

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Comparación de eficiencia en la remoción de nitratos usando distintas especies vegetales en un sistema acuapónico

Por:

José Carlos Gamarra Alcántara

Einer Mija Huamán

Asesor:

Gina Tito Tolentino

Lima, julio de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg. Gina Tito Tolentino, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: ***“Comparación de eficiencia en la remoción de nitratos usando distintas especies vegetales en un sistema acuapónico”*** constituye la memoria que presenta el **estudiante José Carlos Gamarra Alcantara y Einer Mija Huamán** para aspirar al grado académico de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado 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 constancia en Lima, a los 20 días de agosto del año 2020.



Mg. Gina Tito Tolentino

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....31..... día(s) del mes de.....julio.....del año..2020...siendo las....08:30....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):
 Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro.....,el(la) secretario(a):
 Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas..... y los demás miembros:
 Ing. Nancy Curasi Rafael, Ing. Dennis Omar Díaz Bulnes.....
y el(la) asesor(a) Lic. Gina Marita Tito Tolentino.....
con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: Comparación de eficiencia en la remoción de nitratos usando distintas especies vegetales en un sistema acuapónico.....

de los (las) egresados (as): a) José Carlos Gamarra Alcantara.....
b) Einer Mija Huaman.....
conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental.....

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando.....a los..... 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.....los.... 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 (a): José Carlos Gamarra Alcantara.....

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

Candidato/a (b): Einer Mija Huaman.....

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

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó.....a los.....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/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Comparación de eficiencia en la remoción de nitratos usando distintas especies vegetales en un sistema acuapónico

COMPARISON OF EFFICIENCY IN NITRATE REMOVAL USING DIFFERENT PLANT SPECIES IN AN AQUAPONIC SYSTEM

Gamarra Alcántara José Carlos^a, Mija Huamán Einer^b

a.b: Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Central Km.19.5 Ñaña-Chosica

contacto: a: Josecgamarra@upeu.edu.pe; b: Einermija@upeu.edu.pe

Resumen

La eliminación de nutrientes es esencial para el tratamiento de aguas residuales de la acuicultura, para evitar los daños ecosistémicos y la eutrofización de cuerpos de agua. En ese contexto el objetivo de esta investigación es comparar la eficiencia de remoción de nitratos por distintas especies vegetales en un sistema acuapónico y describir las necesidades de futuras investigaciones en acuaponía como un modelo sostenible para el manejo eficiente del agua y producción de alimentos, para el desarrollo de la investigación se hizo la recopilación y revisión de artículos científicos publicadas en revistas indexadas en inglés, portugués y español, se obtuvo información sobre el potencial de remoción de distintas especies vegetales tanto aptas para el consumo humano, alimentación animal y otros tipos de aprovechamiento, además se mostró los factores a tener en cuenta para la adecuada simbiosis entre la especie animal y vegetal. y se concluyó que casi todas las especies vegetales cultivables pueden ser aprovechadas para la eliminación de nutrientes, sin embargo, hay especies que tienen más capacidad que otras, y a la vez pueden contribuir con la economía familiar y seguridad alimentaria.

Palabras clave: acuaponía, desarrollo sostenible, seguridad alimentaria, hidroponía, acuicultura.

Abstract

Nutrient removal is essential for aquaculture wastewater treatment, to avoid ecosystem damage and eutrophication of water bodies. In this context, the objective of this research is to compare the efficiency of nitrate removal by different plant species in an aquaponic system and describe the needs for future research in aquaponic systems as a sustainable model for efficient water management and food production, to The development of the research was carried out by compiling and reviewing scientific articles published in indexed journals in English, Portuguese, and Spanish, obtaining information on the removal potential of different plant species suitable for human consumption, animal nutrition, and other types of use, also showed the factors to take into account for the proper symbiosis between the animal and plant species. and it was concluded that almost all cultivable plant species can be used for nutrient removal, however, there are species that have more capacity than others, and at the same time can contribute to family economy and food security.

Keywords: aquaponics, sustainable development, food security, hydroponics, aquaculture

1. Introducción

la acuicultura ha tenido un alto crecimiento en los últimos 50 años, el consumo mundial de recursos hidrobiológicos provenientes de esta actividad aumento en más de un 100% y en América Latina y el Caribe tuvo un crecimiento promedio anual del 8% en la última década, principalmente debido a la expansión de cultivos de tilapia y especies amazónicas (FAO, 2018). En el Perú en los últimos años, la producción acuícola experimentó una tasa de crecimiento promedio anual de 12%, siendo las principales especies cultivadas la concha de abanico, langostino, trucha y tilapia y, en una menor proporción, los peces amazónicos (paiche, gamitana, sábalo, etc) (PNIPA, 2018)

A pesar de que la acuicultura es capaz de resolver muchos problemas alimentarios, su dependencia de recursos naturales representa varios desafíos para la sostenibilidad ya que su desarrollo viene acompañado por impactos negativos en el medio ambiente (Boyd, 2003). El proceso de producción genera importantes cantidades de efluentes contaminados, debido a la dispersión de alimentos no consumidos y productos metabólicos de los organismos cultivados (Amirkolaie, 2011; Read & Fernandes, 2003), Se introducen sustancias químicas al ecosistema; además, una significativa porción de nutrientes (compuestos de nitrógeno y fósforo) queda disuelta en la columna de agua, produciendo fenómenos de eutrofización generando un costo ambiental, económico y social (Vásquez Quispesivana, Talavera Núñez, & Inga Guevara, 2016).

La hidroponía es una técnica agrícola, que consiste en el cultivo de plantas en soluciones nutritivas acuosas, por lo general se utilizan sustratos inertes como soporte (arena, grava, perlita, etc.). En otras palabras, significa desarrollar cultivos sin suelo, los nutrientes que necesita las plantas para su desarrollo se suministra a través del agua, de esta manera se logra obtener una producción rápida, controlada y de alto rendimiento (Yescas-Coronado et al., 2011)

La acuaponía es la integración de los sistemas de recirculación acuícola e hidropónica que se utiliza para la producción integrada de peces y cultivos vegetales (Caló, Nacional, & Cenadac, 2011), los desechos orgánicos producidos por la especie acuática (normalmente peces) son degradados por bacterias y convertidos en amonio (en menor proporción) y en nitratos que son la forma química para que las plantas puedan incorporar nitrógeno a sus células para ser utilizado en la síntesis de proteínas y desarrollarse (Martínez, 2012). Estas, al tomar esta carga de nutrientes, purifican el agua que sirve de hábitat para los peces, consiguiendo así un ecosistema autosustentable (Parker, 2002).

Un sistema acuapónico, además de ser una alternativa en la purificación de efluentes y el uso sostenible del agua, dependiendo del tipo de vegetal y el tipo de pez que se cultive puede ser comercializado y generar un ingreso adicional a la economía familiar y contribuir con el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria (Buzby & Lin, 2014),

Para el buen funcionamiento de este sistema debe dimensionarse correctamente logrando el óptimo equilibrio entre la producción de nutrientes a partir del cultivo de peces y la absorción de nutrientes por el cultivo. Un área de cultivo de plantas insuficiente dará como resultado una acumulación de nutrientes en sistemas de recirculación o por el contrario un déficit de nutrientes si no se tiene la densidad adecuada de cultivo del componente acuícola (Buzby & Lin, 2014).

La acuaponía es una de las pocas técnicas sostenibles que puede evitar daños causado por las aguas residuales de criadero de peces a los ecosistemas acuáticos (Delong & Losordo, 2012) con un buen manejo en el sistema casi todas las especies vegetales y de peces puede adaptarse a este, inclusive es una técnica ideal para la recuperación de especies autóctonas tanto animal como vegetal ya que la acuaponía nos ofrece la facilidad de controlar las condiciones de cultivo (Guerra-centeno, Valdez-sandoval, & Aquino-, 2016)

2. Revisión de la literatura

2.1. Tipos de sistemas acuapónicos

Los sistemas acuapónicos están formados básicamente por un tanque criadero de peces (acuicultura), un biofiltro donde se lleva a cabo la nitrificación y un lecho de cultivo vegetal (hidroponía). Existen tres tipos de sistemas acuapónicos más comunes (Wongkiew et al., 2017).

El sistema de cultivo de bandejas o camas flotantes (imagen 1) que consiste básicamente en el cultivo de plantas que flotan continuamente sobre una cama que contiene el agua con alta concentración de nutrientes producto del metabolismo de los peces en el criadero (Fernandez et al., 2007).

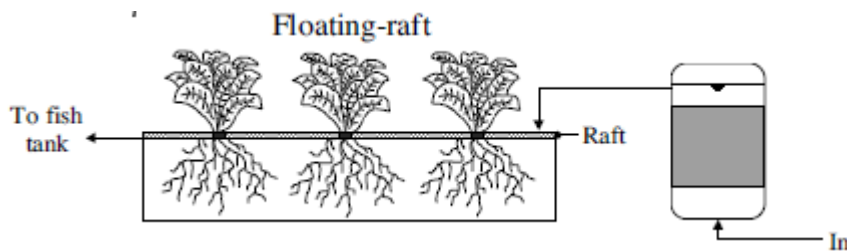


Imagen 1. Cultivo acuapónico con bandejas flotantes.

En la imagen a la derecha podemos observar el biofiltro donde se lleva a cabo parte del proceso de nitrificación, el agua que sale de ahí se conduce al tanque que contendrá el cultivo vegetal.

El sistema Nutrient Film Technique (NFT) que se utiliza normalmente para vegetales de menor tamaño, consiste en hacer correr una película de solución nutritiva muy fina a lo largo de un canal de cultivo formado comúnmente por una serie de tubos de PVC, lo que permite agrupar las plantas y obtener rendimientos altos por unidad de superficie, este sistema ofrece una alta oxigenación a la sección radicular de los cultivos, puesto que la deficiente oxigenación de la solución nutritiva afecta la absorción de nutrientes, con efectos negativos en el óptimo crecimiento de las plantas. (Gorosito et al., 2017), esto se demuestra en una investigación realizada donde la oxigenación en el sistema puede incrementar significativamente el rendimiento de la lechuga en un 180 % y del tomate en un 200% (Martínez-Gutiérrez, Ortiz-Hernández, & López-Pozos, 2012)

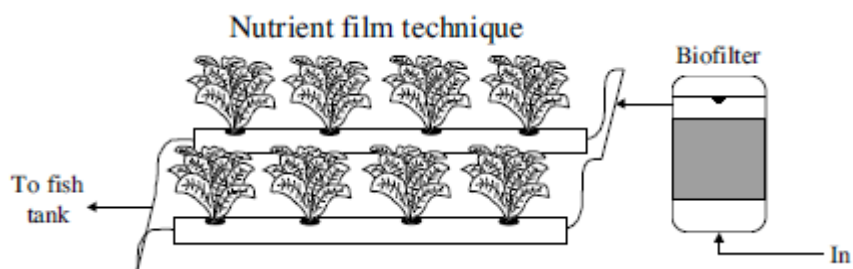


Imagen 2. Acuaponía con método NFT.

El sistema en medios o sustratos, a diferencia de las otras dos técnicas mencionadas anteriormente se cultiva sobre materiales inertes que ofrecen la suficiente porosidad (piedra pómez, grava, fibra de coco, arena, vermiculita, perlita, etc.) para mantener aireada gracias a la porosidad que ofrece y servir de soporte a la estructura radicular (Luis Felipe Hernández Zambrano, 2017) este sistema es el método más simple de cultivo ya que no requiere biofiltros separados porque el proceso de nitrificación se lleva a cabo en el sustrato (Wongkiew et al., 2017).

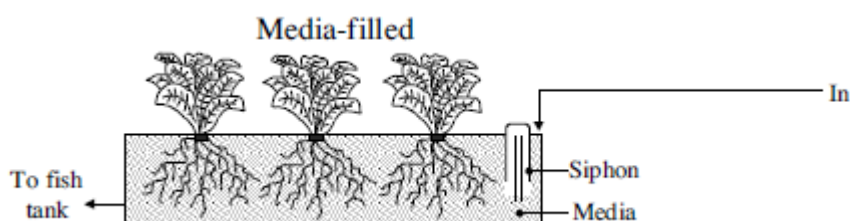


Imagen 3. Acuaponía con la técnica de sustratos.

En la imagen se observa que no hace falta la utilización del biofiltro como se menciona en el párrafo anterior y el agua es dirigido al sustrato que contiene las plantas.

3. Generación de nitrógeno amoniacal en los sistemas acuapónicos

En peces, el nitrógeno amoniacal total (NAT) es el primer producto metabólico, representado entre el 70 al 95% del nitrógeno total excretado, los peces de agua dulce excretan amoniaco (NH_3) por difusión pasiva y/o transporte facilitado, es decir con la ayuda de proteínas de transporte por medio de gradientes favorables de presión parcial entre la sangre y el agua, y a través de la orina para mantener baja la concentración de solutos en la sangre (Torres et al., 2015; Wongkiew et al., 2017).

En sistemas cerrados de cultivo o con bajo flujo de agua, a medida que la concentración de NAT en el medio externo aumenta, la eliminación a través de las branquias disminuye debido a que las diferencias entre los gradientes de presión parcial entre la sangre y el agua tienden a ser iguales, Cuando los gradientes de concentración de NH_3 comienzan a ser tóxicos porque la tasa de producción supera a la tasa de eliminación, se activa otro sistema de excreción mediante las ATPasas, a través de un intercambio entre el ión sodio (Na^+) y el ión amonio (NH_4^+), el cual mantiene un equilibrio del NAT dentro y fuera del pez, disminuyendo así la

toxicidad del NH_3 (Torres-Mesa et al., 2015)

En la acuicultura, la concentración de NH_3 excretada por los organismos depende de varios factores, como: la cantidad y calidad de los alimentos aplicados (Buzby & Lin, 2014), la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, el pH del medio, la biomasa, la edad de los individuos, y la densidad de siembra (Zhang, Hu, Shen, & He, 2012) Este último factor influye negativamente en el bienestar, sobrevivencia, crecimiento y producción de los peces, por lo tanto es fundamental encontrar la adecuada densidad para garantizar su buen desarrollo y aprovechamiento (Martinez Lopez, 2002).

4. Transformación de nitrógeno por nitrificación

El principio biológico se basa en que los nutrientes requeridos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, son muy similares a los desechos producidos por los organismos acuáticos (Parker, 2002)

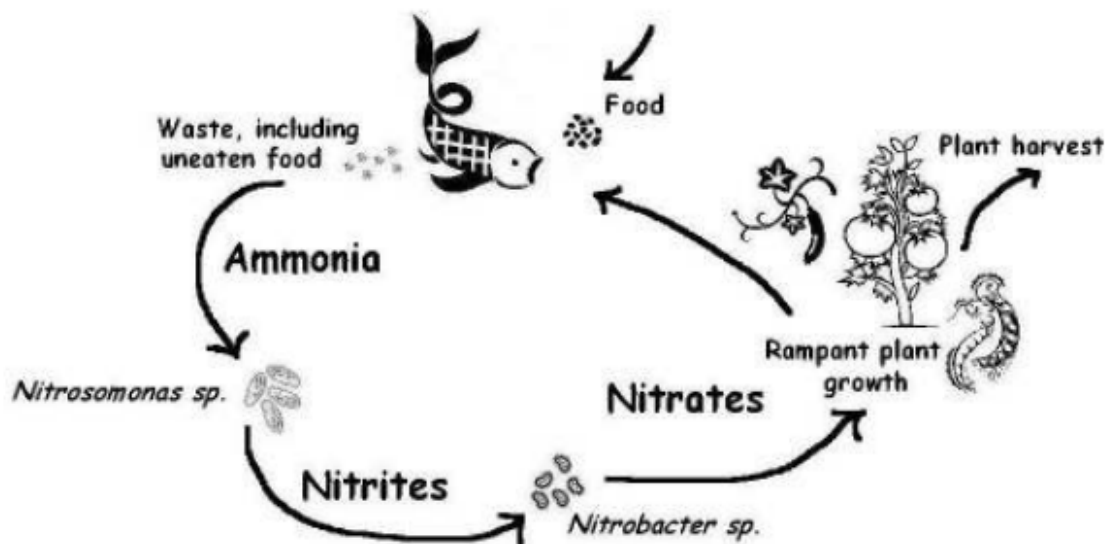


Imagen 4. Ciclo del nitrógeno en acuaponía (Turkmen, 2006)

En la imagen 4, podemos observar el ciclo del nitrógeno, nos muestra que los residuos incluidos la comida no consumida generan amoníaco, compuesto que gracias a la acción bacteriana (*Nitrosomonas sp.*) será transformado a nitritos (NO_2) y posteriormente por acción del grupo de bacterias *Nitrobacter sp.* Se transformará en NO_3 , que será aprovechado por las plantas para su desarrollo y producción y el ciclo volverá a repetirse.

El NH_3 es el producto principal para llevar a cabo el proceso de nitrificación, éste compuesto resulta del catabolismo de aminoácidos y es excretado por los peces por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces (Zuluaga-González, 2017), También la descomposición de los restos de alimento no consumido libera amoníaco al agua (Guillaume, Kaushik, Bergot, & Metailler, 2003), es un compuesto altamente soluble en el agua y se presentan en dos formas, NH_3 (no ionizado) y amoníaco (NH_4) que es un compuesto ionizado y cuya suma es el

NAT, el grado de toxicidad en el agua se determina por la presencia del NH_3 , la alta concentración de este compuesto produce modificaciones principalmente en las branquias, sistema sanguíneo e hígado de los peces cultivados. Como regla general se recomienda no sobrepasar 0.05 mg/l de este compuesto (Díaz et al., 2015). NAT es oxidado a nitrito (NO_2^-) por las bacterias oxidantes de amoníaco como Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus, Nitrosovibrio sp., etc. (BOA), el NO_2 resultante se oxida en nitrato (NO_3) mediante bacterias oxidantes de nitrito como Nitrobacter, Nitro-coccus, Nitrospira, Nitrospina sp., Etc. (BON) (Wongkiew et al., 2017).

es necesario que el proceso de nitrificación sea estable para evitar acumulaciones y agotamiento de este nutriente para las plantas. Una vez que las bacterias nitrificadoras estén completamente establecidas las tasas de NH_4 y NO_2 alcanza el estado estacionario, pues, si la abundancia de BOA es limitada la concentración de NAT se incrementaría drásticamente, otra situación se muestra cuando se reduce la cantidad de BON, tendríamos una reducción del NO_3 (Delong & Losordo, 2012).

5. Asimilación de nitrógeno por las plantas

El nitrógeno (N) puede ser absorbido por las plantas en la forma de nitrato (NO_3) o amonio (NH_4). la absorción de nitrato y amonio varía conforme la especie, variedad, temperatura, pH e intensidad luminosa como puede ser constatado en diversos cultivos (Coraspe León, Takashi, Vinicius Ide, Contreras Espinal , & Ocheuze Travelin, 2009).

Además se determinó que otro factor importante es la edad y/o etapa productiva de la planta puesto que algunas especies presentan mayor afinidad por el NH_4 en su etapa inicial de desarrollo y una vez que entran a la edad de producción y desarrollo foliar se observa que esa preferencia cambia al NO_3 (Vida et al., 2004), esta teoría es reforzada por (Coraspe León, Takashi, Vinicius Ide, Contreras Espinal , & Ocheuze Travelin, 2009) que realizó un estudio sobre la Absorción de formas de nitrógeno por plantas de papa dónde se observó que la forma preferencial de absorción fue la amoniacal tornándose a nítrica cuando la planta empezó a producir los tubérculos, esto debido a que conforme aumenta la tasa de crecimiento de la planta los requerimientos de nutrientes será mayor y la fácil asimilación de NO_3 hace que muchas especies vegetales sean afines a este nutriente cuando entran en su etapa de máximo desarrollo (Buzby & Lin, 2014)

En otro estudio realizado con el cultivo de nopal se observó que en toda su etapa de crecimiento se vio una fuerte afinidad por el NO_3 además se constató que la relación entre el consumo de NO_3 y el desarrollo de biomasa era directamente proporcional, así se confirma que el nopal como muchas otras especies vegetales, crece mejor cuando se suministra esta forma nitrogenada (Gallegos-Vázquez, Olivares-sáenz, Vázquez-alvarado, & Zavala-garcía, 2000)

6. Factores que intervienen en la remoción de nitrógeno por las plantas en acuaponía

La tasa de absorción de nitrógeno está influenciada por muchos factores, como las concentraciones de nutrientes, la intensidad de la luz, la humedad, la temperatura (Zhang et al., 2012) y las condiciones de pH, respecto a este último factor se encontró que la disminución de los niveles promueve una mejor absorción de NO_3 , por lo cual un valor de 4.5 a 6 sería un rango óptimo de absorción en sistemas acuapónicos (Gallegos-Vázquez et al., 2000).

(Inselsbacher, Wanek, Strauss, Zechmeister-Boltenstern, & Müller, 2013) plantea la relación que existe entre los niveles de NH_4 en el agua y la absorción de NO_3 a través de la construcción de modelos de la dinámica de absorción de este último compuesto, basados en estudios de la cinética de absorción utilizando isótopos estabilizados de nitrógeno, se demostró que a medida que aumenta la concentración de NH_4 se muestra una mayor absorción de NO_3 . sin embargo esta tendencia de absorción se limita a grupos de cultivo con características muy similares de concentración, edad y genética (Fink & Feller, 1998).

7. Remoción de nitrógeno por diferentes especies vegetales

Existe un amplio estudio sobre el papel que juegan muchas especies vegetales cultivadas en sistemas acuapónicos al momento de purificar el agua y garantizar una minimización en la contaminación de este recurso y a la misma vez asegurar los requerimientos de calidad para el cultivo peces.

(Saviolo Osti et al., 2020) compara la eliminación de nitrógeno de los efluentes de un estanque criadero de tilapias con islas artificiales colonizadas por Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y otro estanque de igual condiciones y densidad de cultivo solo con oxigenación mecánica, el estudio arrojó que la *Eichhornia crassipes* presentó una reducción significativa en comparación al otro estanque, esto está estrechamente relacionado a la capacidad de almacenamiento de nutrientes en el biomasa y el área más grande disponible en el sistema de raíces para absorción de nutrientes.

Otra investigación realizada por (Espinosa Moya, 2015) evalúa la capacidad de remoción de nitrato de un tanque criadero de tilapias del nilo por tres plantas: hierbabuena, menta y albahaca, en la experiencia se observó que la hierbabuena presentó un mayor desarrollo foliar respecto a las otras dos especies. Además, se determinó que las tres especies vegetales pueden ser utilizadas como parte de los filtros biológicos en sistemas de acuaponía debido a que remueven eficientemente compuestos con nitrógeno, la hierbabuena fue la especie que mostró mayor capacidad de asimilación de N, seguida por albahaca y finalmente la menta, esto explica el mayor desarrollo foliar de esta especie durante el experimento.

La relación existente entre el componente acuícola y el componente hidropónico tiene una significativa influencia en la eliminación de nutrientes y por ende desarrollo óptimo de ambos, en un estudio realizado con el gobio de mármol (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker) un pez muy cultivado en algunos países asiáticos y la espinaca acuática se observó una eliminación del 70 % de nitrato y la reducción del 88% de sólidos totales suspendidos (SST), este último debido al sistema radicular complejo del cultivo, asimilación por microorganismos en la columna de agua y la retención y adsorción en biopelículas formadas dentro del sistema radicular (Lam, Ma, Jusoh, & Ambak, 2015). la eliminación del SST contribuye a la calidad del agua y por lo tanto al buen desarrollo de las especies cultivadas que

realizaran una eficiente remoción de nutrientes (de Freitas Borges, 2015)

(Buzby & Lin, 2014) comparó la eficiencia de remoción de nitratos entre la lechuga (*Lactuca sativa*) y capuchina (*Tropaeolum majus*), se determinó que la capuchina tuvo tasas de eliminación más altas y eliminó tanto el nitrógeno amoniacal total (TAN) y nitrato resultando en 80% de remoción mientras que la lechuga removió solo 48% nitrógeno amoniacal total y fue ineficaz en la eliminación de nitrato.

En otro estudio realizado por (Wahyuningsih, Effendi, & Wardiatno, 2015) se evaluó la capacidad de remoción de compuestos nitrogenados presentes en efluentes de criadero de tilapia con la lechuga romana (*Lactuca sativa*) y aplicación de bacterias nitrificantes, con ello se demostró que estos organismos contribuyen a una remoción mucho más eficaz ya que el tratamiento con la adición de la lechuga romana y las bacterias mostraron mejores resultados que el tratamiento de lechuga romana sin la adición de bacterias. El sistema acuapónico pudo disminuir el nitrógeno inorgánico a un 91.50%, 34.41%, 22.86% y 49.74% para el amoníaco y amonio, nitrato y nitrito respectivamente.

(Endut, Jusoh, Ali, & Nik, 2011) evaluó el rendimiento en la eliminación de nitratos y otros nutrientes presentes en las aguas residuales de la acuicultura con espinaca acuática (*Ipomoea aquatica*) y mostaza verde (*Brassica juncea*). Los resultados demostraron que la espinaca de agua fue capaz de reducir significativamente alcanzando valores de remoción de hasta 87.10%, en comparación con la mostaza verde que eliminó el 80.65%.de nitratos, Los resultados generales sugieren que la espinaca de agua es mejor que la mostaza verde en la eliminación de nutrientes en el sistema de acuaponía. Esto se debe a que sus estructuras de raíz proporcionaron más sitios de fijación microbiana, suficiente tiempo de residencia de aguas residuales, atrapamiento y asentamiento de suspensión partículas, área de superficie para la adsorción, absorción y asimilación de contaminantes en los tejidos vegetales (Olsson & Falkengren-Grerup, 2000)

Los forrajes y frutos son especies vegetales cuya capacidad de remoción de nitratos en sistemas acuapónicos son muy poco estudiadas, sin embargo, (Cervantes-Santiago, Hernández Vergara, & Pérez Rostro, 2016) Demostró que actúan como potenciales biofiltradores, ya que el cultivo de forrajes (Maíz blanco, Maíz amarillo, trigo y sorgo) tuvo una remoción del 50% de nitratos sin embargo los mejores resultados lo obtuvieron el bicultivo de sandía y pepino con una remoción de hasta 90.9 % de nitratos.

8. La acuaponía como desarrollo sostenible

Suministrar de alimentos a la creciente población mundial requiere, inevitablemente, un incremento de la producción agrícola, pero esto no se puede conseguir a cualquier coste. Para que sea sostenible a largo plazo, el método de producción futuro debe asegurar una gestión eficiente del agua, la energía y los nutrientes y respetar los principios de la reutilización y la recirculación. (AQUAHOY, 2017)

Las ventajas que tenemos de los sistemas acuapónicos es que se reutiliza el agua gracias a la purificación por plantas, Algunas granjas integradas pueden reducir el consumo de agua en un 90% en comparación con la agricultura

tradicional (FAO, 2018) lo que resulta muy útil en zonas donde la disponibilidad del recurso hídrico es escasa. La fertilización es orgánica ya que se realiza con nutrientes excretados por los peces y restos de alimentos para estos. Impacto ambiental bajo, pues se reducen las tierras de cultivo necesarias para la producción de alimentos (Secretaría de agricultura y desarrollo rural, 2019)

9. Conclusiones

La mayoría de cultivos se pueden adaptar a un sistema acuapónico si se tiene en cuenta las consideraciones de balance de nutrientes y la óptima acción simbiótica entre el componente animal (peces) y el componente vegetal (cultivos), destaquemos también que la capacidad de remoción de nutrientes por los vegetales dependerá de características como: especie, tamaño y edad principalmente (Luis Felipe Hernández Zambrano, 2017)

La acuaponía es una de las pocas técnicas de cultivo que garantiza la eliminación de contaminantes, reducción de costos de producción y posibilidad de aumentar la rentabilidad, ofreciendo un equilibrio sostenible, (Secretaría de agricultura y desarrollo rural, 2019), sin olvidar que garantiza un buen estado de cultivo controlado al proporcionar un mejor control de calidad del agua, uso reducido del agua, gestión mejorada de residuos y reciclaje de nutrientes (Delong & Losordo, 2012).

10. Recomendaciones

- Realizar un estudio a profundidad sobre la relación que existe entre la concentración de bacterias nitrificantes y la eficiencia en la remoción de nutrientes.
- Evaluar la posibilidad de realizar un sistema mixto, entre acuaponía e hidroponía, es necesario estudiar el efecto que tienen los nutrientes inorgánicos en el desarrollo de los peces y buscar una alternativa para remplazarlos si son dañinos puesto que sería de gran utilidad para sistemas donde haya déficit de nutrientes insuficiente cantidad de peces para el aprovechamiento de biomasa vegetal.
- Realizar estudios de factibilidad con especies vegetales ornamentales
- Evaluar su viabilidad para su aplicación como herramienta de conservación de especies en peligro de extinción tanto animal como vegetal, y los factores a tener en cuenta para su instalación en diferentes pisos altitudinales.

REFEENCIAS

- Amirkolaie, A. K. (2011). Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3(1), 19–26. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01040.x>
- Boyd, C. E. (2003). Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, 226(1–4), 101–112. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00471-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00471-X)
- Buzby, K. M., & Lin, L. S. (2014). Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*, 63, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.09.002>

- Caló, P. P., Nacional, C., & Cenadac, D. D. A.-. (2011). 130423_Introducción a La Acuaponia (1), 1–15.
- 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>
- de Freitas Borges, F. (2015). La calidad del agua y las buenas prácticas en acuicultura. *Divulgación Acuícola*, 2(23), 19–24.
- DeLong, D. P., & Losordo, T. M. (2012). How to start a biofilter. *Southern Regional Aquaculture Center*, 3(4502). Retrieved from <http://fisheries.tamu.edu/files/2013/09/SRAC-Publication-No.-4502-How-to-Start-a-Biofilter.pdf>
- Díaz-Vargas, M., Arriaga, E., Castelán, Q., & Rodríguez, G. (2015). Evaluación de la capacidad de remoción de compuestos nitrogenados y fosfatos utilizando diferentes sustratos en los filtros biológicos de sistemas acuapónicos. *Acta Universitaria*, 15(2), 57–65. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41615206>
- 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>
- 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>
- FAO. (2018). *De La Pesca Y La Acuicultura*. Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/es>
- Fernandez, J., Niñirola, D., Vicente, M., & Conesa, E. (2007). Efecto de la densidad de plantación y del Tipo De Sustrato Sobre La Producción de verdolaga (portulaca Oleracea L.) En Un Cultivo Hidropónico De Bandejas Flotantes, 707–713. Retrieved from https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_SH/SH_2007_15_707_713.pdf
- Fink, M., & Feller, C. (1998). An empirical model for describing growth and nitrogen uptake of white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 73(2–3), 75–88. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00154-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00154-4)
- Gallegos-Vázquez, C., Olivares-sáenz, E., Vázquez-alvarado, R., & Zavala-garcía, F. (2000). Nitrate and Ammonium Uptake by Cactus Pear in Hydroponics. *Terra Latinoamericana*, 18(824), 133–139. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318205>
- Gorosito, A., Zanazzi, A. N., Cecchi, F., Prario, M., Pérsico, M. M., Asiain, A., ... Mallo, J. C. (2017). Produccion innovadora y sustentable en un sistema acuaponico en la provincia de buenos aires. Retrieved from <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/8849%0Ahttps://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/6759>

- Guerra-centeno, D., Valdez-sandoval, C., & Aquino-, E. (2016). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(11), 1–13.
- Inselbacher, E., Wanek, W., Strauss, J., Zechmeister-Boltenstern, S., & Müller, C. (2013). A novel ¹⁵N tracer model reveals: Plant nitrate uptake governs nitrogen transformation rates in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.010>
- Lam, S. S., Ma, N. L., Jusoh, A., & Ambak, M. A. (2015). Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 102, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.012>
- Luis Felipe Hernández Zambrano. (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*), 127. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/62310/1/1057592154.2018.pdf>
- Martínez-Gutiérrez, G. A., Ortiz-Hernández, Y. D., & López-Pozos, R. (2012). Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(ESPECIAL 5), 49–52.
- Martinez Lopez, R. E. (2002). Efecto de la Dieta y Otros Factores Sobre la Excreci^ón de Amonio y el Aprovechamiento del nitrogeno por la Dorada Sparus aurata, y su incidencia en los Cultivos de Esta Especie.
- Martínez, R. (2012). Puntos críticos de control en sistemas acuapónicos, (March), 3–8.
- Olsson, M. O., & Falkengren-Grerup, U. (2000). Potential nitrification as an indicator of preferential uptake of ammonium or nitrate by plants in an oak woodland understorey. *Annals of Botany*, 85(3), 299–305. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1075>
- PNIPA. (2018). Innovación y futuro de la acuicultura y pesca. Macrorregión Nororiental, (1).
- Read, P., & Fernandes, T. (2003). Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 226(1–4), 139–163. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00474-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00474-5)
- Saviolo Osti, J. A., do Carmo, C. F., Silva Cerqueira, M. A., Duarte Giamas, M. T., Peixoto, A. C., Vaz-dos-Santos, A. M., & Mercante, C. T. J. (2020). Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by *Eichhornia crassipes*. *Aquaculture Reports*, 17(February). <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100324>
- Torres-Mesa, A. C., Tovar-Bohórquez, M. O., Hurtado-Giraldo, H., & Gómez-Ramírez, E. (2015). Excreción de nitrógeno amoniacal total a diferentes densidades de siembra de *Cyprinus carpio* en condiciones de laboratorio. *Orinoquia*, 19(1), 19. <https://doi.org/10.22579/20112629.311>
- Turkmen, G. (2006). Aquaponic (Integrating Fish and Plant Culture) Systems. *Faculty of Fisheries, Ege University, Izmir, Turkey*, (December), 657–666.

- 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>
- Vida, J. B., Zambolim, L., Tessmann, D. J., Brandão Filho, J. U. T., Verzignassi, J. R., & Caixeta, M. P. (2004). Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. *Fitopatologia Brasileira*, 29(4), 355–372. <https://doi.org/10.1590/s0100-41582004000400001>
- Wahyuningsih, S., Effendi, H., & Wardiatno, Y. (2015). Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system. *AAFL 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>
- Yescas-Coronado, P., Segura-Castruita, M. A., Orozco-Vidal, J. A., Enríquez-Sánchez, M., Sánchez-Sandoval, J. L., Frías-Ramírez, J. E., ... Preciado-Rangel, P. (2011). Use of Different Substrates and Irrigation Frequencies to Reduce Leachate in Tomato Production. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 441–448. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792011000400441&script=sci_abstract&tlng=en
- Zhang, L. M., Hu, H. W., Shen, J. P., & He, J. Z. (2012). Ammonia-oxidizing archaea have more important role than ammonia-oxidizing bacteria in ammonia oxidation of strongly acidic soils. *ISME Journal*, 6(5), 1032–1045. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.168>
- Zuluaga-González. (2017). Capacidad De Absorción De Amonio De Plantas Acuáticas Como Filtros Biológicos En Sistemas Acuapónicos. *Jovenesenlaciencia.Ugto.Mx*, (1), 112–116. Retrieved from <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1685>