verónica Gamarra Alcántara y Einer Mija Huamán para obtener el título de Profesional de ingeniero ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 7 días del mes de junio del año 2021



Mag Joel Hugo Fernandez Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 11 días día(s) del mes de mayo del año 2021 siendo las 08:30 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodriguez, el secretario: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, y los demás miembros: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio** y el **Ing. Orlando Alan Poma Porras** y el asesor: Mg. Joel Hugo Fernández Rojas, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Eficiencia en la remoción de nitratos utilizando cuatro tipos de plantas en un sistema acuapónico"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **JOSE CARLOS GAMARRA ALCANTARA**

.....b) **EINER MIJA HUAMAN**

.....c) **ROSARIO VERONICA GAMARRA ALCANTARA**

.conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **JOSE CARLOS GAMARRA ALCANTARA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): **EINER MIJA HUAMAN**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (c): **ROSARIO VERONICA GAMARRA ALCANTARA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Iliana del Carmen
Gutierrez Rodriguez

Asesor
Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Candidato/a (a)
Jose Carlos

Miembro
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio

Candidato/a (b)
Einer

Secretario
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

Miembro
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Candidato/a (c)
Rosario Veronica

Eficiencia en la remoción de nitratos utilizando cuatro tipos de plantas en un sistema acuapónico

Nitrate removal efficiency using four types of plants in an aquaponic system

Gamarra Alcantara José Carlos^{1*}, Mija Huamán Einer², Gamarra Alcantara Rosario Verónica³, Fernández Rojas Joel Hugo⁴

^{1*}Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Lima – Perú. Josecgamarra@upeu.edu.pe, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3383-6547>

²Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Lima – Perú. Einermija@upeu.edu.pe, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1616-0415>

³Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Lima – Perú. Rosarioga@upeu.edu.pe, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0645-5287>

³Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Lima – Perú. hugof@upeu.edu.pe, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1761-2818>

Resumen

El crecimiento acelerado de la acuicultura genera la descarga de aguas residuales cargadas de nutrientes a los cuerpos de agua natural, a menudo generando problemas ambientales como la eutrofización, por ello es esencial su purificación para proteger los ecosistemas acuáticos. La integración de la acuicultura tradicional y la hidroponía es un método de producción ambientalmente amigable, puesto que los desechos generados por los peces sirven de fertilizante a las plantas. El estudio se realizó con la finalidad de evaluar la eficiencia de la albahaca (*Ocimum basilicum*), espinaca (*Spinacia oleracea*), lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino (*Cucumis sativus*) en la remoción de nitratos (NO_3) de las aguas residuales de un criadero de tilapia. Las muestras se analizaron en el laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina utilizando el método de espectroscopia de absorción atómica. Los resultados indican que la especie que demostró mayor eficiencia fue la albahaca con un 83 %, de remoción, seguida por la lechuga con un 80%, pepino 75% y espinaca 73%. La eficiencia de remoción de las especies cultivadas fue directamente proporcional a su desarrollo foliar y radicular. Se concluye que el cultivo de varias especies en un mismo sistema acuapónico es viable siempre en cuando tengan similares requerimientos nutricionales y es una alternativa sostenible para minimizar la eutrofización de cuerpos de agua.

Palabras clave: Acuicultura; Eutrofización; desarrollo sostenible; contaminación; tilapia.

Abstract

The accelerated growth of aquaculture generates the discharge of nutrient-laden wastewater into natural water bodies, often generating environmental problems such as eutrophication, which is why its purification is essential to protect aquatic ecosystems. The integration of traditional aquaculture and hydroponics is an environmentally friendly production method, since the waste generated by the fish serves as fertilizer for the plants. The study was carried out in order to evaluate the efficiency of basil (*Ocimum basilicum*), spinach (*Spinacia oleracea*), lettuce (*Lactuca sativa*) and cucumber (*Cucumis sativus*) in the removal of nitrates (NO_3) from the wastewater of a tilapia farm. The samples were analyzed in the water, soil, environment and fertigation laboratory of the Universidad Nacional Agraria la Molina using the atomic absorption spectroscopy method. The results indicate that the species that showed the highest efficiency was basil with 83% removal, followed by lettuce with 80%, cucumber 75% and spinach 73%. The removal efficiency of the cultivated species was directly proportional to their foliar and root development. It is concluded that the cultivation of several species in the same aquaponic system is viable as long as they have similar nutritional requirements and is a sustainable alternative to minimize the eutrophication of water bodies.

Keywords: Aquaculture; Eutrophication; sustainable development; contamination; tilapia.

1. Introducción

El crecimiento de la acuicultura trajo consigo un impacto ambiental negativo para los ecosistemas acuáticos (Vásquez Quispesivana et al., 2016) ya que generan efluentes cargados de compuestos nitrogenados, fosfatados y materia orgánica que provienen principalmente de las heces y la desintegración de los alimentos, ya que los peces solo pueden absorber entre el 20% y el 30% de los nutrientes que se le suministra, mientras que el resto se excreta al medio ambiente (Effendi et al., 2020), a esto se suman el aumento del uso de productos químicos, el uso insostenible del recurso hídrico que en conjunto contribuyen en gran manera al desarrollo de problemas ambientales como la eutrofización, el cambio climático y desplazamiento de organismos nativos (Bohnes & Laurent, 2021; Diana, 2009).

Los peces excretan amoníaco (NH_3), una sustancia tóxica para los peces en concentraciones elevadas (Wongkiew et al., 2017). En el sistema acuapónico las bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas sp.* y *Nitrobacter sp.*) transforman el NH_3 en nitrito y finalmente en nitrato para poder ser aprovechada por las plantas (Wahyuningsih et al., 2015) es por ello que la integración de un biofiltro en el sistema es fundamental ya que albergará colonias bacterianas que ayudaran a mantener una relación equivalente entre disponibilidad y demanda de nutrientes aprovechables (Ramirez et al., 2009)

La acuaponía combina la hidroponía y la acuicultura en un sistema de producción recirculante, donde las especies vegetales aprovechan los nutrientes provenientes de los desechos del componente animal, actuando como un purificador de agua (Surnar et al., 2015), convirtiéndose así en un sistema sostenible de producción que no genera impactos en el medio ambiente a diferencia de la agricultura tradicional que a menudo es responsable de la presencia de agrotóxicos en el agua y la erosión del suelo (Klotzbücher et al., 2018; Orta, 2002).

La acuaponía fue estudiada durante varias décadas en una extensa diversidad de diseños estructurales y adaptabilidad de especies acuícolas y vegetales, y gran parte de los estudios determinaron la eficiencia en el uso del agua, depuración de las aguas residuales, manejo controlado de los cultivos, ingresos económicos adicionales, reducción de costos de producción para las granjas dedicadas a la acuicultura solamente y facilidad para manejar la calidad del agua (Jiménez Márquez, 2020; Jordan et al., 2018)

Los estudios de la adaptabilidad de distintos organismos acuícolas bajo este sistema destacan el éxito de especies como la trucha, gobio de mármol, langostinos y peces amazónicos, sin embargo, la especie más cultivada debido a su amplia capacidad de adaptación a distintos pisos altitudinales y por su tolerancia a niveles bajos de oxígeno disuelto y concentraciones altas de NH_3 en el agua es la tilapia (Ingle de la Mora et al., 2003), especie que en los últimos años tuvo un crecimiento en la industria acuícola de pequeña y mediana escala (Tveteras et al., 2020). Respecto al componente vegetal se tiene muchos casos de éxito al estudiar monocultivos, sin embargo, existe pocas investigaciones que estudian la adaptabilidad de dos o más especies vegetales en un mismo sistema de recirculación.

La investigación se realizó para evaluar la eficiencia de cuatro especies vegetales comestibles en la remoción de nitratos (NO_3) de las aguas residuales de un criadero de tilapia.

2. Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo de agosto del 2020 a enero del 2021, el módulo

experimental se construyó en la azotea de un edificio en un área de 3 m de largo x 4 m de ancho, en el distrito de Lurigancho, Lima. Localizado en las coordenadas UTM 300102.47 m E y 8674116.06 m S a una altitud de 527 m.s.n.m, el módulo experimental estuvo techada con malla rashell de 90% de cobertura de iluminación. La investigación se llevó a cabo por duplicado.

2.1. Especies experimentales

Componente animal

Se utilizó 50 alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) que fueron adquiridas en un criadero familiar ubicado en la zona de terrazas de Ñaña, Lurigancho, Lima. la longitud media de los peces inicialmente fue de 5 cm y el periodo de adaptación fue de treinta días, al finalizar este tiempo se tuvo una supervivencia del 90%.

Los peces en su criadero original eran alimentados con una dieta cacera (avena, arroz, papa, etc.) por lo tanto durante la experimentación se conservó esa característica, durante la primera experimentación se suministro 400 gramos de alimentos y para la segunda repetición 500 gramos, debido al aumento de tamaño de los peces.

2.1.1. Componente vegetal

Las especies vegetales con la que se realizó el experimento fueron la albahaca (*Ocimum basilicum*), espinaca (*Spinacia oleracea*), lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino (*Cucumis sativus*) cuyas semillas fueron adquiridas en la zona agrícola de terrazas, fueron almacenadas a una profundidad de 2 cm en un sustrato compuesto por 70% de tierra agrícola y 30% de compost, el tiempo de germinación promedio fue de 9 días, y se realizó un riego manual de forma diaria por un periodo de 20 días, antes de ser trasplantadas al sistema acuapónico, para tal fin se seleccionó 20 individuos de cada especie que tenían un tamaño uniforme.

2.2. Construcción del módulo experimental

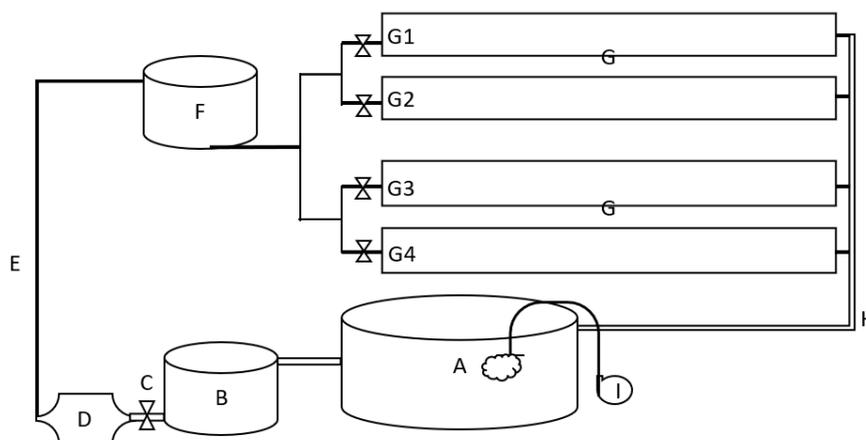


Imagen 1. Esquema de módulo experimental.

El módulo experimental contaba con un tanque de 0.2 m³ (A) destinado para el cultivo de los alevines, un tanque de 50 litros (B) que actuó como sedimentador y un tercer tanque elevado que era el biofiltro (F) y en su interior albergaba tapas de botellas PET para facilitar la colonización de bacterias nitrificantes y garantizar el proceso de nitrificación. El crecimiento vegetal se dio en dos estructuras hidropónicas del tipo piramidal (G) y cada lado albergaba el cultivo de un tipo de hortaliza, se utilizaron tubos de PVC de 2" de diámetro y 1 metro de longitud para la construcción de los canales de cultivo y se destinaron 4 unidades para la siembra de cada especie vegetal, en total se hicieron 5 agujeros de 2" de diámetro con una separación de 20 cm entre agujero y agujero en cada tubo.

Se utilizó una bomba de aire de 3 l/min (I) para una oxigenación constante y para la recirculación se utilizó una bomba de ½ HP (D) el cual se recirculaba 3 veces al día por un periodo de 30 minutos y estaba ubicado entre el tanque (B) y el tanque (F), a partir de este último el agua era distribuido por gravedad a la cama de cultivo de cada especie independientemente, para finalmente por acción de la gravedad desembocar al tanque (A) y de esta forma establecer el ciclo, el sistema contaba con la instalación de llaves de paso (C) para facilitar el control del volumen de agua recirculado.

El agua utilizada para el funcionamiento del módulo experimental era procedente de la red de abastecimiento domiciliar sin ningún tipo de tratamiento extra. Para evitar la disminución del nivel del agua por la evaporación y requerimiento vegetal se abasteció un promedio de 5 litros cada 2 días.

Para la construcción de cada una de las estructuras hidropónicas se utilizó 5 listones de madera de 3 cm x 3 cm x 1.8 m y para el sistema hidráulico se utilizaron 4 metros de tubos de PVC de ½" de diámetro y para la interconexión entre los tubos de cultivo se utilizaron aproximadamente 6 metros de manguera de 0.25 mm.

2.3. Análisis de muestras y recopilación de datos

Las muestras se evaluaron 5 veces durante el cada ciclo de experimentación, la primera se evaluó justo antes de trasplantar las especies vegetales con la intención de verificar la concentración inicial de NO₃ en el criadero de peces, esta muestra fue tomada de la desembocadura del biofiltro (F), la segunda 15 días después del trasplante, la tercera a los 20 días, la cuarta a los 30 y la última a los 45. Las frecuencias de análisis se mantuvieron para ambas repeticiones. En cada una de las fechas descritas se evaluaron la concentración de nitratos utilizando el método de espectroscopia de absorción atómica y el nivel de pH y oxígeno disuelto (OD) ambos bajo el método electrométrico, los ensayos fueron realizados por el laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Las variables claves de este estudio son el tipo de planta, desarrollo de las plantas, así como las características fisicoquímicas en el sistema de recirculación.

En cada una de las fechas de muestreo se observó y recopiló el tamaño de las hojas y/o ramas y el tejido radicular. Se realizó también la medición de la longitud corporal (boca – cola) de los peces y para ambos casos se siguió la técnica empleada por (Valdez et al., 2017)

Para el análisis estadístico se utilizó el software R versión 4.0.3 y para la comparación de medias se utilizó el test Least significant difference (LSD) de Fisher, del paquete estadístico agricolae.

3. Resultados

3.1. Desarrollo de las tilapias

El tamaño promedio alcanzado por las tilapias al finalizar la primera y segunda réplica del experimento fue de 11 centímetros y 15 centímetros respectivamente.

3.2. Desarrollo de especies vegetales

3.2.1. Desarrollo foliar

En los primeros 15 días en el sistema acuapónico todas las especies experimentaron un desarrollo acelerado, especialmente el pepino que debido al mayor tamaño de las semillas y por consiguiente mayor disponibilidad de nutrientes alcanzó un tamaño por encima de las otras especies que demostraron una dinámica similar de crecimiento. El pepino al finalizar los 45 días de experimento aún no había empezado su etapa de floración y alcanzó un tamaño máximo promedio de 47.5 cm.

A partir de los 20 días hasta finalizar el experimento la espinaca mostró una fase estacionaria de crecimiento y se pudo detectar la aparición de hojas nuevas amarillentas en un 60 % de las plantas, sin embargo, el tamaño alcanzado es suficiente para que pueda ser aprovechado para consumo humano.

La albahaca y la lechuga al finalizar el experimento alcanzaron su tamaño comercial (25 cm y 15.5 cm respectivamente) durante todo el experimento presentaron un color verde característico de cada especie y sin signos de enfermedades o anomalías, cabe recalcar que en ambos casos se observó un buen desarrollo del tejido radicular que ayudó a mejorar la asimilación de nutrientes (Tabla 2)

3.2.2. Crecimiento radicular

El pepino fue la especie que más desarrollo radicular tuvo en términos de longitud, llegando a un máximo de 20 cm y 24 cm en el primer y segundo experimento respectivamente, la espinaca por su parte alcanzó un máximo de 10 cm en ambos experimentos, sin embargo, no tuvo un desarrollo pilífero pronunciado, ya que es una característica física de la especie. La longitud máxima de las raíces de la albahaca fue de 10 cm y 12 cm en el primer y segundo experimento respectivamente, y la lechuga alcanzó 12 cm de longitud en el primer experimento y 14 cm en el segundo, cabe destacar que estas dos últimas especies mostraron un mayor volumen y desarrollo pilífero y volumen en las raíces (Tabla 3).

3.3. Remoción de nitratos

En la tabla 1 podemos observar que para el experimento I la concentración inicial de nitratos en el agua era de 2.3 mg/l, y para el experimento II fue 2.6 mg/l, ambas concentraciones se encuentran dentro del rango de condiciones recomendadas para un criadero de peces (Campos-pulido et al., 2013). El aumento del nivel de nitrato se debe al incremento del tamaño de los peces ya que la generación de amoníaco producto de la

actividad metabólica será más elevada debido al aumento de desperdicios de los alimentos suministrados (Wongkiew et al., 2017).

Tabla 1.
Eficiencia de remoción de nitratos.

Eficiencia de remoción de NO₃ (%)				
Experimento 1: [] inicial 2.3 mg/l				
Días	Albahaca	Lechuga	Espinaca	Pepino
15	58	42	47	42
20	60	47	47	43
30	71	64	70	71
45	83	76	71	73
Experimento 2: [] inicial 2.6 mg/l				
Días				
15	54	47	50	48
20	63	52	56	55
30	73	67	72	73
45	83	80	73	75

La albahaca tuvo una remoción del 58%, 60%, 71% y 83 % en el primer experimento y 54 %, 64%, 73% y 83% en el segundo experimento, para ambos casos a los 15, 20, 30 y 45 días de medición respectivamente.

La lechuga por su parte a los 15 días de cultivo en el sistema acuapónico tiene una de las eficiencias más bajas con un 42%, a los 20 días aumenta a un 47% y finalmente a los 30 y 45 días se puede observar un 64% y 76% de remoción respectivamente, en el segundo experimento el comportamiento se mantiene bastante similar llegando a un máximo de remoción de un 80%.

La espinaca en los primeros 15 días de cultivo pudo remover un 47% de nitratos, este valor se mantuvo a los 20 días y finalmente alcanzó una remoción máxima del 71% a los 45 días, en el segundo experimento se observó una remoción del 50 %, 56 %, 72 % y 73% para los 15, 20, 30 y 45 días respectivamente.

Durante el primer experimento el pepino pudo remover el 42%, 43%, 71% y 73% del nivel de nitrato y en el segundo experimento se observó una remoción del 48 %, 55%, 73% y 75% y en ambos casos a los 15, 20, 30 y 45 días de medición respectivamente.

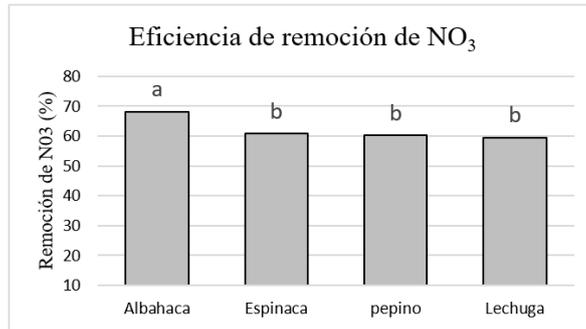


Imagen 2. Comparación de la eficiencia media en la remoción de nitratos por las plantas, los tratamientos con diferentes letras presentan diferencias significativas. $P < 0.05$; $p=0.000338$

En la imagen 2 podemos observar que la espinaca, pepino y lechuga no presentan diferencias significativas al momento de remover la concentración de nitratos en el agua, a diferencia de la albahaca ($p=0.0003$) que destaca entre las demás especies.

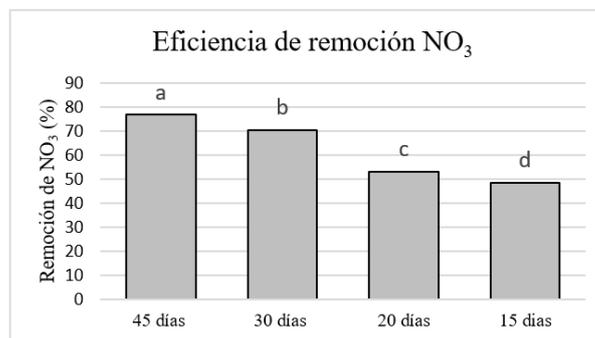


Imagen 3. Comparación de la eficiencia media en la remoción de nitratos respecto al tiempo de cultivo. Los tratamientos con diferentes letras presentan diferencias significativas. $P < 0.05$; $p=4e^{-14}$

La imagen 3 muestra las diferencias de eficiencias de remoción respecto al tiempo de cultivo, podemos destacar que existe una diferencia significativa ($p=0.000$) en los cuatro tiempos de medición, observado una máxima remoción a los 45 días de cultivo.

4. Discusiones

4.1. Componente animal

El tamaño alcanzado por las tilapias durante los experimentos indican un buen funcionamiento del sistema acuapónico, ya que tanto los niveles de compuestos nitrogenados y OD en el agua se encontraron dentro del rango ideal para la acuicultura (Valdez et al., 2017)

4.2. Desarrollo vegetal

4.2.1. Desarrollo foliar y radicular

El tamaño alcanzado por el pepino durante la investigación se asemeja a lo obtenido por (Parra, 2017) quién utilizó similares proporciones entre el componente animal y vegetal, por lo tanto podemos afirmar que esta especie mantiene esta dinámica de crecimiento bajo un sistema acuapónico. Se pudo observar que en ninguna de las repeticiones se experimentó la floración, esto debido a que en esta etapa el pepino requiere de alta concentración de microelementos como (Mg, Fe, Mn, Ca, Cu, Fe, Zn, B, etc.) (Navarrete, 2005), sin embargo, se destaca la presencia de N y P producto de la metabolización de los peces, los principales responsables del desarrollo vegetativo.

La aparición de hojas nuevas amarillentas según (Riaño-Castillo et al., 2019) se debe a la baja disponibilidad de nutrientes en el agua, a esto le añadimos que la estructura radicular de la espinaca no goza de una abundante zona pilífera que juega un rol muy importante al momento de asimilar los nutrientes, la formación de colonias de bacterias nitrificantes y almacenamiento de nutrientes (A. Endut et al., 2011) provenientes del criadero de tilapias.

La albahaca y la lechuga tuvieron un buen desarrollo foliar, cabe señalar que la disponibilidad de macronutrientes provenientes del criadero de tilapias y el buen desarrollo radicular (zona pilífera) fueron clave para que la correcta asimilación de nutrientes.

En el desarrollo radicular de las especies se observó características físicas propias de cada una, la espinaca por ejemplo tuvo un desarrollo longitudinal pero no pilífero ni muchas ramificaciones, el pepino de desataco por la longitud de su estructura radicular a diferencia de las lechugas y la albahaca que experimentaron un desarrollo tanto longitudinal y en volumen puesto que hubo suficiente ramificación en la zona pilífera

4.3. Remoción de nitratos

Las principales fuentes de nitrógeno en la acuaponía es el amonio excretado por los peces y la desintegración de la materia orgánica proveniente de los alimentos suministrados (Effendi et al., 2020), durante el primer experimento la concentración inicial de nitratos fue de 2.3 mg/l, este valor se mantuvo constante durante los primeros 45 días de la investigación, debido a que no se varió la cantidad ni composición de la dieta de los peces. Para la segunda repetición debido a que el tamaño de los peces aumentó y con ello su requerimiento, se agregó un 25% más a su dieta habitual y como era de esperarse la concentración inicial aumentó a 2.6 mg/l, valor que se mantuvo hasta finalizar la investigación.

La eficiencia de remoción de las especies cultivadas es directamente proporcional a la edad de la planta, este patrón se repite en los dos experimentos realizados y se debe principalmente a que conforme aumenten su área foliar tendrán más requerimiento de nutrientes (Espinosa Moya, 2015). La formación del área pilífera de la planta hace que se formen biopelículas y colonias de bacterias nitrificantes responsables de retener los nutrientes y acelerar su absorción por parte de las plantas, en consecuencia (Azizah Endut et al., 2011)

En la investigación se destaca el buen desempeño de la albahaca en la remoción de nitratos, justamente debido a que su desarrollo fue saludable durante todo el ciclo de experimento, la lechuga por su parte también tuvo un buen desarrollo foliar razón por la cual pudo remover hasta un 80% de nitratos.

La espinaca tuvo un desarrollo adecuado los primeros 20 días de cultivo, posteriormente se mantuvo estable hasta finalizar el ciclo de producción, esto debido a que

presentó signos de deficiencia de nutrientes (hojas amarillas), debido a que la estructura radicular de la especie no era favorable para la formación de colonias de bacterias nitrificantes.

El pepino pudo remover un máximo de 73% de nutrientes, cabe destacar que la ausencia de micronutrientes en el agua evitaron la formación de frutos en el pepino, etapa en la cual puede remover del 90% al 100% de nitratos debido a la alta demanda de nutrientes, tal y como lo muestra la investigación realizada por (Cervantes-Santiago et al., 2016)

En cuerpos de agua natural el amonio es convertido rápidamente en nitrato a través de un proceso anaeróbico donde intervienen las bacterias nitrificantes cita, por ello se instaló una bomba de aire para la oxigenación constante, tanto para favorecer el proceso de formación de nitratos y oxigenar las raíces de las plantas.

5. Conclusiones

Durante el experimento 1 y 2 la albahaca y la lechuga lograron un buen desarrollo foliar, logrando ambos alcanzar un tamaño comercial de 25 cm y 16 cm respectivamente, la espinaca alcanzó un máximo de 11 cm de altura y el pepino logro una longitud máxima de 50 cm cabe recalcar que en los 45 días que duro cada experimento no se logró llegar a la etapa de floración y producción.

La capacidad que tiene una especie vegetal para purificar aguas residuales piscícolas con altas concentraciones de nitrato fue directamente proporcional al desarrollo foliar y radicular. Los resultados de la investigación indican que la albahaca fue más eficientes al momento de purificar el agua con una remoción del 83%, asimismo, el desarrollo pilífero de las raíces aumentó la capacidad de retener nutrientes y a la vez ayudar a la formación de colonias de bacterias nitrificantes las cuales ayudan a la transformación del amoniaco NH_3 a nitratos NO_3^- . El cultivo de pepino en el sistema acuapónico presentara deficiencia en su desarrollo debido a que el sistema no cuenta con las concentraciones ideales de micronutrientes que son necesarios para el inicio de la floración y desarrollo del fruto y el adicionarlo al sistema acuapónico podría generar alteraciones en el desarrollo de los peces.

6. Anexos

Tabla 2.

Crecimiento vegetal en las cuatro fechas de medición en ambas repeticiones.

Crecimiento vegetal (cm)				
días	Experimento I			
	Albahaca	Lechuga	Espinaca	Pepino
15	8	6	5	12
20	12	10	9	15
30	17	12	10	30
45	25	16	11	45
días	Experimento II			
	Albahaca	Lechuga	Espinaca	Pepino
15	9	7	6	10
20	11	9	9	15
30	15	13	10	23
45	25	15	10	50

Tabla 3.

Crecimiento radicular durante las cuatro fechas de medición en ambas repeticiones.

Crecimiento radicular (cm)				
días	Experimento I			
	Albahaca	Lechuga	Espinaca	Pepino
15	5	5	6	7
20	7	8	8	10
30	8	8	8	15
45	10	12	10	20
días	Experimento II			
	Albahaca	Lechuga	Espinaca	Pepino
15	4	5	5	8
20	7	8	7	12
30	8	9	7	15
45	12	14	10	24

7. Referencias

- Bohnes, F. A., & Laurent, A. (2021). Environmental impacts of existing and future aquaculture production: Comparison of technologies and feed options in Singapore. *Aquaculture*, 532(September 2020), 736001. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736001>
- Campos-pulido, R., Alonso-lópez, A., Avalos-de la Cruz, D. A., Asiain-hoyos, A., & Reta-Mendiola, J. L. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia * Physicochemical characterization of a tilapia brackish effluent in aquaponics Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 939–950. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4nspe5/v4spe5a7.pdf>
- Cervantes-Santiago, A., Hernández Vergara, M., & Pérez Rostro, C. (2016). Aprovechamiento de metabolitos nitrogenados del cultivo de tilapia en un sistema acuapónico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(7), 63–73. <https://doi.org/10.19136/era.a3n7.667>
- Diana, J. S. (2009). Aquaculture production and biodiversity conservation. *BioScience*, 59(1), 27–38. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.1.7>
- Effendi, H., Widyatmoko, Utomo, B. A., & Pratiwi, N. T. M. (2020). Ammonia and orthophosphate removal of tilapia cultivation wastewater with *Vetiveria zizanioides*. *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 207–212. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.04.018>
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., & Nik, W. B. W. (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. *Desalination and Water Treatment*, 32(1–3), 422–430. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2761>
- Endut, Azizah, Jusoh, A., & Nora, A. (2011). *nutrient removal from aquaculture wastewater*.
- Espinosa Moya, E. A. (2015). *Producción de tres especies de herbáceas utilizadas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos Universidad de Guanajuato División de Ciencias de la Vida*. May, 121. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1932.5601>
- Ingle de la Mora, G., Villareal Delgado, E. L., Arredondo Figueroa, J. L., Ponce Palafox, J. T., & Barriga Sosa, I. de los A. (2003). Evaluation of some water quality parameters in a closed aquaculture recirculating-water system, submitted to diferent loads of fish. *Hidrobiológica*, 13(4), 247–253.
- Jiménez Márquez, O. (2020). Acuaponía : Una Forma Potencial Y Sustentable De Cultivar De Manera Eficiente Y Sustentable Alimentos . *III Congreso Virtual Internacional Sobre Economía Social y Desarrollo Local Sostenible*, 365–381. <https://www.eumed.net/actas/20/economia-social/26-acuaponia-una-forma-potencial-y-sustentable-de-cultivar.pdf>
- Jordan, R. A., Ribeiro, E. F., de Oliveira, F. C., Geisenhoff, L. O., & Martins, E. A. S. (2018). Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(8), 525–529. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n8p525-529>
- Klotzbücher, T., Klotzbücher, A., Kaiser, K., Merbach, I., & Mikutta, R. (2018). Impact of agricultural practices on plant-available silicon. *Geoderma*, 331(June), 15–17. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.011>
- Navarrete, R. (2005). Curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de campo. *Ananas Comus VAR. MD-2*, 36(8), 169–178.

<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5242/1/CPA-2005-T061.pdf>

- Orta, L. (2002). Contaminación De Las Aguas Por Plaguicidas Químicos. *Fitosanidad*, 6(3), 55–62.
- Parra, J. A. G. (2017). Evaluación productiva y económica de un sistema acuapónico semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino (*Cucumis sativus*). *Universidad Autónoma De Nayarit*, 93295.
[http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1352/2017 Evaluacion productiva y economica de un sistema acuapónico semi-intensivo de tilapia %28Oreochromis niloticus%29%2C lechuga %28Lactuca sativa%29 y pepino %28Cucumis sativus%29.pdf?sequen](http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1352/2017%20Evaluacion%20productiva%20y%20economica%20de%20un%20sistema%20acuaponico%20semi-intensivo%20de%20tilapia%20%28Oreochromis%20niloticus%29%2C%20lechuga%20%28Lactuca%20sativa%29%20y%20pepino%20%28Cucumis%20sativus%29.pdf?sequen)
- Ramirez, D., Sabogal, D., Rodríguez, D., Sc, C. M., & Hurtado, H. (2009). *Assembly and Preliminary Evaluation of a Goldfish-Lettuce Aquaponic System*. 154–170.
- Riaño-Castillo, E. R., Caicedo-Gegén, L., Torres-Mesa, A., & Hurtado-Giraldo, H. (2019). Cambios en los niveles de nutrientes en solución hidropónica de espinaca baby (*Spinacia oleracea* L.), para su futura aplicación en acuaponía. *Orinoquia*, 23(1), 73–84.
<https://doi.org/10.22579/20112629.544>
- Surnar, S. R., Sharma, O. P., & Saini, V. P. (2015). Aquaponics : Innovative farming. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2(4), 261–263.
- Tveteras, B. R., Nystoyl, R., Jory, D. E., & Ph, D. (2020). *GOAL 2019: Revisión y pronóstico de la producción mundial de peces « Global Aquaculture Advocate*. January, 1–10.
<https://www.aquaculturealliance.org/advocate/goal-2019-revision-y-pronostico-de-la-produccion-mundial-de-peces/>
- Valdez, C., Guerra, D., Diaz, M., & Ríos, L. (2017). Adaptación, crecimiento y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica -Adaptation, growth and yield of Guatemala. *Redalyc*, 18, 1–11. <https://doi.org/1695-7504>
- Vásquez Quispesivana, W., Talavera Núñez, M., & Inga Guevara, M. (2016). EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA CALIDAD DE AGUA DEBIDO A LA PRODUCCIÓN SEMI INTENSIVA DE TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*) EN JAULAS FLOTANTES. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(1), 15–28. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v82i1.41>
- Wahyuningsih, S., Effendi, H., & Wardiatno, Y. (2015). Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system. *AACL Bioflux*, 8(4), 491–499.
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W., & Khanal, S. K. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76(December 2018), 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>