

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA PERMACUAPONIA EN EL CULTIVO DE  
HORTALIZAS Y PECES



GEIDY NATALIA SANCHEZ MORA  
PAOLA ANDREA OSORIO GARZÓN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS AGROPECUARIAS  
VILLAVICENCIO

2024

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA PERMACUAPONIA EN EL CULTIVO DE  
HORTALIZAS Y PECES

GEIDY NATALIA SANCHEZ MORA  
PAOLA ANDREA OSORIO GARZÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Administradoras De Empresas  
Agropecuaria

Asesor

Mg. MARIO FERNANDO PRIETO DELGADILLO  
Magister en Administración - MBA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS AGROPECUARIAS  
VILLAVICENCIO

2024

**Autoridades Académicas**

**Fray José Gabriel MESA ANGULO, O. P.**

Rector General

**P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.**

Rector Seccional Villavicencio

**P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.**

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

**Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria General Seccional Villavicencio

**Mg. MARIO FERNANDO PRIETO DELGADILLO**

Decano de la Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
1. Planteamiento del problema.....	10
2. Justificación.....	13
3. Objetivos.....	16
3.1 Objetivo General.....	16
3.2 Objetivos Específicos.....	16
4. Marco Conceptual.....	17
5. Estado del Arte.....	21
6. Marco Legal.....	29
7. Metodología.....	31
7.1 Tipo de Investigación.....	31
7.2 Instrumentos para la recolección de información.....	31
7.3 Técnicas de análisis y presentación de resultados.....	31
7.4 Etapas metodológicas de la investigación.....	32
Conclusiones.....	35
Recomendaciones.....	36
Referencias Bibliográficas.....	37
Anexos.....	43

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Crecimiento de Tilapia</i> .....	33
<b>Figura 2.</b> <i>Crecimiento de Lechuga</i> .....	34

**Tabla de anexos**

Anexo B <i>Información cuidado y siembra de lechuga Batavia.</i> .....	43
Anexo C <i>Fibra de coco como base fundamental en la siembra de la lechuga Batavia en bandeja germinadora.</i> .....	44
Anexo D <i>Tierra abonada, espacio para 6 semillas y cubrirlas con una capa superior</i> .....	44
Anexo E <i>Siembra de semillas y cubrimiento con tierra abonada</i> .....	45
Anexo F <i>Bandejas germinadoras con proceso de siembra completo.</i> .....	45
Anexo G <i>Primera semana de cultivo de lechuga Batavia.</i> .....	46
Anexo H <i>Segunda semana de cultivo de lechuga Batavia.</i> .....	46
Anexo I <i>Traslado de bandejas germinadoras de vereda la argentina a colegio Guacavia.</i> .....	47
Anexo J <i>Cultivo de lechuga Batavia colegio Guacavia.</i> .....	47
Anexo K <i>Colocar alambre para que la malla se sostenga y no se hunda con el peso de las bandejas germinadoras.</i> .....	48
Anexo L <i>Colocar malla en estanque.</i> .....	48
Anexo M <i>Mallas dentro del estanque</i> .....	49
Anexo N <i>Malla dentro del estanque con bandeja germinadora y peces</i> .....	49

## Resumen

Este trabajo de investigación analiza los beneficios y desafíos de implementar un sistema de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces. La Permacuaponia combina la permacultura y la acuaponia para crear un sistema sostenible de producción de alimentos. El estudio investiga los beneficios agronómicos de la Permacuaponia, los desafíos y limitaciones asociados con su implementación, la salud de las plantas y la calidad de los productos, el potencial económico y social, así como las implicaciones sociales y comunitarias. Se plantea el problema de investigación y se establecen los objetivos específicos para responder a las interrogantes planteadas. El estudio busca contribuir al conocimiento científico sobre la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces, proporcionando información valiosa para agricultores, investigadores y responsables de políticas interesados en promover sistemas de producción de alimentos sostenibles.

**Palabras clave:** Permacuaponia, cultivo de hortalizas y peces, sostenibilidad, acuaponia, permacultura, horticultura, piscicultura, potencial económico, implicaciones sociales, seguridad alimentaria.

## **Abstract**

This research examines the benefits and challenges of implementing a permacuaponics system in vegetable cultivation. Permacuaponics combines permaculture and aquaponics to create a sustainable food production system. The study investigates the agronomic benefits of permacuaponics, the challenges and limitations associated with its implementation, plant health and product quality, economic and social potential, as well as social and community implications. The research problem is stated, and specific objectives are established to address the research questions. The study aims to contribute to the scientific knowledge on permacuaponics in vegetable cultivation, providing valuable insights for farmers, researchers, and policymakers interested in promoting sustainable food production systems.

**Key words:** permacuaponics, vegetable cultivation, sustainability, aquaponics, permaculture, horticulture, fish farming, plant health, economic potential, social implications, food security.

## Introducción

El cultivo de hortalizas y peces desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria y la nutrición de la población, contribuyendo a la diversificación de la dieta y al suministro de nutrientes esenciales. Sin embargo, este proceso se enfrenta a diversos desafíos que plantean interrogantes sobre su sostenibilidad y eficiencia. Entre estos desafíos se encuentran la disponibilidad limitada de recursos naturales, la creciente demanda de agua en la agricultura, la erosión del suelo y la contaminación asociada al uso de fertilizantes y pesticidas.

En este contexto, la Permacuaponia ha surgido como una alternativa prometedora que integra la permacultura y la acuaponia en un sistema sostenible de producción de alimentos. Este enfoque combina la cría de peces en un sistema acuapónico con el cultivo de plantas en un entorno permacultural, aprovechando las interacciones beneficiosas entre los elementos biológicos y ambientales.

A pesar de los potenciales beneficios de la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces, existe una necesidad de investigar y evaluar en profundidad su viabilidad técnica y económica. Se requiere un análisis exhaustivo de los beneficios y desafíos asociados con la implementación de este sistema en el cultivo de hortalizas y peces, así como una comprensión más profunda de sus implicaciones agronómicas, sociales y comunitarias.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los aspectos relevantes y los impactos de la implementación de un sistema de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces.

A través de este estudio, se espera contribuir al conocimiento científico sobre la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces, proporcionando información relevante para optimizar la producción de alimentos, reducir el impacto ambiental y promover la sostenibilidad agrícola y piscícola. Los resultados obtenidos pueden ser de utilidad para agricultores, investigadores, emprendedores y responsables de políticas interesados en desarrollar sistemas de producción de alimentos más sostenibles, mejorar la seguridad alimentaria y promover oportunidades económicas locales.

## 1. Planteamiento del problema

El cultivo de hortalizas y peces es esencial para la seguridad alimentaria y la nutrición de la población, ya que proporciona una amplia variedad de nutrientes necesarios para una dieta equilibrada. Sin embargo, este proceso enfrenta una serie de desafíos que ponen en tela de juicio su sostenibilidad y eficiencia a largo plazo. Entre estos desafíos, se destacan la escasez de recursos naturales, la creciente demanda de agua en la agricultura, la erosión del suelo y la contaminación derivada del uso intensivo de fertilizantes y pesticidas.

Asimismo, la agricultura es fundamental para abastecer la demanda creciente de alimentos de una población mundial en expansión. Sin embargo, los métodos agrícolas y piscícolas tradicionales se enfrentan a desafíos significativos relacionados con la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria. (Altieri. et al, 2012).

De acuerdo con Carvajal Cañarte (2019). El cultivo de hortalizas y peces desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y la nutrición de la población, contribuyendo a la diversificación de la dieta y al suministro de nutrientes esenciales. Sin embargo, este proceso se enfrenta a numerosos desafíos que plantean interrogantes sobre su sostenibilidad y eficiencia. Entre estos desafíos se encuentran la disponibilidad limitada de recursos naturales, la creciente demanda de agua en la agricultura, la erosión del suelo y la contaminación asociada al uso de fertilizantes y pesticidas.

En este contexto, según (Candarle, 2015; Mercado Tascón, 2019). La Permacuaponia ha surgido como una alternativa prometedora que integra la permacultura y la acuaponía en un sistema sostenible de producción de alimentos. Este enfoque combina la cría de peces en un sistema acuapónico con el cultivo de plantas en un entorno permacultural, aprovechando las interacciones beneficiosas entre los elementos biológicos y ambientales.

A pesar de los potenciales beneficios de la Permacuaponía en el cultivo de hortalizas y peces, existe una necesidad de investigar y evaluar en profundidad su viabilidad técnica y económica. Se requiere un análisis exhaustivo de los beneficios y desafíos asociados con la implementación de este sistema en el cultivo de hortalizas y peces, así como una comprensión más profunda de sus implicaciones agronómicas, sociales y comunitarias.

En primer lugar, es necesario investigar los beneficios en la horticultura y piscicultura que la Permacuaponía puede ofrecer en el cultivo de hortalizas y peces. Estos beneficios podrían incluir

el aumento de la producción de alimentos, la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, la mejora de la calidad de los productos y el control de plagas de manera natural. Además, se debe analizar el impacto de la Permacuaponia en la salud de las plantas, su resistencia a enfermedades y la calidad nutricional de los alimentos producidos.

Por otra parte, es crucial identificar y abordar los desafíos y limitaciones asociados con la implementación de un sistema de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces. Estos desafíos podrían incluir la necesidad de conocimientos técnicos especializados, la disponibilidad de recursos adecuados, la gestión adecuada del sistema, la adaptabilidad a diferentes contextos geográficos y climáticos, así como los posibles impactos ambientales no deseados.

Además, es fundamental evaluar el potencial económico de la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces. Esto implica analizar los costos de inversión, los costos operativos y los posibles retornos económicos que se pueden obtener. Se debe considerar la rentabilidad del sistema a corto y largo plazo, así como su capacidad para generar empleo local y contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades.

Asimismo, es esencial comprender las implicaciones sociales y comunitarias de la implementación de la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces. Esto implica examinar cómo este sistema puede promover la participación comunitaria, fortalecer la seguridad alimentaria local, fomentar la educación ambiental y mejorar la resiliencia de las comunidades frente a los desafíos climáticos y económicos.

Por otro lado, el crecimiento demográfico y los cambios en los patrones de consumo han aumentado significativamente la demanda de alimentos en todo el mundo. En este contexto, la producción agrícola y piscícola enfrenta el desafío de abastecer de manera sostenible y eficiente la necesidad creciente de hortalizas y pescado, dos elementos fundamentales para la seguridad alimentaria y la nutrición de la población.

También, la agricultura tradicional basada en monocultivos y métodos intensivos ha demostrado limitaciones en cuanto a la utilización de recursos naturales y su impacto ambiental. La sobreexplotación de suelos, el uso excesivo de agua y el empleo de fertilizantes y pesticidas químicos han resultado en la degradación del ecosistema y la pérdida de biodiversidad, poniendo en riesgo la sostenibilidad de la producción alimentaria a largo plazo.

Finalmente, se deben evaluar los impactos ambientales de la Permacuaponia en comparación con la agricultura convencional, analizando aspectos como la conservación del suelo, la reducción de la contaminación del agua y la promoción de la biodiversidad.

Por lo tanto, se plantea el problema de investigación: ¿Cuáles son los beneficios y desafíos de implementar un sistema de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces? Para responder a esta pregunta, es fundamental analizar los aspectos relevantes y los impactos de la Permacuaponia en términos de horticultura o piscicultura, así como considerar los factores sociales, económicos y técnicos que pueden influir en su adopción y aplicabilidad en diferentes contextos.

## 2. Justificación

La implementación de sistemas de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces es un tema de gran relevancia en el contexto actual, donde la sostenibilidad y la eficiencia en la producción de alimentos son prioridades clave. La integración de la permacultura y la acuaponia en un sistema de Permacuaponia ofrece potenciales beneficios en términos de productividad, uso eficiente de los recursos y conservación ambiental.

Esta investigación se justifica por varias razones:

**Llenar una brecha en el conocimiento:** Aunque existen estudios sobre la Permacuaponia y sus beneficios generales, hay una falta de investigación específica que aborde su viabilidad técnica y económica en el cultivo de hortalizas y peces. Esta investigación busca llenar esa brecha, proporcionando una evaluación exhaustiva de los aspectos clave relacionados con la implementación y operación de sistemas de Permacuaponia en el contexto de los cultivos de hortalizas y peces.

**Contribuir a la sostenibilidad agrícola:** La Permacuaponia tiene el potencial de mejorar la sostenibilidad en la producción de hortalizas y peces al integrar principios permaculturales que promueven la conservación del suelo, la biodiversidad y el uso eficiente de los recursos naturales. (Varela Pérez, 2010). Al analizar en detalle los beneficios y desafíos de la Permacuaponia, esta investigación puede proporcionar información valiosa para optimizar la producción de hortalizas y peces y reducir el impacto ambiental asociado a los métodos convencionales de cultivo.

**Contribuir a la Sostenibilidad acuícola:** La implementación de sistemas de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas tiene un impacto positivo en la sostenibilidad acuícola. Al integrar la cría de peces en el sistema acuapónico, la Permacuaponia permite un uso eficiente del agua y los nutrientes. La relación simbiótica entre los peces y las plantas ayuda a mantener la calidad del agua, ya que las plantas utilizan los desechos de los peces como fuente de nutrientes, reduciendo así la necesidad de cambios frecuentes de agua. (González Bermúdez, 2017).

**Implicaciones para la seguridad alimentaria:** La implementación exitosa de sistemas de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces puede tener un impacto positivo en la seguridad alimentaria, al aumentar la disponibilidad de alimentos frescos y nutritivos. Ordinola et al. (2014). Al evaluar la viabilidad técnica y económica de la Permacuaponia, esta investigación puede proporcionar pautas y recomendaciones para promover sistemas alimentarios más resilientes y

sostenibles, especialmente en áreas urbanas y comunidades con acceso limitado a tierras agrícola o piscícola.

**Potencial económico y social:** La Permacuaponia puede ofrecer oportunidades económicas locales a través de la generación de empleo y el desarrollo de prácticas agrícolas y piscícolas sostenibles. Bernal Suarez et al. (2020). Al investigar los aspectos económicos y sociales de la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces, esta investigación puede proporcionar información relevante para los agricultores, emprendedores y responsables de políticas, permitiendo la toma de decisiones informadas y el fomento de la adopción de este enfoque.

Los resultados obtenidos pueden contribuir al desarrollo de sistemas de producción de alimentos más sostenibles, mejorar la seguridad alimentaria y promover oportunidades económicas locales.

Es relevante destacar que esta investigación también puede proporcionar información valiosa para los responsables de la formulación de políticas agrícolas, piscícolas y medioambientales. Los resultados obtenidos pueden servir como base para promover la adopción de prácticas agrícolas y piscícolas más sostenibles y fomentar la implementación de sistemas de Permacuaponia en programas gubernamentales de desarrollo agrícola.

Además, la investigación sobre la viabilidad técnica y económica de la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces puede ser de interés para los agricultores y emprendedores del sector agrícola y piscícola. La implementación exitosa de este sistema podría representar una oportunidad para mejorar la rentabilidad y eficiencia de la producción de hortalizas y peces, así como para diversificar la oferta de productos agrícolas y piscícolas en el mercado.

Asimismo, la Permacuaponia puede tener implicaciones sociales positivas al fomentar la participación comunitaria en la producción de alimentos y fortalecer la seguridad alimentaria a nivel local. Al evaluar los aspectos sociales de la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas, esta investigación puede proporcionar información relevante para promover la adopción de prácticas agrícolas y piscícolas más inclusivas y sostenibles.

Otro punto importante es que esta investigación también puede contribuir al avance de la ciencia y la tecnología agrícola y piscícola. Los sistemas de Permacuaponia son relativamente nuevos y aún hay mucho por descubrir y mejorar en términos de diseño, implementación y gestión. Los resultados de esta investigación podrían servir como base para futuras investigaciones y

experimentaciones relacionadas con la mejora continua de la Permacuaponia y su adaptación a diferentes condiciones y cultivos.

Además, puede tener un impacto más allá del ámbito local. A medida que el mundo enfrenta desafíos crecientes en términos de seguridad alimentaria, cambio climático y escasez de recursos naturales, la búsqueda de enfoques agrícolas y piscícolas sostenibles y eficientes se ha vuelto más urgente que nunca.

Los resultados de esta investigación pueden ser relevantes y aplicables en diferentes regiones y países, ofreciendo pautas y lecciones aprendidas que pueden ser adaptadas a diferentes contextos agrícolas y piscícolas. Esto es especialmente significativo en países con recursos limitados y una alta dependencia de la agricultura para su economía y sustento de la población.

Además, la promoción de prácticas agrícolas y piscícolas sostenibles como la Permacuaponia puede tener un impacto positivo en la conservación del medio ambiente. Al reducir la dependencia de insumos químicos y promover prácticas de conservación del suelo y el agua, la Permacuaponia puede contribuir a la mitigación del cambio climático y la protección de los ecosistemas.

En el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Organización de las Naciones Unidas, esta investigación puede contribuir directamente a varios ODS, incluyendo el ODS 2 (Hambre cero), ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), ODS 12 (Producción y consumo responsables) y ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres).

Por último, esta investigación también puede despertar el interés en el desarrollo de proyectos y programas de capacitación que promuevan la adopción de la Permacuaponia en la agricultura. La formación de agricultores y técnicos en esta área puede ser una estrategia efectiva para impulsar la implementación exitosa de sistemas de Permacuaponia y maximizar sus beneficios.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Analizar los aspectos relevantes y los impactos de la implementación de un sistema de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Describir los beneficios del modelo de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces, con relación al aumento de la producción, la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, y el control de plagas.
- Identificar los desafíos y limitaciones asociados con la implementación de un sistema de Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces, como la necesidad de conocimientos técnicos especializados y la disponibilidad de recursos adecuados.
- Evaluar el potencial de la Permacuaponia para la producción de alimentos de manera sostenible, considerando aspectos como la conservación del suelo, la reducción de la contaminación y la optimización de los recursos naturales.
- Proporcionar recomendaciones para la adopción y aplicación efectiva de la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces, considerando los beneficios y desafíos identificados.

#### **4. Marco Conceptual**

La Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces es un enfoque innovador y prometedor que combina principios de permacultura y acuaponia para crear sistemas sostenibles y regenerativos. En este marco conceptual, exploraremos los fundamentos y las interconexiones clave que sustentan este enfoque único.

La permacultura, como un enfoque de diseño inspirado en los patrones y procesos naturales, proporciona una base sólida para la implementación de la Permacuaponia. Al observar la forma en que los ecosistemas naturales funcionan en armonía, la permacultura busca emular estos patrones y aplicarlos en el diseño de sistemas agrícolas y piscícolas sostenibles. La integración de la acuaponia en la permacultura crea una sinergia fascinante que nos permite aprovechar los beneficios de los sistemas acuáticos y terrestres en un solo entorno.

En la Permacuaponia, el ciclo de nutrientes es uno de los elementos clave. Los peces proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas a través de sus desechos, que son convertidos en formas asimilables por bacterias nitrificantes. A su vez, las plantas utilizan estos nutrientes para su desarrollo y purifican el agua que se devuelve al sistema acuático, cerrando así el ciclo. Este enfoque circular y autosuficiente minimiza la necesidad de fertilizantes externos y ayuda a mantener un equilibrio natural dentro del sistema.

La eficiencia en el uso del agua es otro aspecto esencial de la Permacuaponia. En contraste con los sistemas convencionales de riego que pueden desperdiciar grandes cantidades de agua, la Permacuaponia recircula y reutiliza el agua de manera efectiva. Este ciclo cerrado no solo reduce la dependencia de fuentes externas de agua, sino que también contribuye a la conservación de este recurso valioso.

Un concepto intrigante de la Permacuaponia es el cultivo sin suelo. En lugar de utilizar suelo tradicional, se emplean medios de cultivo inertes, como grava o bolas de arcilla expandida, donde las raíces de las plantas se desarrollan y se nutren a través del agua rica en nutrientes. Este enfoque innovador permite un mayor control sobre el entorno de cultivo y ofrece flexibilidad en términos de ubicación, lo que resulta especialmente relevante en entornos urbanos o donde la calidad del suelo es limitada.

La Permacuaponia también valora y promueve la biodiversidad y los policultivos. Al integrar diferentes especies de plantas y peces en el sistema, se crean relaciones beneficiosas que

fomentan la resistencia y la estabilidad del sistema. Esta diversidad no solo mejora la productividad, sino que también contribuye a la salud del ecosistema y a la creación de hábitats propicios para la vida silvestre.

En definitiva, la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces es una combinación fascinante de principios permaculturales y acuapónicos. Este enfoque innovador promueve la sostenibilidad, la eficiencia en el uso de recursos y la regeneración del entorno. A medida que nos adentramos en el marco conceptual de la Permacuaponia, exploraremos en detalle los beneficios y desafíos asociados con este sistema, así como su potencial para promover una agricultura más resiliente y sostenible.

**Permacultura:** Como señala Peña Hernández. (2020). La permacultura es un enfoque de diseño que busca crear sistemas sostenibles y regenerativos basados en la observación de los patrones y procesos de la naturaleza. En el contexto de la Permacuaponia en el cultivo de hortalizas y peces, los principios permaculturales se aplican para maximizar la eficiencia de los recursos, minimizar los impactos ambientales y fomentar la resiliencia del sistema. Por ejemplo, se pueden integrar técnicas de captación de agua de lluvia, diseño de paisajes multifuncionales y utilización de plantas nativas para promover la biodiversidad y la estabilidad del sistema.

**Acuaponia:** De acuerdo con Somerville et al. (2022). La acuaponia es un sistema de cultivo que combina la cría de peces en un entorno acuático con el cultivo de plantas en un medio acuoso, donde los desechos de los peces proporcionan nutrientes para el crecimiento de las plantas, y estas a su vez filtran y purifican el agua para el bienestar de los peces. La Permacuaponia, al integrar la acuaponia con los principios permaculturales, va más allá de la simple interacción entre peces y plantas, y busca establecer una conexión holística y simbiótica con el entorno circundante. Se pueden incluir elementos como la creación de hábitats para polinizadores, la utilización de especies de plantas que proporcionen beneficios específicos al sistema acuapónico, y la integración de sistemas de producción de alimentos adicionales, como la cría de aves o la producción de lombrices para el compostaje.

**Ciclo de nutrientes:** En la Permacuaponia, el ciclo de nutrientes es fundamental para el funcionamiento del sistema. Los peces producen desechos ricos en amoníaco, que son convertidos por bacterias nitrificantes en nitratos, una forma asimilable por las plantas. Las plantas, a su vez, toman esos nutrientes del agua y los utilizan para su crecimiento, purificando el agua que se devuelve al sistema acuático. Este ciclo cerrado de nutrientes minimiza la necesidad de

fertilizantes externos y reduce el impacto ambiental asociado con la lixiviación de nutrientes en los suelos y cuerpos de agua circundantes. La comprensión y gestión adecuada de este ciclo de nutrientes es esencial para garantizar la salud y productividad del sistema. (Loor Morán, & Mendoza Cuzme, 2018).

**Uso eficiente del agua:** La Permacuaponia destaca por su uso eficiente del agua. En comparación con los sistemas de riego convencionales, donde se pierde una cantidad significativa de agua por evaporación y drenaje, la Permacuaponia recircula y reutiliza el agua, reduciendo drásticamente los requerimientos hídricos. El agua utilizada en el sistema se mantiene en un ciclo cerrado, lo que minimiza la necesidad de suministro de agua adicional y contribuye a la conservación de este recurso escaso. Además, la utilización de medios de cultivo inertes y técnicas de irrigación por goteo o flujo laminar ayuda a optimizar la distribución y uso eficiente del agua, evitando el desperdicio y asegurando que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua y nutrientes. (Alveal Concha et al, 2014).

**Cultivo sin suelo:** En la Permacuaponia, las plantas se cultivan sin suelo convencional. En su lugar, se utilizan medios de cultivo inertes, como grava, arena o bolas de arcilla expandida, donde las raíces de las plantas se desarrollan y se nutren a través del agua rica en nutrientes. Estos medios de cultivo proporcionan un anclaje físico para las plantas, permiten el flujo adecuado de agua y nutrientes, y evitan la compactación del suelo. Al eliminar la necesidad de suelo, la Permacuaponia ofrece una mayor flexibilidad en términos de ubicación y permite el cultivo de hortalizas y peces en áreas urbanas, en espacios reducidos o en entornos donde el suelo es limitado o de baja calidad. (Silva Ontiveros, 2012).

**Biodiversidad y policultivos:** La Permacuaponia fomenta la biodiversidad y la integración de diferentes especies de plantas y peces en el sistema. La diversidad de especies de plantas cultivadas en el sistema puede incluir hortalizas y peces, hierbas, plantas frutales, plantas medicinales y plantas ornamentales. Esto no solo mejora la estética y el atractivo visual del sistema, sino que también promueve la resistencia y la estabilidad del mismo (Caporal Guaneros, 2017). Al introducir diferentes especies de peces en el sistema acuático, se pueden aprovechar las interacciones beneficiosas entre ellos, como el control natural de plagas o la utilización de diferentes niveles de la columna de agua para evitar la competencia por recursos. La biodiversidad y los policultivos en la Permacuaponia ayudan a crear un equilibrio natural y aumentar la resiliencia del sistema frente a los cambios ambientales y las perturbaciones. (Nicholls et al, 2015).

**Sostenibilidad y resiliencia:** La Permacuaponia se basa en principios de sostenibilidad y resiliencia, buscando crear sistemas agrícolas y piscícolas sostenibles más equilibrados y autosuficientes. Desde el punto de vista de Belloni (2017). Al integrar técnicas permaculturales y acuapónicas, la Permacuaponia maximiza la eficiencia de los recursos, minimiza el uso de insumos externos y promueve la autorregulación del sistema. Al diversificar y fortalecer las interacciones entre los componentes del sistema, se mejora la resiliencia frente a factores como sequías, fluctuaciones en la calidad del agua o enfermedades. La Permacuaponia se esfuerza por reducir la dependencia de los insumos externos, como los fertilizantes químicos y los pesticidas, y busca crear ciclos cerrados de nutrientes y energía dentro del sistema.

**Beneficios ambientales:** La Permacuaponia ofrece varios beneficios ambientales. Teniendo en cuenta a Mejía Guerra, (2022). Al recircular y reutilizar el agua, se reduce la necesidad de extraer agua de fuentes externas y se minimiza la contaminación del agua por la lixiviación de nutrientes. La utilización de medios de cultivo inertes y técnicas de cultivo sin suelo ayuda a preservar los suelos y evita la erosión. Además, al reducir el uso de fertilizantes y pesticidas químicos, se disminuye la contaminación del suelo y del agua subterránea. La Permacuaponia también puede contribuir a la conservación de la biodiversidad al promover la creación de hábitats para polinizadores y otros organismos beneficiosos, así como al utilizar prácticas de cultivo orgánicas y regenerativas.

**Productividad y calidad de las hortalizas y peces:** La Permacuaponia tiene el potencial de mejorar la productividad y la calidad de las hortalizas y peces cultivadas. Como afirma Bueno (2015). Al proporcionar un suministro constante de nutrientes y agua, las plantas pueden crecer de manera saludable y vigorosa, lo que puede resultar en mayores rendimientos y cosechas más abundantes. Además, al cultivar en un entorno controlado y optimizado, se pueden obtener hortalizas y peces de alta calidad, con características organolépticas superiores, mayor contenido nutricional y una mayor vida útil. La Permacuaponia también permite un mayor control sobre las condiciones de crecimiento, lo que puede ayudar a minimizar el riesgo de enfermedades y plagas, y favorecer el cultivo de variedades locales y adaptadas al entorno. (Cuamacás Tierra & Sinche Chisaguano, 2014).

## 5. Estado del Arte

El presente marco teórico aborda de manera amplia diversos aspectos relacionados con la agricultura, la piscicultura y la acuaponía, profundizando en su impacto histórico, evolución, principios fundamentales y su relevancia en la actualidad. Se explora el papel transformador de la agricultura en el desarrollo de las sociedades humanas, desde su capacidad para establecer asentamientos permanentes hasta los desafíos ambientales que plantea en la actualidad.

Asimismo, se rastrea el origen de la piscicultura desde sus inicios en culturas antiguas hasta su papel en la seguridad alimentaria global. La historia de la acuicultura en Colombia se analiza detalladamente, desde sus raíces en las prácticas indígenas hasta su consolidación como una industria significativa en la economía del país. Además, se explora el surgimiento y los principios fundamentales de la acuaponía, destacando su enfoque en la simbiosis entre sistemas de cría de peces y cultivo de plantas.

Finalmente, se examina la importancia de la filtración en la piscicultura y la necesidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas, así como se analizan las ventajas y desventajas tanto de la acuaponía como de los sistemas acuapónicos. Este marco teórico busca proporcionar una visión integral de estos temas interconectados, sentando las bases para comprender su impacto y aplicaciones en la actualidad.

La agricultura ha sido una actividad fundamental en la historia de la humanidad, ya que ha proporcionado alimentos, materias primas y un sustento económico a las sociedades a lo largo de los siglos. Sin embargo, el impacto de la agricultura no se limita únicamente a la producción de alimentos; abarca una amplia gama de aspectos que van desde la ecología hasta la economía global. En este marco teórico, exploramos en profundidad el impacto de la agricultura en varios ámbitos y contextos.

**Impacto Ambiental:** De acuerdo con Triviño Pineda, (2015). La agricultura moderna ha tenido un profundo impacto en el medio ambiente. La conversión de tierras naturales en tierras de cultivo ha llevado a la pérdida de hábitats naturales, la degradación del suelo y la disminución de la biodiversidad. Además, el uso intensivo de agroquímicos como pesticidas y fertilizantes puede causar la contaminación del suelo y el agua, afectando los ecosistemas acuáticos y terrestres. La irrigación excesiva puede agotar los recursos hídricos, llevando a la desertificación en algunas regiones.

**Seguridad Alimentaria:** Según Altieri & Nicholls (2001). La agricultura es esencial para garantizar la seguridad alimentaria a nivel global. La producción de cultivos y ganado proporciona los alimentos básicos necesarios para la supervivencia humana. Sin embargo, el crecimiento de la población mundial plantea desafíos para la agricultura, ya que se requiere aumentar la producción de alimentos de manera sostenible para alimentar a todos de manera adecuada.

**Economía:** La agricultura es un pilar económico en muchas naciones, especialmente en países en desarrollo. Contribuye a la generación de empleo y al desarrollo rural al proporcionar oportunidades de trabajo en las zonas agrícolas. Además, la exportación de productos agrícolas puede ser una fuente significativa de ingresos para la economía nacional. (Gálvez Feijoo, 2021).

**Cambio Climático:** Citando a Nicholls et al (2015). La agricultura tiene un doble papel en relación con el cambio climático. Por un lado, la agricultura es vulnerable a los efectos del cambio climático, como sequías, inundaciones y cambios en los patrones de temperatura. Por otro lado, la actividad agrícola también es una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente metano y óxido nitroso, que contribuyen al calentamiento global.

**Innovación Tecnológica:** Como opina Aibar (2002) .La agricultura ha sido testigo de avances tecnológicos significativos a lo largo de los años. Desde la Revolución Verde hasta la adopción de la biotecnología, la ingeniería genética y la agricultura de precisión, la innovación tecnológica ha transformado la forma en que se producen los cultivos y se cría el ganado. Estas tecnologías pueden aumentar la productividad y la eficiencia, pero también plantean preguntas sobre su seguridad y sostenibilidad a largo plazo.

**Desarrollo Sostenible:** El concepto de desarrollo sostenible plantea la necesidad de equilibrar la producción agrícola con la conservación del medio ambiente y el bienestar social. La agricultura sostenible busca minimizar los impactos negativos en el entorno natural, mejorar la equidad en la distribución de recursos y fomentar prácticas agrícolas que sean viables a largo plazo. (Paniagua, & Moyano, 1998).

Como señala Carciofi et al (2017). La piscicultura, o cría de peces, tiene sus raíces en las prácticas de acuicultura que se remontan a las civilizaciones antiguas. Los primeros registros de piscicultura provienen de la antigua China, donde se desarrollaron métodos de cría de carpas y otros peces hace más de 4,000 años. Los agricultores chinos comenzaron a criar peces en estanques y arrozales, aprovechando los nutrientes que los peces proporcionaban a las plantas y viceversa.

Esta simbiosis entre la agricultura y la acuicultura se convirtió en una práctica común en muchas partes del mundo.

En Egipto, se encontraron evidencias de estanques de cría de peces en tumbas que datan de hace más de 4,500 años. Los egipcios criaban diversos tipos de peces en sistemas de estanques conectados al río Nilo. Estos métodos se utilizaron no sólo para la alimentación, sino también en rituales religiosos y festivos. (McGrath, 2014).

En la antigua Roma, los estanques de piscicultura también eran comunes, y se criaban peces como la carpa y la trucha en estos sistemas. La piscicultura continuó desarrollándose a lo largo de la historia en diferentes culturas, pero con avances más significativos en los últimos siglos gracias al conocimiento científico y tecnológico. (Cházari, 1884).

En Colombia, la acuicultura tiene una larga historia que se remonta a las prácticas de las poblaciones indígenas precolombinas. Los pueblos indígenas de la región amazónica y de la costa caribeña practicaban la cría de peces en estanques y lagunas, como parte de sus sistemas agrícolas.

Sin embargo, la acuicultura moderna en Colombia tuvo sus inicios en la década de 1950 con la introducción de especies exóticas como la trucha arcoíris y el bagre africano en la región Andina. En la década de 1970, se establecieron los primeros centros de investigación acuícola y se promovieron programas de desarrollo de la acuicultura en diferentes regiones del país. (Castaño Bonilla & Daza Gutierrez, 2012).

En la costa caribeña, la cría de camarones fue una actividad destacada durante las décadas de 1970 y 1980, aunque enfrentó desafíos relacionados con enfermedades y problemas ambientales. A medida que avanzaba el tiempo, se diversificaron las especies cultivadas, incluyendo tilapia, cachama y otros peces de agua dulce. (Merino, et al 2013).

Teniendo en cuenta a Merino, et al (2013). La acuicultura en Colombia ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, impulsado por la demanda de proteína animal, la necesidad de diversificar la producción y la búsqueda de alternativas sostenibles. Se han implementado prácticas más tecnificadas y se han promovido investigaciones para mejorar la eficiencia de la producción y mitigar los impactos ambientales.

Como opina Ruiz Fernández, (2019). La acuaponía es un sistema de producción sostenible que combina la acuicultura (crianza de peces u otros organismos acuáticos) con la hidroponía (cultivo de plantas en agua sin suelo). Este enfoque integrado permite el reciclaje de nutrientes y el aprovechamiento eficiente de los recursos, creando un sistema simbiótico en el que los desechos

de los peces se utilizan como nutrientes para las plantas, y las plantas purifican el agua que luego regresa al sistema de peces.

Según Ruiz Fernández, (2019). Aunque la acuaponía ha ganado popularidad en las últimas décadas como una forma innovadora de producción de alimentos, sus principios tienen raíces antiguas en prácticas tradicionales de algunas culturas. Por ejemplo, en Asia, se practicaba una forma temprana de acuaponía en los arrozales, donde se criaban peces en los campos inundados de arroz y los desechos de los peces proporcionaban nutrientes a las plantas de arroz.

Sin embargo, el término "acuaponía" en sí mismo es más moderno y fue acuñado en la década de 1970 por los investigadores acuaculturales. Desde entonces, la acuaponía ha evolucionado con avances tecnológicos y se ha convertido en un enfoque más estructurado y eficiente para la producción de alimentos. (Caló, 2011).

La acuaponía se basa en varios principios clave que permiten la interacción beneficiosa entre los componentes acuáticos y vegetales del sistema:

**Reciclaje de Nutrientes:** Gamarra Alcántara, & Mija Huamán, (2020). Menciona que los desechos de los peces, como el amoníaco, son convertidos por bacterias en nitratos, que son nutrientes esenciales para las plantas. Las plantas absorben estos nutrientes, lo que purifica el agua para los peces.

**Sistema Cerrado:** Gordillo (2017). Describe que la acuaponía se puede diseñar como un sistema cerrado, lo que significa que el agua se recircula constantemente entre los tanques de peces y las camas de cultivo. Esto reduce la necesidad de grandes cantidades de agua y minimiza el impacto ambiental.

**Densidad de Peces y Plantas:** Naspirán Jojoa et al, (2022). Afirma que el sistema funciona mejor cuando existe un equilibrio entre la densidad de peces y la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes. Demasiados peces pueden generar un exceso de nutrientes que podría ser perjudicial para las plantas.

**Selección de Especies:** Al elegir las especies de peces y plantas adecuadas para el sistema, se puede maximizar la eficiencia y el rendimiento. Algunas especies de peces y plantas son más compatibles que otras en términos de requerimientos de nutrientes y condiciones de agua. (Naspirán Jojoa et al, 2022).

**Monitoreo y Mantenimiento:** Candarle (2015). Plantea que la acuaponía requiere un monitoreo constante de parámetros como el pH, la temperatura, los niveles de oxígeno y los niveles

de nutrientes. Mantener estos parámetros dentro de rangos óptimos es esencial para el éxito del sistema.

**Sostenibilidad:** Guerrero Zepeda, (2014). Opina que uno de los principales beneficios de la acuaponía es su enfoque en la sostenibilidad. Al aprovechar la sinergia entre la cría de peces y el cultivo de plantas, la acuaponía puede reducir la necesidad de insumos externos y minimizar los desechos.

La filtración de partículas finas en la piscicultura es un proceso fundamental para mantener la calidad del agua en los sistemas de cría de peces. La eliminación de partículas finas y sólidos suspendidos es esencial por varias razones:

**Calidad del Agua:** De acuerdo con Negra Jiménez, (2015). Las partículas finas, como los restos de alimentos no consumidos, excrementos de peces y otros desechos orgánicos, pueden acumularse en el agua y degradar su calidad. Esto puede afectar la oxigenación, aumentar la demanda biológica de oxígeno y crear condiciones propicias para el crecimiento de bacterias y patógenos.

**Salud de los peces:** Un exceso de partículas finas en el agua puede irritar las branquias y la piel de los peces, lo que puede llevar a problemas de salud y aumentar la susceptibilidad a enfermedades. Además, el estrés causado por la mala calidad del agua puede afectar negativamente el crecimiento y la reproducción de los peces. (Negra Jiménez, 2015).

**Eficiencia Alimentaria:** Las partículas finas pueden contaminar y enturbiar el agua, lo que dificulta que los peces detecten y consuman el alimento de manera eficiente. Esto puede resultar en un desperdicio de alimento y un crecimiento subóptimo de los peces. (Castro Martínez & Rodríguez Caro, 2021).

**Filtración Biológica:** Citando a Castro Martínez & Rodríguez Caro, (2021). La filtración de partículas finas también puede ser un componente clave de los sistemas de filtración biológica. Las bacterias nitrificantes beneficiosas se adhieren a las superficies de las partículas y ayudan a descomponer los desechos tóxicos como el amoníaco y el nitrito.

**Prevención de Problemas Ambientales:** La liberación de agua contaminada con partículas finas al medio ambiente puede tener un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos naturales, al afectar la claridad del agua, la disponibilidad de luz para las plantas acuáticas y la vida acuática en general. (Vallejo Miranda, 2015).

Las plantas, tanto en sistemas acuáticos como terrestres, necesitan una serie de nutrientes esenciales para crecer de manera saludable. Estos nutrientes se dividen en macronutrientes y micronutrientes, según la cantidad en la que las plantas los necesitan.

*Macronutrientes:*

Nitrógeno (N): Es fundamental para la formación de proteínas, enzimas y clorofila. Los nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y el amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) son las principales formas en las que las plantas toman nitrógeno del medio ambiente.

Fósforo (P): Es esencial para la síntesis de ADN, ARN y ATP, y desempeña un papel crucial en la transferencia de energía en las células.

Potasio (K): Ayuda a la regulación de la apertura y cierre de los estomas, lo que afecta la transpiración y la fotosíntesis. También es necesario para la síntesis de proteínas y carbohidratos. (León Guerra, 2020).

*Micronutrientes:*

Hierro (Fe): Es necesario para la producción de clorofila y para la transferencia de electrones en la fotosíntesis.

Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo): Estos micronutrientes son cofactores esenciales para diversas enzimas involucradas en diversas funciones metabólicas.

Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S): Aunque se requieren en cantidades más pequeñas que los macronutrientes principales, son esenciales para el crecimiento y la estructura de las plantas. (León Guerra, 2020).

En sistemas de acuaponía, estos nutrientes esenciales son proporcionados principalmente por los desechos de los peces y los procesos biológicos en el sistema. Los excrementos de los peces y los restos de alimento degradados liberan nutrientes que son absorbidos por las raíces de las plantas. Esta interacción es uno de los pilares fundamentales de la acuaponía, ya que los nutrientes excretados por los peces se utilizan para nutrir las plantas, purificando así el agua para los peces.

**Eficiencia en el Uso de Recursos:** La acuaponía utiliza menos agua en comparación con la agricultura tradicional, ya que el agua se recircula continuamente entre los sistemas de cría de peces y las camas de cultivo. Esto hace que la acuaponía sea más eficiente en el uso de este recurso escaso. (Somerville, et al 2022).

**Producción de Alimentos:** De acuerdo con Suárez Cáceres, (2021). La acuaponía permite la producción simultánea de peces y plantas comestibles en un solo sistema. Esto aumenta la variedad de alimentos producidos y ofrece una fuente de proteínas y vegetales frescos.

**Sostenibilidad:** Como opina Silva Ontiveros, (2012). Al aprovechar la sinergia entre los componentes acuáticos y vegetales, la acuaponía crea un sistema cerrado que recicla nutrientes y reduce los desechos. Esto puede resultar en una producción más sostenible y amigable con el medio ambiente.

**Ahorro de Espacio:** Según Espinosa Osorio & Cerón Ramírez, (2022). La acuaponía puede ser implementada en espacios relativamente pequeños, lo que la hace adecuada para áreas urbanas y espacios limitados.

**Control del Ambiente:** Algunos sistemas de acuaponía permiten un mayor control sobre las condiciones de crecimiento, como la temperatura y la iluminación. Esto puede ser beneficioso para cultivar plantas fuera de su temporada de crecimiento natural. (Sánchez, 1982).

**Reducción de Uso de Insumos:** Al reciclar los nutrientes entre peces y plantas, la acuaponía puede reducir la necesidad de fertilizantes y otros insumos externos. (Somerville, et al 2022).

**Complejidad Técnica:** La acuaponía puede ser más compleja que los sistemas agrícolas tradicionales y puede requerir un mayor conocimiento técnico para operar y mantener. (López Sandoval, 2022).

**Costos Iniciales:** Según Guerrero Zepeda, (2014). Establecer un sistema de acuaponía puede requerir una inversión inicial significativa en equipos y tecnología, lo que puede ser una barrera para algunos agricultores.

**Monitoreo y Mantenimiento Constantes:** Los sistemas de acuaponía requieren un monitoreo y mantenimiento continuo para garantizar que los niveles de nutrientes, pH y otros parámetros se mantengan dentro de rangos óptimos. (Somerville, et al 2022).

**Sensibilidad a los Desajustes:** Los desequilibrios en el sistema, como el aumento de nutrientes o la acumulación de desechos, pueden tener un impacto negativo en la salud de los peces y el crecimiento de las plantas. (Moreta Pozo, 2011).

Dependencia Energética: De acuerdo con Espinosa Osorio & Cerón Ramírez (2022). Algunas formas de acuaponía pueden requerir equipos de calefacción, iluminación artificial y sistemas de recirculación que consumen energía.

Limitación de Especies: Suárez Cáceres, (2021). Opina que no todas las especies de peces y plantas son igualmente adecuadas para la acuaponía. La elección de las especies debe considerar sus requisitos de nutrientes y condiciones de crecimiento.

## 6. Marco Legal

En el contexto de la acuicultura y el manejo de recursos pesqueros ícticos en aguas continentales de Colombia, se han establecido diversas normativas para regular y garantizar la sostenibilidad de estas actividades. Entre las principales resoluciones que rigen estas actividades se encuentran:

Resolución 2838 de 2017 - AUNAP: por la cual se establecen las directrices técnicas y los requisitos para realizar repoblamiento y rescate, traslado y liberación con recursos pesqueros ícticos en aguas continentales de Colombia y se deroga la resolución No. 0531 del 20 de Contenido diciembre de 1995 expedida por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura – INPA.

Consagra las condiciones para realizar actividades de repoblamiento, rescate, traslado y liberación de recursos pesqueros en aguas continentales, estableciendo directrices técnicas para dos instrumentos de manejo y aclarando que se deben ejecutar acciones complementarias que contrarresten las causas de la disminución de las poblaciones y acciones de seguimiento y monitoreo.

Por otro lado, la norma aclara que las actividades de repoblamiento por siembra sólo podrán emplear especies nativas de la misma zona geográfica de la actividad, entre otras condiciones, y determina los requisitos que deben cumplir los sujetos que estén interesados en realizar actividades de repoblamiento, rescate, traslado y liberación.

Finalmente, la resolución determina que los establecimientos de acuicultura que provean individuos para el repoblamiento no sólo deberán contar con el permiso de cultivo expedido por la AUNAP sino que deberán “certificar el origen de la población parental y contar con la infraestructura suficiente para mantener los reproductores y la semilla separados de la producción comercial de cultivo”. (AUNAP, 2017).

Resolución 2879 de 2017 - AUNAP: por la cual se establecen los requisitos que deben cumplir los establecimientos dedicados a la acuicultura en el país para minimizar los riesgos de escape de especímenes de recursos pesqueros ícticos de especies exóticas, domesticadas y/o trasplantadas y de camarón marino a cuerpos de agua naturales o artificiales. (AUNAP, 2017)

Establece los requisitos mínimos que deben cumplir los establecimientos de acuicultura para evitar el escape de recursos pesqueros exóticos, domesticados y/o trasplantados. De esta manera, determina las condiciones obligatorias de la infraestructura de los estanques y de las jaulas

flotantes para la realización de actividades de acuicultura; establece los requisitos de planificación, de introducción al país por primera vez (estudios de viabilidad técnica y de impacto ambiental), de transporte y prohíbe la realización de actividades de acuicultura de especies exóticas, trasplantadas y/o domesticadas en sistemas como corrales o encierros piscícolas.

Es preciso resaltar que la presente norma contiene disposiciones especiales para la acuicultura de camarón marino tales como la prohibición de cultivarlo en cuerpos de agua naturales o artificiales que tengan algún tipo de conexión con cuerpos de agua natural.

Resolución 883 de 2018 - MADS: por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas y se dictan otras disposiciones. (Minambiente, 2018)

Determina los límites máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de aguas marinas derivados de actividades de acuicultura, al igual que los parámetros fisicoquímicos que se deben monitorear en el desarrollo de las actividades.

Resolución 1263 de 2018 - MADS: por medio de la cual se actualizan las medidas para garantizar la sostenibilidad y la gestión integral de los ecosistemas de manglar. (Minambiente, 2018).

Expide los lineamientos para garantizar la sostenibilidad y la gestión integral de los manglares en Colombia y, entre otros aspectos, determina la prohibición de realizar actividades de acuicultura dentro del manglar.

## **7. Metodología**

### **7.1 Tipo de Investigación**

Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se analizó el proceso, demostrando las ventajas y desventajas de los sistemas de producción agrícola tradicionales y urbanos. Además, dichas investigaciones sirven para el desarrollo de nuevos descubrimientos y teorías. Asimismo, la investigación es ideal para el trabajo de campo en ambientes naturales.

### **7.2 Instrumentos para la recolección de información**

En cuanto a la obtención de la información a recopilar se requieren fuentes primarias y secundarias. La explicación es la siguiente:

- *Fuentes primarias:*

Contenido comprendiendo los procesos de este cultivo de Permacuaponia con las familias participantes en cada una de las etapas desde inicio hasta la producción de peces y hortalizas que se desarrollaron en el proyecto.

Recolectar información de características y propiedades que tenga la producción de peces y hortalizas, mediante el modelo de Permacuaponia, las investigadoras buscan fuentes secundarias las cuales se basan en investigaciones y registros que estén relacionados con el tema de permacultura y acuaponía.

- *Fuentes secundarias:*

Consulta a Tutor de investigación y mediante investigaciones de temas de permacultura y acuaponía, recopilando información y resultados de otros trabajos de grado.

### **7.3 Técnicas de análisis y presentación de resultados**

Se revisan los hallazgos encontrados durante la etapa productiva a través de material fotográfico y descripción de los procesos. (Ver Anexos).

#### 7.4 Etapas metodológicas de la investigación

De esta manera el trabajo tuvo un avance basado en 6 etapas metodológicas.

La explicación es la siguiente:

- ETAPA 1: Búsqueda de la especie de peces que son factibles de sembrar juntamente con las hortalizas
- ETAPA 2: Determinar el tipo de hortalizas que se van a sembrar
- ETAPA 3: Preparación de los 2 estanque con una dimensión de 10x40 y una profundidad de 90cm, en los que se instalara 3 líneas de malla que sustentan las bandejas de las hortalizas
- ETAPA 4: Siembra de semilleros y de alevinos en los estanques
- ETAPA 5: El seguimiento y toma de información en cuanto medición y pesaje de peces y hortalizas.
- ETAPA 6: resultados

El método productivo de la Permacuaponia se considera en la relación de plantas y peces entre sí, en donde los peces generan desechos los cuales las hortalizas los aprovechan con su sistema radicular consiguiendo nutrientes necesarios.

El proceso está compuesto y organizado de la siguiente manera:

En la Institución Educativa Agrícola Guacavia ubicada en Restrepo Meta se realizó el proyecto con la colaboración del colegio prestándonos para el desarrollo de la actividad piscícola dos estanques de 10m de ancho x 40m de largo y 90cm de profundidad, en cada estanque se agregaron 500 mojarras y 100 cachamas, adicionalmente una vez los alevinos lleguen a una edad de 25 días y pasen de alevinos a mojarrín con un peso promedio de 30 gs, sobre la superficie se instalaron tres mallas con las bandejas de hortalizas germinadas con la misma cantidad de días.

La alimentación para los alevinos se realizó mediante concentrado para alevinos con un nivel de proteína del 42%, a los que se le suministro el 10% de la biomasa en dos comidas al día, 10 am y 3 pm, a diferencia del sistema tradicional de tres alimentaciones al día, buscando un menor consumo de alimento debido al control natural de nitrógeno y fosforo por parte de las raices de las hortalizas, se espera un ahorro del 20% del alimento por efectos del sistema.

Se realizó la siembra de lechuga crespa por ser la hortaliza capaz de desarrollarse eficientemente en un sistema de producción hidropónico y mejorar la producción esperada a partir de la mejor calidad nutricional del agua.

Por otro lado, el sistema de modelo de Permacuaponía consiste en aprovechar de una manera más eficiente las áreas de producción aumentando la relación de hortalizas y peces, las hortalizas utilizarán como alimento parte de las excretas de los peces y su componente nitrógeno y fosforo, y los peces aprovecharan de una manera mas eficiente el alimento por efectos de una mejor calidad del agua debido a la filtración que hace las plantas en su crecimiento.

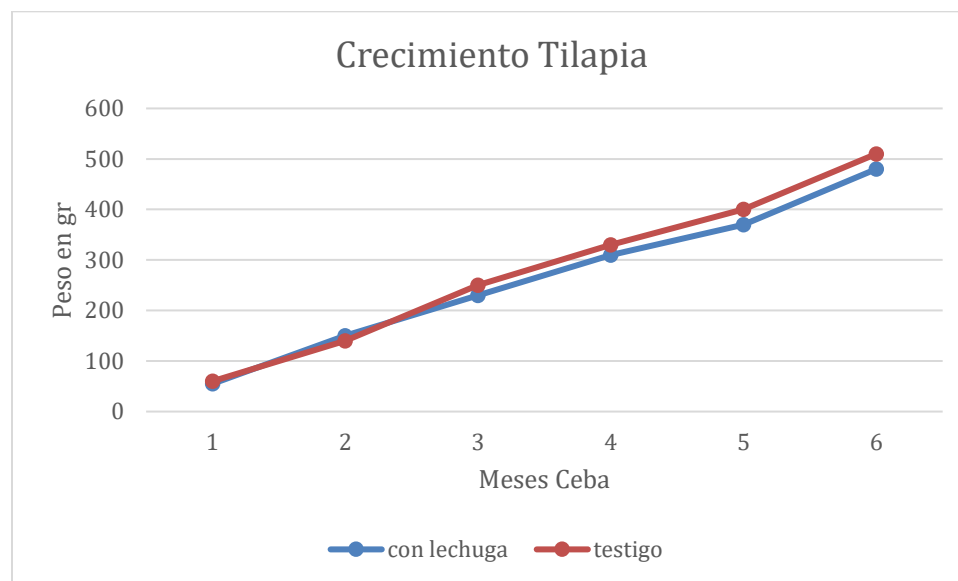
Se implementaron componentes característicos como:

El componente principal es el piscícola, el segundo es el hidropónico los cuales nos dan un tercer componente que es la agricultura tradicional, la cual se adapta al modelo de Permacuaponia, articulando que este sea mucho más productivo.

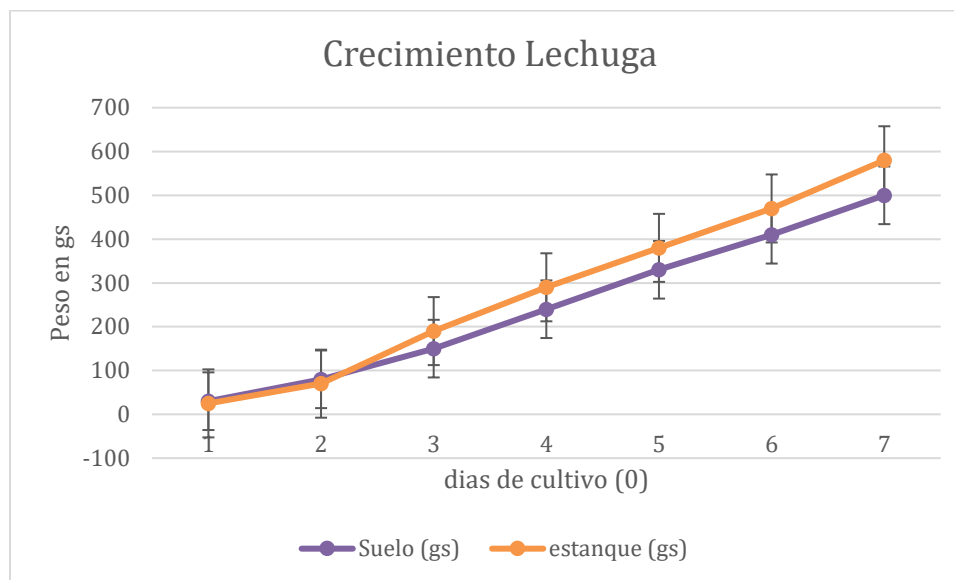
Mediante las siguientes figuras podemos observar el comportamiento de los dos sistemas

### Figura 1

#### *Crecimiento de Tilapia*



*Nota.* Podemos observar que el crecimiento de la tilapia del estanque testigo no fue significativo frente al crecimiento de la tilapia que se estaba cosechando con la lechuga, el tiempo de ceba para ambos casos fue de 6 meses y se alimentaron con la misma comida en la misma proporción.

**Figura 2***Crecimiento de Lechuga*

*Nota.* El peso y rendimiento de la lechuga cosechada en el sistema de permacuaponia fue en promedio de 580 gr en 70 días de cultivo frente al sistema de cultivo en suelo que fue en promedio de 510 gr en el mismo tiempo, teniendo rendimientos significativamente mayores por metro cuadrado de 25, 550 gr, comparado contra los 17,850 gr del sistema de producción en suelo.

Podemos decir que si comparamos los beneficios del sistema de permacuaponía versus el sistema tradicional donde se cultiva tilapia combinada con hortalizas, el contenido de nutrientes del estanque permite deducir que la planta los aprovecha de una manera más eficiencia lo que se traduce en una mayor producción sin afectar el crecimiento de la tilapia.

## Conclusiones

Tras la realización y seguimiento de la implementación del proyecto, se derivan conclusiones significativas que destacan su impacto:

- El proyecto fomenta la integración social en torno a la seguridad alimentaria, contribuyendo a la erradicación de la pobreza y la desnutrición.
- Se evidencia la viabilidad de integrar factores de producción en proyectos de agricultura urbana, demostrado por la producción exitosa en espacios reducidos.
- La permacuaponía emerge como un sistema innovador y versátil para obtener alimentos de alta calidad y bajo costo, adaptándose a diversos presupuestos y espacios.
- La falta de conocimiento sobre el modelo de permacuaponía contrasta con su potencial, dada su alta eficiencia y rendimientos, que hacen más rentable la producción de peces por la posibilidad de obtener una doble producción peces y hortalizas en la misma área.
- El sistema contribuye positivamente a la seguridad alimentaria, posibilitando la transición hacia la soberanía alimentaria mediante la diversificación de cultivos.

El análisis de resultados del estudio refuerza las siguientes conclusiones:

- La permacuaponía se erige como una alternativa simbiótica entre piscicultura y agricultura, maximizando beneficios a través del uso compartido de recursos hídricos.
- La combinación de piscicultura y acuaponía optimiza la utilización del agua al aprovechar la carga orgánica para enriquecer la producción vegetal.
- La adopción de sistemas permacuaponícos no solo incrementa la producción, sino que también presenta ventajas ambientales al reducir compuestos nocivos en el agua.
- La permacuaponía abre oportunidades de producción orgánica, empoderando a los agricultores con alternativas productivas y añadiendo valor a sus productos.
- Este enfoque emerge como una estrategia de soberanía alimentaria a largo plazo, especialmente en áreas con escasez de agua y limitados recursos productivos.

## **Recomendaciones**

Desde el punto de vista como Administradoras de Empresas Agropecuarias y la experiencia obtenida en este trabajo y con otros trabajos previos o relacionados con el sistema de permacuaponia se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto, se recomienda que, a futuros investigadores interesados en el proyecto, sean mucho más meticulosos a la hora de implementarlo, ya que se debe observar muy a detalle los cambios climáticos en el tiempo que se vaya a realizar, para poder tener un mejor control del manejo de los dos sistemas que están siendo objetos del análisis.

Por otro lado, para logra generar un modelo estándar y eficaz se recomienda realizar modificaciones de infraestructura, además de una asesoría profesional para que logre satisfacer los objetivos que se quieran llegar a alcanzar al desarrollar este sistema permacuaponico.

Es importante destacar este tipo de proyectos que, aunque se presentan dificultades es un aporte significativo como practica de campo el cual brinda un conocimiento más profundo e innovador, el cual debería generarse como pauta sin excepción para el proceso de formación de un Administrador de Empresas Agropecuarias.

### Referencias Bibliográficas

- Aibar, E. (2002). *Tecnología, civilización y barbarie (Vol. 131)*. Anthropos Editorial.
- Altieri, M. & Nicholls, C. (2001). *Agroecología: principios y estrategias para una agricultura sustentable en la América Latina del siglo XXI*. agroeco.org  
<https://agroeco.org/doc/pengue.htm>
- Altieri, M., Koohafkan, P., & Gimenez, E. (2012). *Agricultura verde: fundamentos agroecológicos para diseñar sistemas agrícolas biodiversos, resilientes y productivos*. *Agroecología*, 7(1), 7-18. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/170961/146181>
- Alveal Concha, M., Pita Vives, V. & Campos González, K. (2014). *Estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo*. [Trabajo de grado, Universidad del Bío]. Repositorio Institucional. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/797>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP. (2017). *Resolución 2838 de 2017. Por la cual se establecen las directrices técnicas y los requisitos para realizar repoblamiento y rescate, traslado y liberación con recursos pesqueros ícticos en aguas continentales de Colombia y se deroga la Resolución número 531 del 20 de diciembre de 1995 expedida por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA)*. Diario Oficial No. 50.488. [https://www.redjurista.com/Documents/resolucion\\_2838\\_de\\_2017\\_aunap.aspx#/](https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_2838_de_2017_aunap.aspx#/)
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP. (2017). *Resolución 2879 de 2017. Por la cual se establecen los requisitos que deben cumplir los establecimientos dedicados a la acuicultura en el país para minimizar los riesgos de escape de especímenes de recursos pesqueros ícticos de especies exóticas, domesticadas y/o trasplantadas y de camarón marino a cuerpos de agua naturales o artificiales*. Diario Oficial No. 50.488. [https://www.redjurista.com/Documents/resolucion\\_2879\\_de\\_2017\\_aunap.aspx#/](https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_2879_de_2017_aunap.aspx#/)
- Belloni, M. (2017). *Resiliencia de los sistemas agroecológicos ante el cambio climático*. [Trabajo de grado]. Universidad Nacional de la Matanza. [https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-C-Belloni/publication/320694880\\_Resiliencia\\_de\\_los\\_Sistemas\\_Agroecologicos\\_ante\\_el\\_Cambio\\_Climatico/links/59f4d0c0a6fdcc075ec4b910/Resiliencia-de-los-Sistemas-Agroecologicos-ante-el-Cambio-Climatico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-C-Belloni/publication/320694880_Resiliencia_de_los_Sistemas_Agroecologicos_ante_el_Cambio_Climatico/links/59f4d0c0a6fdcc075ec4b910/Resiliencia-de-los-Sistemas-Agroecologicos-ante-el-Cambio-Climatico.pdf)

- Bernal Suarez, A., Pinzón Carreño, K., Gutiérrez Mejía, D. & Colmenares Botía, L. (2020). *Oportunidades de Desarrollo Económico Local que podrían potencializarse a través de la Cooperación Internacional, en el Sector agrícola del Municipio de Socha–Boyacá*. Revista de Economía del Caribe. (26). 1-29. <https://doi.org/10.14482/ecoca.26.338.98>
- Bueno, M. (2015). *El huerto familiar ecológico*. RBA Libros.
- Caló, P. (2011). *Introducción a la acuaponía*. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- Candarle, P. (2015). *Técnicas de acuaponía*. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC). Dirección de acuicultura. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/\\_archivos//000000\\_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/160831\\_T%C3%A9nicas%20de%20Acuaponia.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/160831_T%C3%A9nicas%20de%20Acuaponia.pdf)
- Caporal Guarneros, Y. (2017). *La agricultura urbana para construir proyectos alternativos alimentarios, ambientales y sociales en los municipios de Puebla, Cuatlancingo y San Andrés Cholula*. [Tesis doctoral, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/1124>
- Carvajal Cañarte, E. (2019). *La agricultura familiar campesina y su asociación con la soberanía alimentaria y la diversidad de las dietas*. [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Institucional. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52740/1/T-111151%20Carvajal%20Ca%c3%blarte.pdf>
- Castaño Bonilla, M., & Daza Gutierrez, D. (2012). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la producción y comercialización de Tilapia (Oreochromis) en el municipio de Tuluá*. [Trabajo de grado, Unidad Central del Valle del Cauca]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12993/286>
- Castro Martínez, L., & Rodríguez Caro, E. (2021). *Relación entre las prácticas de alimentación y su efecto sobre la calidad del agua en estanques de piscicultura*. [Tesis de pregrado - Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5062>
- Cházari, E. (1884). *Piscicultura en agua dulce: instrucciones escritas á encargo de la Secretaría de fomento*. Ofic. tip. de la Secretaría de fomento.

- Cuamacás Tierra, C. & Sinche Chisaguano, J. (2014). *Estudio de factibilidad para el fomento de la agricultura orgánica urbana de hortalizas y peces (Acelgas) en el sector de La Argelia Alta*. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7407>
- Espinosa Osorio, S., & Cerón Ramírez, B. (2022). *Diseño e implementación de un sistema electrónico para cultivo hidropónico autónomo utilizando energía solar*. [Trabajo de grado, Unidad Central del Valle]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uceva.edu.co/bitstream/handle/20.500.12993/2601/T00032142.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gálvez Feijoo, A. (2021). *Importancia de la agricultura para el desarrollo de las comunidades rurales de la parroquia Malvas del cantón Zaruma*. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21495>
- Gamarra Alcántara, J., & Mija Huamán, E. (2020). *Comparación de eficiencia en la remoción de nitratos usando distintas especies vegetales en un sistema acuapónico*. [Trabajo de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3218>
- González Bermúdez, A. (2017). *Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior*. [Trabajo de grado, Universidad de Sevilla]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/11441/70617>
- Gordillo Santander, S. (2017). *Residuo sólido acuapónico, como solución nutritiva hidropónica: una alternativa de producción sustentable*. [Tesis de maestría, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12753/676>
- Guerrero Zepeda, R. (2014). *Proyecto acuapónico para comunidades ejidales de Quintana Roo bajo la tutela del estado con directrices de sustentabilidad y productividad*. [Tesis de Maestría], Universidad de Quintana Roo]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12249/63>
- León Guerra, K. (2020). *Fertilizantes nitrogenados en el desarrollo y producción en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.), en el cantón Babahoyo*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7975>

- Loor Morán, G. & Mendoza Cuzme, R. (2018). *Sistema acuapónico a escala piloto con chame (Dormitator Latifrons) y lechuga (Lactuca Sativa) para producción de alimentos, comunidad Casas Viejas, Cantón Bolívar*. [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/896/1/TMA180.pdf>
- López Sandoval, A. (2022). *Diseño y construcción de sistemas acuapónicos en la comunidad de San Felipe Coapexco, municipio de Cohuecan, Puebla*. [Trabajo de grado, Colegio de Postgraduados]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10521/4889>
- McGrath, C. (1 de agosto de 2014). *Acuicultura como alternativa para alimentar a los egipcios*. Inter Press Service. <https://ipsnoticias.net/2014/08/acuicultura-como-alternativa-para-alimentar-a-los-egipcios/>
- Mejía Guerra, P. (2022). *Valoración del uso combinado de mezclas de materiales orgánicos y biofertilización con microorganismos en cultivo sin suelo*. [Tesis doctoral, Universidad Almería]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10835/13796>
- Mercado Tascón, B. (2019). *Diseño de una granja bajo un enfoque permacultural para el manejo y aprovechamiento óptimo de los recursos naturales, en la finca el caney, ubicada en el corregimiento de la Iberia de Tuluá, Valle del Cauca*. [Trabajo de grado, Unidad Central del Valle del Cauca]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12993/2043>
- Merino, M., Bonilla, S., & Bages, F. (2013). *Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia*. Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia AUNAP-FAO. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.aunap.gov.co/documentos/OGCI/25-Diagn%C3%B3stico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolución 883 de 2018. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-0883-de-2018.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolución 1263 de 2018. Por medio de la cual se actualizan las medidas para garantizar la sostenibilidad y la gestión*

- integral de los ecosistemas de manglar, y se toman otras determinaciones.*  
<https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1263-de-2018/>
- Moreta Pozo, J. (2011). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional.  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/720>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s,f). *Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS*.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Naspirán Jojoa, D., Fajardo Rosero, A., Ueno Fukura, M., & Collazos Lasso, L. (2022). *Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): una revisión*. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 69(1), 75-97.  
<https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Negra Jiménez, I. (2015). *Asimilación de nutrientes y producción de biomasa, en un biorreactor de membranas sumergidas, acoplado a un sistema acuícola con recirculación*. [Tesis de Maestría, Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo]. Repositorio Institucional.  
[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/4708](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4708)
- Nicholls, C. Henao, A. & Altieri, M. (2015). *Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático*. Agroecología, 10(1), 7-31.  
<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711/216131>
- Ordinola, M., Fonseca, C., & Devaux, A. (2014). *Desarrollando innovaciones para la seguridad alimentaria y nutricional con base en la biodiversidad*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://cgspace.cgiar.org/items/e655546b-48b0-40c7-a932-c9d2d90a54ec>
- Peña Hernández, P. (2020). *Relaciones conceptuales y epistemológicas entre la geografía y la permacultura: Una aproximación reflexiva y práctica*. Universidad de la Laguna.  
<http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21998>
- Paniagua, Á., & Moyano, E. (1998). *Medio ambiente, desarrollo sostenible y escalas de sustentabilidad*. Reis: Revista Española de Investigaciones Sociológicas, (83). 151-175.  
<https://doi.org/10.2307/40184124>
- Ruiz Fernández, E. (2019). *Etiquetado medioambiental obligatorio de alimentos*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional.  
<https://oa.upm.es/57829/>
- Sánchez, G. (1982). *Cultivo Hidropónico*. Universidad de Panamá.

- Silva Ontiveros, C. (2012). *Estudio para evaluar el balance de masas de nutrientes y la calidad del agua en un sistema experimental de acuaponia*. [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Sonora]. Repositorio Institucional. [http://biblioteca.itson.mx/dac\\_new/tesis/322\\_silva\\_crhistian.pdf](http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/322_silva_crhistian.pdf)
- 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*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. No. 589. FAO. <https://www.fao.org/3/i4021es/i4021es.pdf>
- Suárez Cáceres, G. (2021). *Caracterización y optimización de la producción de alimentos a través de sistemas acuapónicos de pequeña escala*. [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/11441/128899>
- Triviño Pineda, J. (2015). *Impacto ambiental por el uso excesivo de monocultivo*. [https://www.academia.edu/41999296/Impacto\\_ambiental\\_por\\_el\\_uso\\_excesivo\\_de\\_monocultivo\\_Environmental\\_impact\\_from\\_overuse\\_of\\_monoculture](https://www.academia.edu/41999296/Impacto_ambiental_por_el_uso_excesivo_de_monocultivo_Environmental_impact_from_overuse_of_monoculture)
- Vallejo Miranda, O. (2015). *Efecto de la dispersión hídrica de arsénico, cadmio y plomo en la calidad de los sedimentos y agua superficial de la microcuenca San Miguel, Zimapán*. [Tesis de maestría, Instituto Politecnico Nacional]. Repositorio institucional. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/17067>
- Varela Pérez, M. (2010). *Evaluación de sistemas de producción agroecológicos incorporando indicadores de sostenibilidad en la sabana de Bogotá*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11399>

**Anexos**

**Anexo A Materia prima semillas lechuga Batavia.**



**Anexo A Información cuidado y siembra de lechuga Batavia.**



**Anexo B** *Fibra de coco como base fundamental en la siembra de la lechuga Batavia en bandeja germinadora*



**Anexo C** *Tierra abonada, espacio para 6 semillas y cubrirlas con una capa superior*



**Anexo D** *Siembra de semillas y cubrimiento con tierra abonada*



**Anexo E** *Bandejas germinadoras con proceso de siembra completo.*



**Anexo F** *Primera semana de cultivo de lechuga Batavia.*



**Anexo G** *Segunda semana de cultivo de lechuga Batavia.*



**Anexo H** *Traslado de bandejas germinadoras de vereda la argentina a colegio Guacavia.*



**Anexo I** *Cultivo de lechuga Batavia colegio Guacavia.*



**Anexo J** Colocar alambre para que la malla se sostenga y no se hunda con el peso de las bandejas germinadoras.



**Anexo K** Colocar malla en estanque.



**Anexo L** *Mallas dentro del estanque*



**Anexo M** *Malla dentro del estanque con bandeja germinadora y peces*

