

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: “Producción acuapónica de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas en el Centro Experimental San Francisco, cantón Huaca.”

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Agropecuaria

AUTORA: Pozo Salazar Evelyn Yesenia

TUTOR: Ing. Ibarra Rosero Edison Marcelo, MSc.

Tulcán, 2025.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Pozo Salazar Evelyn Yesenia con el número de cédula 1723920094 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Producción acuapónica de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas en el Centro Experimental San Francisco, cantón Huaca."

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

Ing. Ibarra Rosero Edison Marcelo, MSc.

TUTOR

Tulcán, noviembre de 2025

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniera en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Pozo Salazar Evelyn Yesenia, con cédula de identidad número 1723920094 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



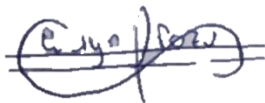
Pozo Salazar Evelyn Yesenia

AUTORA

Tulcán, noviembre de 2025

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Pozo Salazar Evelyn Yesenia, declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Producción acuapónica de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas en el Centro Experimental San Francisco, cantón Huaca." expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Pozo Salazar Evelyn Yesenia

AUTORA

Tulcán, noviembre de 2025

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios fuente de sabiduría y fortaleza, por darme la oportunidad y la capacidad de llegar hasta este punto de mi vida académica. Su guía ha sido mi constante apoyo en cada paso del camino.

A mis padres Armando Pozo y Mariana Salazar, por su amor incondicional, por creer siempre en mí y brindarme el apoyo emocional y económico necesario para cumplir esta meta.

A mis hermanos, por su comprensión y motivación constante. Su apoyo me impulso a seguir adelante y dar lo mejor de mí.

A mi tutor, por su orientación y su disposición para acompañarme en este proceso. Su experiencia y guía han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente agradezco a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi por brindarme las herramientas académicas y los espacios de crecimiento personal y profesional que me permitieron llevar a cabo esta investigación.

Evelyn Pozo

DEDICATORIA

Dedico este triunfo a mis padres quienes siempre han sido mi mayor apoyo y motivación en cada paso de mi carrera. Su amor y sacrificio han sido la base de mis logros. En especial dedico esta meta a mis abuelitos por su cariño incondicional, su preocupación y constante aliento fueron fundamentales en mi camino hacia la culminación de mis estudios y aunque ya no estén físicamente conmigo su recuerdo y enseñanza vivirán siempre en mi corazón. Y con todo mi amor, dedico también este logro a mi bebé, quien llegó a mi vida como la bendición más grande. Su existencia me llena de fuerza, esperanza y alegría, recordándome que cada meta alcanzada también será parte de su futuro.

Evelyn Pozo

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
I. EL PROBLEMA	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3. JUSTIFICACIÓN	16
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	17
1.4.1. Objetivo General.....	17
1.4.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	17
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.2. MARCO TEÓRICO	21
2.2.1. Sistemas de producción.....	21
2.2.2. Acuaponía	22
2.2.3. Componentes acuícolas	29
2.2.4. Componentes vegetales	31
III. METODOLOGÍA	38
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	38
3.1.1. Enfoque	38

3.1.2. Tipo de investigación	38
3.2. HIPÓTESIS	38
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	39
3.3.1. Definición de variables.....	39
3.3.2. Operacionalización de las variables	39
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	40
3.4.1. Ubicación del ensayo	40
3.4.2. Tratamientos del experimento.....	40
3.4.3. Descripción y caracterización del experimento	41
3.4.4. Población y muestra.....	42
3.4.5. Manejo del experimento	42
3.4.6. Procedimiento Sistema acuapónico	43
3.4.7. Procedimiento del componente acuícola	43
3.4.8. Integración con el componente hidropónico.....	44
3.4.9. Toma de datos.....	45
3.4.10. Cosecha	45
3.4.7. Variables evaluadas.....	45
3.4.8. Análisis estadístico	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. RESULTADOS	47
4.1.1. Variable altura de planta	47
4.1.2. Variable número de hojas	48
4.1.3. Variable longitud de raíz.....	49
4.1.4. Variable peso de hortalizas	50
4.1.6 Variable temperatura del agua.....	52

4.1.7. Variable pH del agua.....	53
4.1.8. Variable Nitritos y Nitratos	54
4.1.9. Análisis económico.....	54
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
5.1. CONCLUSIONES	56
5.2. RECOMENDACIONES	56
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
VII. ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la lechuga	32
Tabla 2. Valor nutricional de la lechuga.....	32
Tabla 3. Taxonomía de la acelga	34
Tabla 4. Valor nutricional de la acelga.....	34
Tabla 5. Taxonomía del nabo.....	36
Tabla 6. Valor nutricional del nabo	36
Tabla 7. Operacionalización de variables.....	39
Tabla 8. Tratamientos.....	40
Tabla 9. Diseño experimental	41
Tabla 10. Esquema ANAVAR.....	46
Tabla 11. Variable de altura	47
Tabla 12. Variable número de hojas.....	48
Tabla 13. Variable longitud de raíz	49
Tabla 14. Variable de peso	50
Tabla 15. Análisis de varianza para la variable rendimiento de hortalizas.....	51
Tabla 16. Análisis económico	55

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Sistema acuapónico	23
Figura 2. Sistema film nutritivo	24
Figura 3. Sistema de lecho de sustrato	25
Figura 4. Sistema de balsas flotantes	25
Figura 5. Ubicación geográfica del Centro Experimental San Francisco	40
Figura 6. Diseño sistema acuapónico	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC	65
Anexo 2. Informe de abstract por parte de idiomas	66
Anexo 3. Costo de producción	68
Anexo 4. Diseño del experimento	69

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar un sistema de producción acuapónica de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas en el Centro Experimental San Francisco, cantón Huaca. La investigación se realizó bajo un diseño completamente al azar, donde se comparó el desarrollo y rendimiento de tres tipos de hortalizas: T1 Lechuga (*Lactuca sativa*), T2 Acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) y T3 Nabo (*Brassica rapa subsp. rapa*) en un sistema acuapónico, con 5 repeticiones dando un total de 15 unidades experimentales. El sistema acuapónico implementado consistió en un circuito cerrado que integró un tanque de peces (Trucha) y canales de cultivo construidos con tubos PVC de 4", dispuestos en un área total de 44m². Las variables evaluadas fueron altura de planta, número de hojas, longitud de raíz, peso y relación costo/beneficio, para lo cual se estableció un nivel de significancia del 5% para ANAVAR y las pruebas de TUKEY. Para la variable altura de planta, número de hojas, peso y rendimiento de las hortalizas al final de ciclo del cultivo (12 semanas) no se observó diferencias estadísticas. En la variable longitud de la raíz se observa diferencias estadísticas (p-valor<0,05) en donde el mejor tratamiento es la acelga (T2), obteniendo una media de 31,04 cm. Para el sistema acuícola durante el tiempo que duro el experimento se observó que tanto la temperatura como el pH se encontraron dentro del rango aceptable para la especie (12-16°C y pH de 6,5 a 7,5), pero se presentó una mortalidad de 83,3% atribuido a altas concentraciones de nitritos y nitratos. El análisis costo/beneficio permitió identificar que el T3 (Nabo) fue el que mayor índice obtuvo con 2,74 seguido del T1 (Lechuga) con 2,48 y finalmente el T2 (Acelga) con 1,85; esto atribuido al costo de las plántulas.

Palabras Claves: Lechuga (*Lactuca sativa*), Acelga (*Beta vulgaris var. cicla*), Nabo (*Brassica rapa subsp. rapa*), sistema acuapónico.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate an aquaponic production system for leafy vegetables under controlled conditions at the San Francisco Experimental Center, Huaca canton. The research was conducted under a completely randomized design, comparing the development and yield of three types of vegetables: T1 Lettuce (*Lactuca sativa*), T2 Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla*), and T3 Turnip (*Brassica rapa* subsp. *rapa*) in an aquaponic system, with 5 replicates giving a total of 15 experimental units. The aquaponics system implemented consisted of a closed circuit that integrated a fish tank (trout) and cultivation channels constructed with 4 PVC pipes, arranged over a total area of 44m². The variables evaluated were plant height, number of leaves, root length, weight, and cost/benefit ratio, for which a significance level of 5% was established for ANAVAR and TUKEY tests. No statistical differences were observed for the variables plant height, number of leaves, weight, and yield of vegetables at the end of the crop cycle (12 weeks). Statistical differences (p-value < 0.05) were observed for the variable root length, with the best treatment being Swiss chard (T2), which obtained an average of 31.04 cm. For the aquaculture system, during the experiment, it was observed that both the temperature and pH were within the acceptable range for the species (12-16°C and pH of 6.5 to 7.5), but there was an 83.3% mortality rate attributed to high concentrations of nitrites and nitrates. The cost/benefit analysis identified that T3 (turnip) had the highest index with 2.74, followed by T1 (lettuce) with 2.48 and finally T2 (Swiss chard) with 1.85; this was attributed to the cost of the seedlings.

Keywords: Lettuce (*Lactuca sativa*), Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla*), Turnip (*Brassica rapa* subsp. *rapa*), aquaponics system.

INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional, la cual ha sido el principal motor de la producción alimentaria global se ha vuelto cada vez más insostenible debido a su dependencia de pesticidas sintéticos y fertilizantes. En todo el mundo el uso excesivo de fertilizantes químicos ha provocado mucha contaminación de suelos y recursos hídricos, además de contribuir significativamente a la degradación ambiental. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la intensificación agrícola ha causado problemas como la eutrofización de los sistemas acuáticos y contribuye a la pérdida de biodiversidad impactando la calidad del agua y suelo (FAO, 2021).

La degradación de los suelos y la creciente escasez de agua son problemas globales que afectan a países desarrollados como países de tercer mundo poniendo en riesgo la seguridad alimentaria a largo plazo. El uso excesivo de fertilizantes y pesticidas también plantean riesgos para la salud pública debido a que los residuos de productos químicos en los alimentos y el agua pueden generar problemas en la salud principalmente en países en desarrollo donde las regulaciones son más flexibles (Montanarella, Scholes, & Brainich, 2018).

La acuaponía ha surgido como una alternativa sostenible para enfrentar los problemas derivados de la agricultura convencional. Este sistema que combina la acuicultura con la hidroponía ofrece una solución ecológica en donde utiliza los desechos de los peces como fertilizantes y elimina el uso de fertilizantes químicos. De esta manera contribuye a reducir el impacto ambiental (Goddek , Joyce, Kotzen, & Burnell, 2019).

A nivel global los sistemas acuapónicos han ganado popularidad en Europa y América del Norte donde han demostrado ser ambientalmente sostenibles. Se ha demostrado que estos sistemas son capaces de reducir la huella de carbono de la producción agrícola, proporcionando alimentos frescos y de alta calidad mientras se minimiza el uso de recursos como el agua y los fertilizantes (Yavuzcan, Robaina, Pirhonen, & Mente, 2017).

En Ecuador la agricultura convencional sigue siendo un origen importante de contaminación ambiental principalmente causado por el empleo excesivo de agroquímicos. Sin embargo, el interés por la acuaponía ha ido en aumento como una alternativa sostenible. Se ha demostrado que la acuaponía tiene el potencial de reducir el uso de insumos químicos y optimizar el uso del agua en el país (Basurto Basurto & Vera Santana , 2022).

Esta investigación se enfoca en la producción acuapónica de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas la cual evalúa la viabilidad de la acuaponía como una alternativa a la agricultura convencional y la capacidad que tiene para contribuir a la sostenibilidad del sector agrícola en el Ecuador.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las últimas décadas la agricultura convencional ha dependido en gran medida del uso excesivo de fertilizantes y pesticidas químicos para aumentar de esta manera la producción. No obstante, este método ha provocado serios impactos ambientales deteriorando tanto la salud del suelo como la pureza del agua. La filtración de estos químicos hacia cuerpos de agua ha generado fenómenos como la eutrofización y la contaminación de fuentes de agua dulce lo que pone en riesgo tanto la biodiversidad acuática como el suministro de agua segura para comunidades cercanas (Tilman, y otros, 2017).

El efecto de estas prácticas no se limita únicamente al entorno natural, sino que también amenaza la viabilidad a largo plazo de la propia agricultura. La reducción de la capacidad fértil del suelo aumenta la necesidad de insumos externos lo que agrava más la inseguridad alimentaria. Además, se presenta el desafío del uso ineficiente del agua debido a que la agricultura utiliza cerca del 70% del agua dulce global con un considerable desperdicio ocasionado por técnicas de riego ineficaces (Benton, Bieg, Harwatt, Pudasaini, & Wellesley, 2021).

El empleo indiscriminado de productos químicos en la agricultura convencional ha demostrado efectos directos sobre la salud humana. La exposición prolongada a estos químicos se ha vinculado con enfermedades crónicas como el cáncer, problemas neurológicos y trastornos reproductivos afectando especialmente a las comunidades rurales y trabajadores del campo. De acuerdo con la OMS la contaminación por pesticidas continúa siendo un grave problema de salud pública impactando a millones de personas (Bioeco, 2018).

Otro reto que intensifica esta situación es la carencia de conocimiento y acceso a información adecuada por parte de los agricultores sobre opciones más sostenibles. Muchos continúan empleando prácticas convencionales perjudiciales debido a la falta de conocimiento para implementar técnicas amigables con el medioambiente. Además, la falsa creencia de que los métodos sostenibles son menos rentables o más

costosos ha dificultado la adopción de estos enfoques. Esta falta de educación agronómica sostenible no solo reduce las oportunidades para mitigar los impactos ambientales, sino que también mantiene los riesgos para la salud humana (Tiefigue Pierrette, Guo Du, & Diakit , 2021).

1.2. FORMULACI3N DEL PROBLEMA

La problemática a resolver mediante esta investigaci3n es que la limitada integraci3n de sistemas de producci3n trae consigo la aplicaci3n excesiva de fertilizantes químicos y el uso inadecuado de los recursos hídricos afectando la productividad de los sistemas agropecuarios convencionales y por ende la economía de los agricultores.

1.3. JUSTIFICACI3N

Buscando una soluci3n a esta problemática se plantean varias alternativas de producci3n sostenible como respuesta a los desafíos que presenta la agricultura convencional. Sistemas como la agroecología, la permacultura y la agricultura orgánica promueve el uso racional de los recursos, la biodiversidad y la regeneraci3n de los suelos. Sin embargo, una de las soluciones más innovadoras y completas es la acuaponía que integra la cría de peces y el cultivo de plantas en un ciclo cerrado de producci3n optimizando los recursos y minimizando residuos (SADR, 2018).

La acuaponía es un sistema sostenible de integraci3n de dos sistemas de producci3n que son la cría de peces y la hidroponía. En este sistema el agua residual de la acuicultura pasa por cierto tipo de transformaciones microbianas que permiten que el agua sea reutilizada como fuente de nutrientes para el desarrollo de las plantas, mientras que las plantas se encargan de purificar el agua mejorando así la calidad de agua para los peces (Pineda, 2020). Convirtiéndose este en un sistema de producci3n sostenible con el medio ambiente debido a que se crea una sinergia entre dos tipos de producci3n y a su vez se obtiene productos orgánicos y más saludables.

Actualmente la utilizaci3n de los recursos y la generaci3n de subproductos se convirtieron en factores importantes en la competitividad que existe en el sector agropecuario. Por ello es primordial dar un buen uso de los recursos: agua, alimento, espacio, energía y desechos debido a que estos recursos son cada vez más limitados y más costosos. Gracias a la implementaci3n de un sistema acuap3nico en la producci3n agrícola se puede dar un mejor uso de los recursos integrando dos

sistemas de producción con la finalidad de obtener productos más saludables y a su vez reducir el uso de productos químicos y fertilizantes como también reutilizar el recurso hídrico y a una reducción de costos de producción (Rizo, 2011).

Además, se seleccionaron Lechuga (*Lactuca sativa*), Acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) y Nabo (*Brassica rapa subsp. rapa*) como especies de estudio debido a su importancia en la dieta local, su valor nutricional y su potencial de adaptación en sistemas acuapónicos. La lechuga es uno de los cultivos más utilizados en acuaponía por su rápido crecimiento, demanda moderada de nutrientes y amplia aceptación en los mercados (Mendes, y otros, 2021). La acelga, por su parte, se caracteriza por ser una hortaliza rústica y tolerante a variaciones en el sistema, con alto contenido nutricional lo que lo convierte en una especie adecuada para sistemas de producción sostenibles (Abed & Salman, 2024). Finalmente, el nabo fue considerado por pertenecer al género Brassica, reconocido por su aporte de antioxidantes y minerales, así como por su potencial en sistemas de manejo ecológico y sostenible, lo que lo hace una alternativa viable dentro de la producción acuapónica (Raza, y otros, 2023).

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar un sistema de producción acuapónica de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas en el Centro Experimental San Francisco, cantón Huaca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto del sistema de producción acuapónico sobre el desarrollo de tres hortalizas de hoja (lechuga, acelga y nabo) bajo condiciones controladas.
- Identificar el tipo de hortaliza de hoja (lechuga, acelga y nabo) que mejor rendimiento obtiene bajo un sistema de producción acuapónico.
- Determinar el tipo de hortaliza de hoja (lechuga, acelga y nabo) que mejor relación costo/beneficio obtiene.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cuál fue el efecto del sistema acuapónico sobre el desarrollo de tres hortalizas de hoja (lechuga, acelga y nabo)?

- ¿Qué tipo de hortaliza de hoja obtuvo mejor rendimiento en el sistema acuapónico?
- ¿Qué tipo de hortaliza de hoja obtuvo la mejor relación costo/beneficio?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según Cáceres (2021) en su investigación "Caracterización y optimización de la producción de alimentos a través de sistemas acuapónicos de pequeña escala" que tiene como objetivo evaluar y optimizar un sistema de producción acuapónica para autoconsumo, que incluye más de 20 tipos de hortalizas, frutas y hierbas junto con tilapia híbrida roja, con dos adaptaciones diseñadas para prevenir que las temperaturas del agua en los tanques de los peces bajen excesivamente durante el invierno, ofrece una visión detallada del funcionamiento y la gestión de dos sistemas acuapónicos de pequeña escala. En estos sistemas se lograron producir 62kg de tilapia y 352 kg de 22 variedades de verduras y frutas diferentes en un año, concluyendo que una instalación acuapónica a pequeña escala puede abastecer a una familia con parte de sus necesidades de frutas, verduras y pescado.

De acuerdo con Diaz (2018) nos comenta que en su trabajo de investigación titulado "Rediseño de reactores acuapónicos unifamiliares para el autoconsumo" el objetivo de la investigación fue proponer una alternativa para la producción de alimentos frescos, saludables y libres de químicos, mediante un rediseño de sistemas acuapónicos unifamiliares adaptados a entornos urbanos, en los cuales se controlan variables como la temperatura del agua, el pH, la longitud de raíces, la ganancia de peso y el crecimiento tanto de los peces como de las lechugas, además de evaluar la eficiencia de los sistemas. Los resultados obtenidos indicaron que los peces lograron una ganancia de peso de 1,24 g/día, alcanzando un peso promedio de 75,76 g por tilapia. Por otro lado, las lechugas cultivadas alcanzaron una altura adecuada para su consumo de 31,91 cm. Así, se concluyó que el sistema acuapónico diseñado y utilizado en esta investigación demostró ser viable para la producción complementaria de alimentos en espacios reducidos en áreas urbanas, destacando que la producción de biomasa fue un 38,93% superior en el sistema acuapónico.

Según Cutiño, Imeroni y Sanzano (2018) nos dan a conocer con su investigación titulada "Acuaponía como alternativa productiva social" que su objetivo fue

presentar una producción alternativa en innovadora denominada acuaponía, que se define como una técnica de cultivo sostenible que combina la cría de peces con el cultivo de hortalizas o plantas ornamentales en un medio acuático, sin necesidad de suelo, logrando bajos costos y altos rendimientos. Se señala que el pez más utilizado en acuaponía es la tilapia (*Oreochromis ssp.*) debido a su ciclo de vida corto, que va desde el nacimiento hasta la cosecha, a compartir un periodo de seis a nueve meses. Este pez es capaz de tolerar cambios drásticos en la calidad del agua y presenta resistencia a niveles bajos de oxígeno. En cuanto a las plantas, se sugiere utilizar lechuga (*Lactuca sativa*), espinaca (*Spinacea oleracea*) y albahaca (*Ocimum basilicum*), ya que estas especies requieren escasas nutrientes, lo que facilita su adaptación a un sistema acuapónico. Se concluye, por lo tanto, que es posible cultivar alimentos muy saludables a bajos costos.

Gavilano (2020) señala que en su investigación titulada "Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia en acuaponía" se planteó como objetivo evaluar el comportamiento de un sistema de acuaponía sobre la calidad de los efluentes provenientes del cultivo de tilapias y la factibilidad de producción de cultivos hidropónicos. La implementación de un sistema acuapónico resultó en un crecimiento notable de los peces, que lograron un aumento de peso de 1.04 g/día y una tasa de supervivencia del 95,6%. Así mismos, las lechugas crecieron adecuadamente a una densidad de siembra de 20 unidades por metro cuadrado, con una ganancia de peso fresco de 2,76 g por lechuga por día, alcanzando una ganancia total de peso seco de 4,72 g pro planta y una supervivencia del 100%. En total, el sistema acuapónico produjo 1,87 kg de pescado con un flujo de agua de 15,5 litros por minuto y 9,69 kg de lechuga. Se concluya que el efluente del cultivo de tilapia en el sistema acuapónico logra la eliminación de compuestos nitrogenados como NAT, amoniaco, nitrito, nitrato y materia orgánica, con eficiencias del 47,6%; 40,0%; 69,8% y 85,9% como corresponde.

Según Camargo (2021) en su investigación titulada "Propuesta de un sistema de acuaponía para promover la agricultura sostenible y mejorar le economía" se planteó como objetivo fomentar un sistema piloto de acuaponía como una opción de

agricultura sostenible y economía circular, en el que se desarrolló un sistema acuapónico con tilapias (*Oreochromis niloticus*) y se cultivó lechuga crespa (*Lactuca sativa*) sembrada en un sustrato de arcilla expandida. Se concluyó que el sistema acuapónico mostró variabilidad y tiene un gran valor como alternativa.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

2.2.1.1. AGRICULTURA CONVENCIONAL

La agricultura convencional es el sistema de producción más utilizado en el mundo y se caracteriza por el empleo intensivo de fertilizantes sintéticos, plaguicidas, maquinaria y técnicas de cultivo que buscan maximizar el rendimiento de los cultivos en el menor tiempo posible. Este modelo impulsado desde la Revolución verde, permitió incrementar la producción alimentaria, pero también generó consecuencias ambientales y sociales significativas como la degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad, de la misma manera el uso excesivo de productos químicos afecta la salud humana y contribuye al desequilibrio de los ecosistemas agrícolas en la actualidad (Suaréz Serrano, y otros, 2019).

2.2.1.2. ACUAPONÍA

Es una actividad que fusiona la acuicultura con la hidroponía en un mismo sistema integrado y sostenible. La acuaponía no es otra cosa que perfeccionar el conocimiento y la tecnología actual, está basada en la naturaleza, en los ciclos del agua y las redes tróficas (Jaime, 2019).

La acuaponía es un sistema de producción cerrado que combina la acuicultura y la hidroponía. En si es una mezcla de la producción de peces y la producción de hortalizas sin tener el suelo de por medio más bien agua la cual les ayudara a subsistir creando así una sinergia (Villa, 2017).

2.2.1.3. HIDROPONÍA

La hidroponía, etimológicamente, proviene del griego "hidro" (agua) y "ponos" (trabajo), lo que significa trabajar en agua. En este método de producción, las raíces de las plantas no se desarrollan en el suelo, sino que están en un sustrato o sumergidas en la solución nutritiva utilizada. La solución nutritiva contiene los elementos esenciales para el crecimiento de la planta como su nombre lo indica (Intagri, 2021).

Ha sido ampliamente empleada en la investigación sobre la nutrición mineral de las plantas y en la actualidad es el método de cultivo hortícola más intensivo. Normalmente este sistema requiere una tecnología avanzada y una considerable inversión de capital por lo que se utiliza exitosamente en países desarrollados (Intagri, 2021).

2.2.1.4. ACUICULTURA

La acuicultura es un método creado por el ser humano para cultivar alimentos y aprovechar los recursos del agua. Esta actividad se está expandiendo para complementar la pesca. Se compone de unidades productivas que aplican conocimientos de biología, ingeniería y ecología. El pez más cultivado a nivel mundial es la Tilapia por su demanda en el mercado (Cedrssa, 2015).

La acuicultura incluye la reproducción, el cultivo y la recolección de organismos acuáticos en ambientes de agua dulce y salada, con el propósito de consumo humano y conservación. Este método de producción ha experimentado un notable crecimiento en el siglo XXI y se ha convertido en una de las industrias de mayor expansión en la producción de proteínas a nivel mundial. Desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria, la preservación de especies y la sostenibilidad de los recursos marinos (@NatGeoES, 2023).

2.2.2. ACUAPONÍA

2.2.2.1. SISTEMA ACUAPÓNICO

En este sistema los desechos metabólicos generados por los peces u otras especies y los restos de su alimento son transformados por una amplia población de bacterias y microorganismos en general, en minerales disueltos y utilizados por los vegetales para su crecimiento, transformándose en materia orgánica vegetal. De esta manera se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable con la ventaja de que el agua filtrada y libre de nutrientes queda disponible para ser reutilizada por los peces o especies acuícolas (Jaime, 2019).

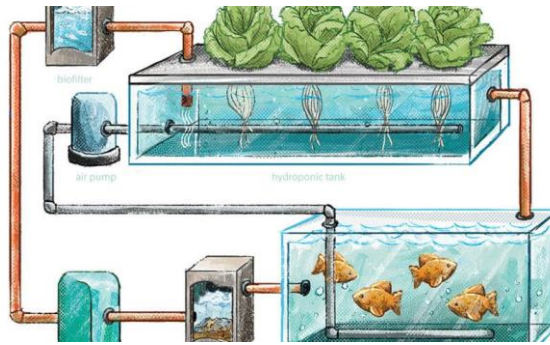


Figura 1. Sistema acuapónico
Fuente: (Ruralmx, 2022)

Un sistema acuapónico se desarrolla mediante la combinación de la cría de peces y el cultivo de plantas sin suelo (hidroponía) en un entorno cerrado. En este sistema los residuos metabólicos de los peces se utilizan como nutrientes por las plantas para su crecimiento mientras que las plantas purifican el agua al absorber estos componentes, manteniendo así niveles adecuados para la cría de los peces (Pérez, Téllez, et al., 2015).

En este sistema se presenta simbiosis reduciendo la necesidad de cambios frecuentes de agua y disminuye la contaminación. Estos sistemas presentan diversas ventajas con respecto a los sistemas de cría de peces convencionales que no incorporan el cultivo de plantas (Pérez, Téllez, et al., 2015).

Los sistemas de acuaponía pueden abarcar desde pequeñas configuraciones para uso domésticos, tanto en interiores como exteriores hasta grandes instalaciones comerciales que emplean tecnología similar. Generalmente estos sistemas contienen agua dulce, aunque también es posible implementar sistemas con agua salada, dependiendo de los tipos de animales acuáticos y plantas involucradas. La ciencia detrás de la acuaponía se encuentra en una fase inicial de desarrollo (Pérez, Téllez, et al., 2015).

Un sistema acuapónico puede variar en su funcionamiento dependiendo de cómo este configurado, pero hay componentes esenciales que deben estar presentes en su diseño. Estos incluyen un estanque para la cría de organismos acuáticos, una bomba para mantener el agua circulando entre los distintos componentes del sistema, camas de cultivo y cantidad de agua adecuada, filtros mecánicos y biológicos, áreas de crecimiento para las plantas, tuberías para conducir el agua a través del sistema y una bomba de aire para asegurar niveles óptimos de oxígeno

disuelto necesario para el desarrollo de peces y bacterias beneficiosas (Agronegocios, 2021).

2.2.2.2. TIPOS DE SISTEMAS ACUAPÓNICOS

La característica distintiva de un sistema acuapónico radica en la forma en que las plantas interactúan con el agua que alberga a los organismos acuáticos en crecimiento. La acuaponía representa una tecnología innovadora que resalta la creatividad en la creación de proyectos productivos (Bioaquafloc, 2019).

2.2.2.2.1. Sistema de film nutritivo

Consiste en el empleo de tuberías o canales por los cuales fluye una capa delgada de agua enriquecida con nutrientes. Las plantas se colocan en recipientes con agujeros dentro de estas tuberías o canales, permitiendo que las raíces alcancen el agua que circula en su interior. Esta técnica es especialmente adecuada para las plantas de tamaño reducido como lechugas, acelgas, hierbas aromáticas, entre otras (Bioaquafloc, 2019).

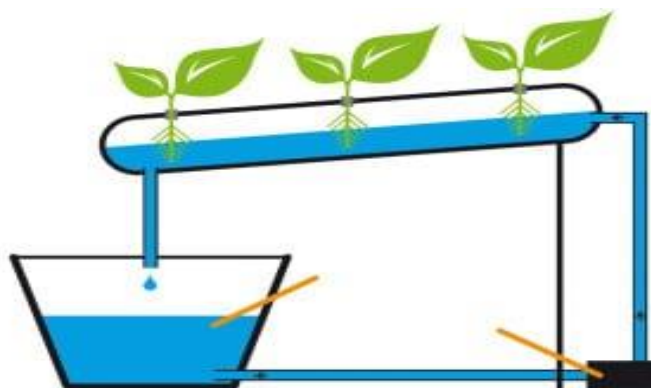


Figura 2. Sistema film nutritivo
Fuente: (Verdegen, 2017)

2.2.2.2.2. Sistema de lecho de sustrato

Consiste en el cultivo de la parte vegetal en un recipiente como un cajón, bandeja o semillero. Estos envases están colmados de un material inerte y poroso como grava, fibra de coco, virutas de madera, turba o arena. El agua entra por un extremo y sale por el otro, permitiendo que las raíces que se encuentran entre el material poroso absorban los nutrientes del agua (Bioaquafloc, 2019).

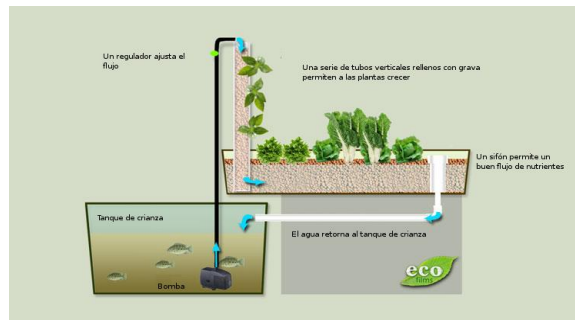


Figura 3. Sistema de lecho de sustrato
Fuente: (ornamentales, 2016)

2.2.2.2.3. Sistema de balsas flotantes o raíz flotante

Se fundamenta en mantener las plantas en bandejas o cajones flotantes sobre el agua donde se crían peces. Las raíces quedan sumergidas en el agua que contiene nutrientes. Estas bandejas suelen estar fabricadas con materiales de baja densidad como el poliestireno expandido o también se puede utilizar corcho. En este tipo de sistema acuapónico es crucial la aireación del agua. Esto se realiza tanto para garantizar un suministro adecuado de oxígeno al agua como para asegurar que las raíces crezcan en un entorno con suficiente oxígeno y no en uno deficiente en este elemento (Bioaquafloc, 2019).



Figura 4. Sistema de balsas flotantes
Fuente: (Hydro, 2024)

2.2.2.2.4. Sistema de solución nutritiva recirculante

Este método se cuenta entre los más populares debido a que utiliza una red de recipientes de cultivo conectados mediante tuberías de PVC. En este sistema se

integran sifones de campana que inundan las camas de cultivo hasta su capacidad para luego drenarlas por completo de nuevo en el tanque de cría de peces (TMA180.pdf, s. f.).

2.2.2.3. CALIDAD DEL AGUA

Los cinco factores clave que influyen en la calidad del agua son la temperatura, la cantidad de oxígeno disuelto, el pH, los compuestos nitrogenados y la alcalinidad. Cada uno de estos factores físicos y químicos impacta directamente a los tres componentes fundamentales del sistema: peces, plantas y bacterias. Por lo tanto, es crucial alcanzar una calidad de agua que se encuentre dentro de los rangos de tolerancia específicos para cada uno de estos componentes (Proain, 2020).

2.2.2.3.1. pH

El pH juega un papel importante en la absorción de nutrientes por las plantas y también contribuye a mantener las condiciones ideales para los peces. Esto dependerá del tipo de pez y de planta es así que en este sistema es muy frecuente que el agua se acidifique por lo que habría que nivelar sin que sea toxica para los peces (Villa, 2017).

2.2.2.3.2. Oxígeno

El oxígeno es un factor químico crucial que ejerce una influencia significativa en la calidad del agua. Su ausencia puede tener efectos drásticos y rápidos provocando la muerte de los peces en cuestión de horas. Además, concentraciones bajas de oxígeno pueden reducir considerablemente el proceso de nitrificación, impidiendo su completa realización (Proain, 2020).

El oxígeno debe estar disuelto, ya que su falta puede resultar en la muerte de los peces y también provocar asfixia en las plantas. Además de provocar la asfixia de las plantas. Es importante recalcar que el nivel de aireación debe ser adecuado siendo este por encima de 3mg/L así que lo ideal es 5mg/L (Villa, 2017).

2.2.2.3.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se refiere a la salinidad del agua la cual no puede ser superior a los 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Villa, 2017).

2.2.2.3.4. Alcalinidad y dureza

La dureza representa la concentración de iones positivos (cationes) en el agua, principalmente de calcio (Ca^+) y magnesio (Mg^+) y en menor proporción de hierro (Fe^+). Por otro lado, la alcalinidad, también conocida como dureza de carbonatos, representa la concentración de carbonatos (CO_3^{--}) y bicarbonatos (HCO_3^{--}) disueltos en el agua, expresadas en miligramos por litro de carbonato de calcio (CaCO_3) (Proain, 2020).

2.2.2.3.5. Amonio, amoniaco o nitritos

Cuando los peces eliminan nitrógeno a través de sus excreciones, este puede adoptar dos formas distintas dependiendo el pH del agua. Si el pH es mayor a 7, el nitrógeno se presenta en forma de amoníaco (NH_3), el cual es altamente tóxico en concentraciones bajas. Por otro lado, si el pH se sitúa entre 6 y 6,5 el nitrógeno se convierte en amonio (NH_4), que también es tóxico, pero en menor medida que el amoníaco. Ambos compuestos son responsables de reducir el apetito de los peces y reducir la concentración de oxígeno en el agua. Los nitritos por su parte pueden causar retraso en el crecimiento, anemia y aumentar la susceptibilidad a enfermedades bacterianas (Hanna, 2022).

2.2.2.4. CICLO DEL NITRÓGENO

En la acuaponía es un proceso vital que involucra la conversión de desechos orgánicos de los organismos cultivados en amoniaco, el cual luego es transformado en nitritos y nitratos por bacterias nitrificantes. Este ciclo es esencial en la acuicultura ya que convierte los desechos en nutrientes beneficiosos para el crecimiento de plantas acuáticas y otros organismos en el entorno acuático (Zerpa, 2023).

Comprender el ciclo del nitrógeno es crucial para desarrollar sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales, controlar la calidad hídrica y garantizar condiciones ideales para el desarrollo de los organismos cultivados. La acuaponía, que fusiona la producción de plantas con la de alimentos acuáticos, aprovecha este ciclo para gestionar los desechos de manera más efectiva y aumentar la producción de alimentos y plantas acuáticas (Zerpa, 2023).

2.2.2.5. COMPONENTES DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO

2.2.2.5.1. Estanque para peces

El recipiente destinado a la cría de peces es un elemento esencial en un sistema acuapónico. Este tanque es donde los peces seleccionados se desarrollarán, por lo que es crucial que esté fabricado con un material resistente y que sus dimensiones sean adecuadas en relación con el número y tamaño de los peces (Environment, 2015).

Es crucial considerar que el área del estanque es más relevante que su altura, dado que las especies acuáticas suelen desplazarse horizontalmente. Los tanques pueden variar, desde pequeños acuarios de vidrio o acrílico hasta barriles de plástico o pilas de concreto con capacidades que oscilan desde unos pocos litros hasta varios metros cúbicos. Es esencial asegurar que el tanque no haya tenido sustancias tóxicas en el pasado (Environment, 2015).

2.2.2.5.2. Bomba de agua

La bomba de agua es el núcleo del sistema acuapónico, responsable de transportar el agua desde el estanque de los peces hacia los cultivos y posteriormente devolverla al tanque del sistema. Su función de circulación asegura el aporte de nutrientes a las plantas y bacterias, mientras filtra y mejora la calidad del agua antes de que regrese al estanque de los peces. Esta bomba puede activarse manualmente o mediante un temporizador programado según las necesidades del sistema y se puede utilizar bombas sumergibles o externas dependiendo de las características del sistema (Environment, 2015).

2.2.2.5.3. Biofiltro

El biofiltro es un contenedor que alberga materiales porosos como piedra, paja, hierba, madera, turba, esponja o bio bolas. El líquido residual se rocía sobre la superficie del biofiltro y luego se filtra a través del medio poroso, que proporciona una amplia superficie de contacto. La materia orgánica es retenida por este medio y posteriormente degradada y oxidada por la actividad microbiana (Environment, 2015).

2.2.2.5.4. Filtro mecánico

La purificación del agua es un elemento fundamental e imprescindible en los sistemas de circulación. Esta técnica consiste en aplicar métodos mecánicos para separar y

eliminar los residuos sólidos en suspensión, ya sean flotantes o no. Este procedimiento implica una serie de metas y ventajas significativas. Las partículas en suspensión están mayormente compuestas por materia fecal de los peces, restos de alimentos y otros organismos como bacterias, hongos y algas que se desarrollan en el sistema (Candarle, s. f.).

2.2.2.5.5. Tuberías

Las tuberías juegan un papel esencial al transportar agua y nutrientes, así como al interconectar los diversos componentes de un sistema acuapónico. Esto ayuda a mantener un equilibrio apropiado en el ecosistema acuático y promueve el desarrollo de los organismos cultivados (Environment, 2015).

2.2.3. COMPONENTES ACUÍCOLAS

2.2.3.2. Trucha arcoíris

La trucha arcoíris, miembro de la familia del salmón, se distribuye por todos los continentes, excepto la Antártida y generalmente habita en arroyos y ríos de aguas frías, aunque algunas subespecies parte de su ciclo de vida la realizan en el océano. Esta especie de trucha es muy popular como fuente de alimentos para los humanos y se encuentra ampliamente cultivada en granjas comerciales en todo el mundo lo que ha contribuido a su disponibilidad ya que no esté en peligro de extinción a pesar de la alta demanda (María, 2020).

2.2.3.2.1. Hábitos alimenticios

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) presenta hábitos alimenticios diversos, que mayormente consisten en insectos, crustáceos y pequeños peces. Se caracteriza por tener buena habilidad para cazar presas vivas de manera oportuna y por su capacidad de adaptarse a diferentes fuentes de alimento en su habitat acuático. Además, en algunos casos se ha observado que las truchas que se alimentan principalmente de vegetales pueden tener una menor eficiencia en la asimilación de nutrientes en comparación con aquellas que consumen una dieta carnívora (Wwf, 2022).

2.2.3.2.2. Reproducción

Estos peces logran la madurez sexual entre los 3 y 4 años de edad y tienden a reproducirse en los mismos sitios donde nacieron, comunes en ríos y arroyos. Durante

este tiempo, la hembra pone entre 200 y 8000 huevos, los cuales deposita en un nido que construye en la grava utilizando su cola. El macho libera espermatozoides sobre los óvulos, que luego son cubiertos con pequeñas piedras húmedas y quedan solos. El tiempo de incubación varía según la temperatura del agua y puede durar de 4 a 7 semanas (María, 2020).

2.2.3.2.3. Alimentación

La trucha posee una alta capacidad para emplear las proteínas y las grasas como fuente de energía, pero muestra una baja absorción de los hidratos de carbono. El exceso de los carbohidratos puede ser perjudicial, ya que aumenta los depósitos de glucógeno en el hígado, reduce el apetito y el crecimiento. Por lo tanto, se recomienda que la dieta no contenga más del 12% de carbohidratos (Salmonexpert, 2016).

La alimentación constituye uno de los factores más determinantes en el crecimiento, salud y conversión alimenticia de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*), especialmente en sistemas de cultivo controlados como la acuaponía. Esta especie es carnívora y presenta altos requerimientos proteicos, principalmente de origen animal, aunque las formulaciones actuales han incorporado fuentes vegetales y alternativas sostenibles sin afectar el rendimiento (Council, 2011).

Las dietas de inicio para trucha deben contener entre 45 y 50 % de proteína bruta, mientras que en etapas juveniles o de engorde se recomienda un rango de 36 a 45 %, dependiendo del nivel energético del alimento y la temperatura del agua. Los lípidos deben representar aproximadamente entre 15 y 20 % de la dieta total, permitiendo equilibrar la relación proteína-energía y reduciendo el uso excesivo de proteínas como fuente energética (FAO, 2020).

La tasa de alimentación varía según el peso corporal, la temperatura del agua y la calidad del alimento. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), sugiere que las truchas en fase de alevinaje consuman entre 0,7 y 2,0 % de su peso corporal por día, distribuido en tres o cuatro raciones diarias, mientras que los peces adultos pueden ser alimentados con una o dos raciones al día. La temperatura óptima para la alimentación eficiente se encuentra entre 12 y 18 °C; fuera de este rango, el metabolismo del pez disminuye y se reduce la tasa de consumo (Kause, Quinton, & Vandeputte, 2022).

La eficiencia de conversión alimenticia (FCR, por sus siglas en inglés) en la trucha arcoíris suele oscilar entre 0,8 y 1,5, dependiendo de la calidad del alimento y las condiciones ambientales. En sistemas acuapónicos, una alimentación excesiva puede provocar acumulación de amonio y nitritos, afectando tanto a los peces como a las plantas, por lo que se recomienda ajustar la ración de acuerdo con el consumo real y mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto y pH estables (FAO, 2020).

2.2.4. COMPONENTES VEGETALES

2.2.4.1. Lechuga (*Lactuca sativa*)

La lechuga es una hortaliza que se considera exclusiva y está dirigida al mercado gourmet. Su nombre científico es *Lactuca sativa*. En los últimos años la lechuga se ha cultivado bajo invernaderos para poder ser exportada. En Ecuador existen 1145 hectáreas de esta hortaliza, con un rendimiento promedio de 7928 kg por hectárea, según el Ministerio de agricultura. Su distribución se encuentra en los valles de la Sierra (Solagro, 2019).

La lechuga requiere suelos francos, arenosos y limosos que posean un buen drenaje y un pH de 5,5 a 7 para lograr un desarrollo óptimo y una buena producción. Las variedades más comunes en Ecuador son Grandes Lagos 188, Chaparral, Grandes Lagos 366, 659 y Calmar. La lechuga tiene un ciclo de entre 100 a 150 días (Solagro, 2019).

Esta hortaliza es una planta de ciclo anual que es característica de las áreas semi templadas. La lechuga pertenece a la familia de las compuestas y se cultiva con propósitos alimentarios. Se la puede consumir durante todo el año gracias que esta hortaliza se cultiva cada vez más en invernaderos (Contributors, 2019).

2.2.4.1.1. TAXONOMÍA LECHUGA

Tabla 1. Taxonomía de la lechuga

Taxonomía	
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Super división	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asreridae
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae / Compositae
Genero	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Lactuca sativa L.</i>

Fuente: (Usda, 2010)

2.2.4.1.2. VALOR NUTRICIONAL

El valor nutricional de la lechuga se destaca por su contenido de minerales y vitaminas que son esenciales para el cuerpo. Esta hortaliza es una fuente importante de calcio, hierro, vitamina A, proteína, vitamina C, vitamina B1, vitamina B2 (Chiroque Montalban & Castaño, 2019).

Tabla 2. Valor nutricional de la lechuga

Nutrientes	Valor	Nutrientes	Valor
Calorías	19,60 kcal	Grasa	0,60 g
Sodio	3 mg	Carbohidratos	1,40 g
Fibra	1,50 g	Azúcares	1,36 g
Proteínas	1,37 g	Vitamina A	187 ug
Vitamina C	13 mg	Calcio	34,70 mg
Hierro	1 mg	Vitamina B3	0,80 mg

Fuente: (Contributors, 2019)

2.2.4.1.3. DEMANDA DE AGUA

La necesidad de agua en el cultivo de lechuga depende de la capacidad del suelo para retenerla, la cantidad de precipitación y la tasa de evapotranspiración del huerto. Las lechugas son muy sensibles al estrés hídrico. Independientemente del tipo de riego utilizado, la calidad y el rendimiento del cultivo se verán afectados. El efecto más notorio del estrés hídrico es la reducción del tamaño y el engrosamiento de las hojas de la lechuga (Gabriel, y otros, 2017).

2.2.4.1.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

2.2.4.1.4.1. Raíz

Presenta una raíz principal pivotante, corta que puede llegar a penetrar hasta 30 cm de profundidad, tiene pequeñas ramificaciones, rápido crecimiento, posee numerosas raíces laterales de absorción las cuales se desarrollan en la capa

superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm (Chiroque Montalban & Castaño, 2019).

2.2.4.1.4.2. Tallo

Cuentan con un tallo corto, cilíndrico y que no presenta ramificaciones. Cuando finaliza la etapa comercial el tallo se alarga hasta 1,2 m de longitud, con una ramificación del extremo y presencia de una inflorescencia en cada punta de las ramillas terminales (Chiroque Montalban & Castaño, 2019).

2.2.4.1.4.3. Hojas

Sus hojas tienen formas lanceoladas, oblongas o redondeadas. El contorno de los limbos puede ser liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, dependiendo de la variedad. Su color es verde amarillento, claro u oscuro, rojizo, púrpura, dependiendo del tipo (Chiroque Montalban & Castaño, 2019).

2.2.4.1.4.4. Flores

Las flores están agrupadas en capítulos dispuestos en racimos o corimbos que están compuestos por 10 a 25 floretes con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas (Chiroque Montalban & Castaño, 2019).

2.2.4.2. ACELGA (*Beta vulgaris* var. *cicla*)

La acelga es una planta hortícola con propiedades laxantes y digestivas que presenta grandes hojas. Es un cultivo bastante sencillo y es ideal para cualquier tipo de huertos urbanos. Pertenece a la familia Quenopodiáceas y es una hortaliza herbácea bienal de ciclo prolongado, originaria de las regiones costeras de Europa (Flores, 2017).

Es un cultivo perfecto para climas templados, por lo que no es recomendable sembrarlo durante periodos de intenso frío o calor. Esta planta germina a temperaturas a partir de 6°C y puede tolerar hasta aproximadamente 33°C sin inconvenientes. Por ellos, el periodo para sembrar acelga es bastante extenso y depende completamente del clima de la región. Es importante tener en cuenta que todo el proceso de germinación y de crecimiento lleva entre dos y tres meses (Balardo, 2020).

2.2.4.2.1. TAXONOMÍA ACELGA

Tabla 3. Taxonomía de la acelga

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida, Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	Beta
Especie	Beta vulgaris cicla

Fuente: (Calis, 2018)

2.2.4.2.2. DEMANDA DE AGUA

La acelga presenta una alta demanda hídrica, debido a que requiere mantener una humedad constante en el suelo para evitar la deshidratación. Esto implica la necesidad de un riego regular y abundante. Debido a su elevado contenido de agua en las hojas y a su sistema radicular extenso, necesita un suministro continuo de agua para alcanzar un desarrollo óptimo, especialmente en climas cálidos (Eurogarden, 2021).

2.2.4.2.3. VALOR NUTRICIONAL

Tabla 4. Valor nutricional de la acelga

Valor nutricional	
Agua (%)	91,1
Grasas (g)	0,3
Fibra (g)	0,8
Hierro (mg)	3,2
Calcio (mg)	88
Vitamina A (U.I)	6,500
Vitamina C (mg)	3,2

Fuente: (Tq, 2016)

2.2.4.2.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

2.2.4.2.4.1. Raíz

El sistema radicular de la acelga carece de engrosamiento, sus raíces son largas y profundas son generalmente napiformes de aspecto fibroso y tiene una coloración entre blanca y amarillenta (Espinoza, 2020).

2.2.4.2.4.2. Tallo

El tallo lo integra la penca o peciolo de las hojas, el cual es de consistencia herbácea con un tamaño que oscila entre 3 y 4 cm de ancho y de 15 a 20 de largo (Espinoza, 2020).

2.2.4.2.4.3. Hojas

Las hojas forman el órgano comestible, junto con el largo peciolo que las sostiene y se extiende a lo largo del limbo. Son de gran tamaño y diámetro con morfología generalmente ovalada o acorazonada y se agrupan en la base formando una roseta (Espinoza, 2020).

2.2.4.2.4.4. Flores

Están agrupadas formando inflorescencias de tipo espiga y ubicación terminal, cada flor es sécil, hermafrodita, pentámera y de color verde (Espinoza, 2020).

2.2.4.2.4.5. Fruto y semilla

El fruto es pequeño, con forma de nuez, popularmente se le llama de manera errónea "semilla" y es polispermo ya que contiene generalmente de 3 a 6 estructuras germinativas (Espinoza, 2020).

2.2.4.3. NABO (*Brassica rapa subsp. rapa*)

Los nabos pertenecen a la familia Brassicaceae, al igual que otras plantas Brassica sus cuatro pétalos forman una cruz por lo que también se las denomina hortalizas crucíferas. Los nabos se plantan normalmente a partir de semillas y maduran en unos dos meses, se siembra cada 30 cm y se los cosecha cuando la hoja crece unos 20 – 30 cm y empieza a estar amarillenta (Gómez, 2022).

El nabo es una planta bienal esto quiere decir que puede durar has dos años y que se cultiva en las zonas templadas, es comestible. Los nabos no soportan bien los trasplantes por lo que se realizara siempre una siembra directa en aproximadamente 1 cm de profundidad. Es importante que la tierra siempre se mantenga humedad y se recomienda el riego por goteo. Le gusta los suelos que sean ricos en materia orgánica por lo que para fertilizar se recomienda compost o humus de lombriz (Otero, 2020).

2.2.4.3.1. TAXONOMÍA NABO

Tabla 5. Taxonomía del nabo

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Angiosperma
Clase	Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Género	Bassica
Especie	B. rapa

Fuente: (Rivera, 2018)

2.2.4.3.2. DEMANDA DE AGUA

El nabo tiene una necesidad hídrica moderada por lo que requiere un riego constante y equilibrado para evitar que sus raíces adquieran un sabor amargo o una textura leñosa, algo común en suelos arenosos. Es fundamental conservar la humedad del suelo sin encharcarlo, asegurando un buen drenaje que favorezca el desarrollo saludable de las raíces (Schuc & Mackenzie, 2024).

2.2.4.3.3. VALOR NUTRICIONAL

Las hojas del nabo contienen 190 mg de calcio por cada 100g, se trata de la verdura más rica en este mineral, aportan también con mucha fibra, vitamina A, vitamina C, folatos y hierro (Penelo, 2019).

Tabla 6. Valor nutricional del nabo

Valor Nutricional	
Calorías	28g
Hidratos de Carbono	6g
Proteínas	0,9g
Grasas totales	0,1g
Vitamina C	21mg

Fuente: (Penelo, 2019)

2.2.4.3.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

La *Brassica rapa* tiene como nombre común nabo forrajero. Forma parte de la familia Brassicaceae, es una planta herbácea de ciclo bienal, presenta una raíz tuberosa, lisa y con pelos dispersos. Las hojas inferiores son pinnatisectas, con pecíolos, y tienen el haz y el envés cubiertos de pelos, mientras que las hojas superiores son enteras. La inflorescencia se presenta en racimo corimbiforme y produce flores amarillas. El fruto es una silicóna esférica de color marrón oscuro. La raíz engrosada es de color blanco (Demagnet Filippi, Canales Cartes, & García Diez, 2022).

2.2.4.3.4.1. Hoja

Las hojas en las partes inferiores son pecioladas y tienen una forma lobulada. Al principio crecen de manera recta y separada. El lóbulo terminal es puntiagudo y generalmente los lóbulos adyacentes son más grandes. Sus bordes presentan curvas irregulares. Las hojas superiores son sésiles y amplexicales mientras que las hojas intermedias tienen otra característica (Guerrero, 2021).

Las hojas tienen un elevado valor nutritivo y se emplean tanto en la alimentación como en procesos industriales para la obtención de fibra soluble. Además, proporcionan el doble de nutrientes gracias a su contenido proteico, destacándose especialmente por sus vitaminas y minerales, como la vitamina A y la vitamina C. La fibra extraída de estas hojas es considerada de alta calidad tecnológica, debido a su contenido de fibra insoluble que se utiliza en productos alimentarios (Guerrero, 2021).

2.2.4.3.4.2. Tallo y Raíz

Es una planta erecta que puede alcanzar hasta 1,5 metros de altura con ramificaciones cubiertas de pelos ásperos y finos. Su raíz puede variar entre delgada o gruesa y tiene una forma napiforme (Guerrero, 2021).

2.2.4.3.4.3. Flores

El racimo floral terminal tiene una forma corimbiforme y mide entre 10 y 30 cm de largo con flores de color amarillo (Guerrero, 2021).

2.2.4.3.4.4. Fruto y semilla

Los peciolo miden entre 1 y 2,5 cm. Presenta silicuas capsulares de forma lineal con una vaina dehiscente que mide entre 2 y 6 cm de largo y termina en un pico de 1 a 3 cm. Sus semillas son globulares de color café o negro con un tamaño de 1,5 a 2mm (Guerrero, 2021)

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo, en el cual se recopiló información numérica y se evaluó el desarrollo y el rendimiento de hortalizas de hoja bajo un sistema acuapónico, considerando variables como altura de la planta, cantidad de hojas, rendimiento y longitud de raíz.

3.1.2. Tipo de investigación

3.1.2.1. Experimental

La investigación es de tipo experimental ya que se empleó un diseño completamente al azar, en el cual se compararon tres tratamientos que corresponden a los tres tipos de hortalizas (lechuga, acelga y nabo) bajo un sistema acuapónico.

3.2. HIPÓTESIS

H1: la producción acuapónica influye en el desarrollo y rendimiento de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas.

Ho: la producción acuapónica no influye en el desarrollo y rendimiento de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Definición de variables

Variable independiente: hortalizas de hoja (lechuga, acelga y nabo) bajo un sistema acuapónico

Variable dependiente: Desarrollo y Rendimiento

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 7. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Independiente hortalizas de hoja (lechuga, acelga y nabo) bajo un sistema acuapónico	Hortalizas de hoja	Lechuga Acelga Nabo	Observación	Registros de datos
	Sistema acuapónico	Producción agrícola	Observación	Registro de datos
		Producción acuícola (trucha)		
Dependiente Desarrollo y rendimiento	Altura de planta	Altura en cm. Cada 15 días	Observación	Cinta métrica
	Número de hojas	# de hojas cada 15 días	Observación	Observación
	Rendimiento	Kg * 1000 m ²	Observación	Balanza
	Longitud de raíz	Longitud en cm. Cada 15 días.	Observación	Cinta métrica

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Ubicación del ensayo

Esta investigación se llevó a cabo en la provincia del Carchi, Cantón Huaca, Centro Experimental San Francisco en el invernadero del lugar. Esta zona se encuentra a una altitud de 2923 msnm, el cantón Huaca presenta un clima ecuatorial de alta montaña, con una temperatura promedio de 12°C y precipitaciones que oscilan entre 1200 y 2000 mm al año, la humedad relativa varía entre un 70 y 80% (GAD San Pedro de Huaca, 2023).



Figura 5. Ubicación geográfica del Centro Experimental San Francisco

3.4.2. Tratamientos del experimento

En este trabajo de investigación, los tratamientos correspondieron a las distintas especies de hortalizas utilizadas, bajo un sistema acuapónico obteniendo así tres tratamientos a evaluar cómo se puede observar en la tabla 8.

Tabla 8. Tratamientos

Tratamiento	Especie
T1	Lechuga crespa (<i>Lactuca sativa</i>)
T2	Acelga (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i>)
T3	Nabo chino (<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>Rapa</i>)

3.4.3. Descripción y caracterización del experimento

Esta investigación contó con el siguiente diseño experimental como se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9. Diseño experimental

Diseño Experimental	
Características	Descripción
Tratamientos	3
Repeticiones	5
Número de unidades experimentales	15
Área unidad experimental	3m
Área toral del ensayo	44 m ²
Distancia entre plantas	15 cm
Plantas por unidad experimental	20 unidades
Plantas unidad neta	8 unidades
Total de plantas en el ensayo	300 unidades
Truchas	120 unidades

En este estudio se aplicó un diseño completamente al azar. El área total del ensayo fue de 44 m², con 5,50 m de ancho y 8 m de largo. Cada unidad experimental estuvo representada en tubos de PVC de 3 m de largo. En cada tubo se colocó 20 plantas a una distancia de 15 cm. Se alterno entre lechuga, acelga y nabo al azar en cada tubo de PVC y las plantas a evaluar fueron las 8 plantas del medio de cada tubo siendo esta la parcela neta como se observa en la figura 6 y 7. Se colocaron 120 truchas de 3 meses de edad en un estanque de 4m³, de dimensiones 2x2x1 m. Ver anexo 4.

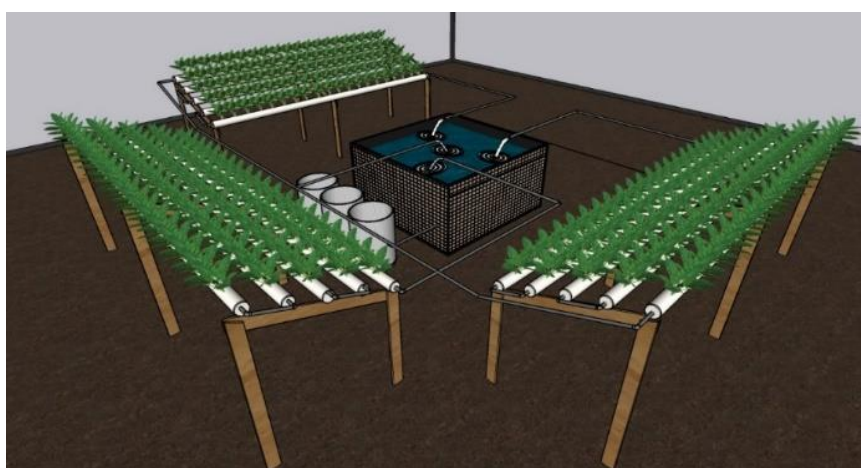


Figura 6. Diseño sistema acuapónico

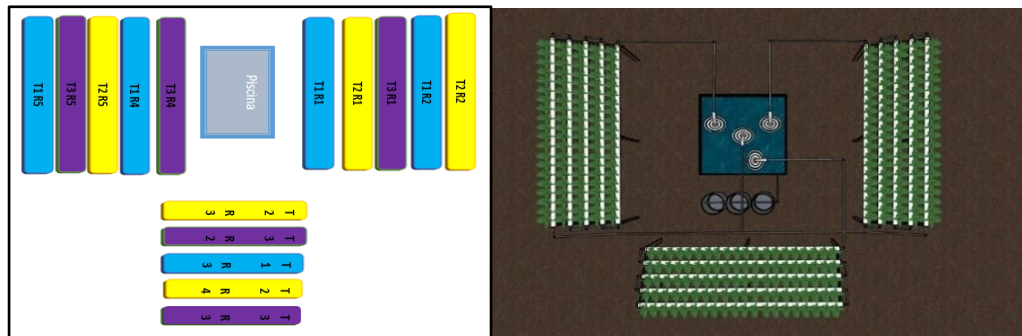


Figura 7. Tratamientos y vista superior

3.4.4. Población y muestra

En el diseño que se implementó en esta investigación se utilizó un total de 300 plantas, 100 plantas de lechuga, 100 plantas de acelga y 100 plantas de nabo. Se seleccionaron 8 plantas de muestra por cada unidad experimental en las cuales se evaluaron las variables correspondientes como se puede observar en la figura 8. Obteniendo un total de 120 plantas a evaluar.

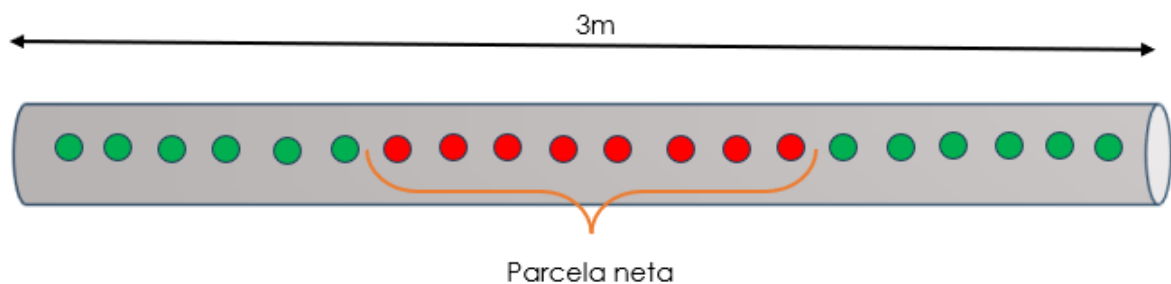


Figura 8. Población y muestra

3.4.5. Manejo del experimento

En la presente investigación se implementó un sistema acuapónico en condiciones controladas (bajo invernadero) el cual tuvo 15 unidades experimentales, tres especies de hortalizas lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) y nabo (*Brassica rapa subsp. rapa*) con 5 repeticiones. Se implementaron truchas para el componente acuícola.

Cada repetición constó de 20 plantas esto quiere decir que en cada tubo de 3m se tuvo 20 plantas dando un total de 300 plantas que fueron empleadas en la investigación.

Con 5 repeticiones de lechuga, 5 repeticiones de acelga y 5 repeticiones de nabo chino. Con 100 plantas de lechuga, 100 plantas de acelga y 100 plantas de nabo chino en total.

Para la implementación de este sistema se necesitó un periodo de 2 semanas de ciclado del estanque antes de colocar los peces en donde diariamente se colocó balanceado en el agua para que así se reprodujeran las bacterias que forman parte del sistema acuapónico, el tiempo de implementación del experimento fue aproximadamente de 4 meses. Los datos en cuanto a las plantas se recolectaron cada 15 días.

3.4.6. Procedimiento Sistema acuapónico

La ejecución de la investigación se llevó a cabo en un ambiente controlado, en el invernadero del centro experimental San Francisco de la UPEC. Se realizó varias actividades para lograr implantar la investigación como se muestra a continuación:

3.4.6.1. Preparación de terreno

Se procedió a limpiar el terreno designado para la implementación del sistema acuapónico empleando azadones y palas para retirar las malezas y poder instalar el sistema acuapónico.

3.4.6.2. Instalación del sistema

Se procedió a adecuar 15 tubos PVC de 4", se realizó 20 perforaciones en cada tubo de 3m para colocar las plantas, a continuación se colocó 12 pingos distribuidos en 3 grupos como soporte para los tubos PVC. Se procedió a realizar las conexiones de las tuberías de 2" por donde circularía el agua hacia los tubos de 4". Por otra parte, se colocó 3 filtros (Biológico, químico y mecánico). A continuación, se procedió a armar la piscina de 2 x 2 x 1 m elaborada con 4 planchas de malla electrosoldada, reforzadas con paredes de cartón y recubierta con plástico negro. Se colocó la bomba de agua dentro del último filtro. La bomba empleada en el sistema tenía la capacidad de recircular 5000 L/h. Se procedió a llenar la piscina con agua y hacerla circular por las tuberías

3.4.7. Procedimiento del componente acuícola

El experimento se desarrolló utilizando truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles de aproximadamente tres meses de edad, con un peso 26 g y talla inicial de 12 cm. Las truchas fueron colocadas en el módulo acuapónico diseñado para mantener condiciones controladas de cultivo y permitir la recirculación del agua hacia el componente hidropónico.

3.4.7.1. Acondicionamiento y aclimatación

Los peces serán aclimatados durante 7 días al nuevo sistema, evaluando la temperatura, y pH del agua hasta alcanzar los valores óptimos para la especie (temperatura 12–16 °C, pH entre 6.5 y 7.5) además de mediciones de amonio (NH_4^+). Durante este período no se realizarán mediciones experimentales.

3.4.7.2. Distribución y densidad de siembra

Las truchas serán distribuidas en el tanque de 4 m³ con una densidad de 30 individuos/m³.

3.4.7.3. Alimentación

Se suministró un alimento balanceado peletizado comercial con un 40–45 % de proteína bruta, administrado dos veces al día (mañana y tarde), equivalente al 3 % del peso corporal total. El ajuste de la ración se realizó cada 15 días con base en el peso promedio obtenido en los muestreos biométricos. El muestreo se realizó cada 15 días en donde se pesaron y midieron aleatoriamente 10 % de los peces para determinar el peso promedio individual, tamaño promedio individual, y biomasa real. Para la alimentación, la información se llevó según la siguiente tabla:

Tabla 10. Alimentación

# U	Peso (g)	Biomasa (kg)	% alimentación	Ración diaria (g)	Ración stock (kg)	Peso esperado (g)
120	26	3,120	3%	328	4,920	60,65

3.4.7.4. Manejo sanitario

Se mantuvo un registro diario de la mortalidad y observaciones clínicas (comportamiento, coloración, lesiones). En caso de mortalidades, se realizó una inspección visual de los animales muertos.

3.4.8. Integración con el componente hidropónico

El agua proveniente del tanque de peces será filtrada mecánica y biológicamente antes de ingresar al módulo de cultivo vegetal. El seguimiento del intercambio de nutrientes (nitrógeno y fósforo) permitirá evaluar la eficiencia del sistema acuapónico.

3.4.8.1. Ciclado del agua

El proceso del ciclado del agua en el sistema acuapónico tuvo una duración aproximada de una semana y media. Durante este tiempo se suministró balanceado

para peces de forma diaria con el fin de estimular el desarrollo y la proliferación de las bacterias nitrificantes. Estas bacterias son fundamentales ya que contribuyen a convertir el amoníaco generado por los peces en nitritos y posteriormente en nitratos, que son nutrientes esenciales para las plantas en el sistema acuapónico. Este proceso ayuda a mantener un equilibrio entre los peces y las plantas, promoviendo el crecimiento del sistema sin recurrir a fertilizantes químicos.

3.4.8.2. Colocación de plántulas

Para esta investigación se empleó plántulas de 20 días. Cien (100) plántulas de lechuga, 100 plántulas de acelga y 100 plántulas de nabo chino. Las cuales fueron trasplantadas a los tubos de PVC de 4" a una distancia de 0,15 cm respectivamente para proceder con la toma de datos. Las plántulas de las hortalizas fueron adquiridas en un invernadero cercano a la zona donde se realizó el proyecto de investigación.

3.4.9. Toma de datos

La recolección de datos de las variables altura de la planta, número de hojas, longitud de la raíz y peso se llevó a cabo cada 15 días, utilizando los instrumentos adecuados para medir cada una de estas variables.

3.4.10. Cosecha

La cosecha en el sistema acuapónico se llevó a cabo una vez que las hortalizas alcanzaron su estado óptimo de desarrollo. Se realizó de manera cuidadosa para evitar daños en las plantas. La cosecha marcó la finalización del ciclo productivo destacando la eficiencia del sistema al momento de producir alimentos saludables sin la necesidad de emplear fertilizantes químicos.

3.4.11. Variables evaluadas

3.4.11.1. Altura de planta

Cada 15 días se registró la altura en centímetros de las 8 plantas de la parcela neta en cada unidad experimental. Esto se llevó a cabo mediante observación, utilizando una cinta métrica para medir desde la base hasta el punto más alto de la hoja más alta.

3.4.11.2. Número de hojas

Cada 15 días se realizó el conteo de las hojas de cada planta de la parcela neta de las unidades experimentales, se realizó mediante observación.

3.4.11.3. Peso del vegetal

Se llevó a cabo el pesaje de los vegetales de las 8 plantas de la parcela neta utilizando una balanza digital. Este procedimiento se realizó cada 15 días.

3.4.11.4. Longitud de la raíz

La medición de la longitud de la raíz comenzó en la segunda semana del experimento, utilizando una cinta métrica, y se llevó a cabo cada 15 días.

3.4.11.5. Temperatura

La toma de la temperatura se realizó cada 15 días con un termómetro digital.

3.4.11.6 pH

La toma de estos datos se realizó cada 15 días con ayuda de un medidor de pH digital, con la finalidad de dar un buen seguimiento al sistema.

3.4.11.7. Nitritos y nitratos

Se registraron los niveles de nitritos y nitratos con ayuda de tirillas indicadoras cada 15 días.



Figura 9. Tirillas indicadoras

3.4.12. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos para determinar los tratamientos más eficaces en términos de desarrollo y rendimiento se llevaron a cabo con el software Infostat. Se fijó un nivel de significancia del 5% para ANAVAR y las pruebas de Tukey. Después de obtener los datos en el programa estadístico, se procedió a su interpretación para cada variable. En la tabla se muestra el esquema de ANAVAR utilizado en este estudio.

Tabla 11. Esquema ANAVAR

Fuente de variación	Formula	Grados de libertad
Tratamientos	T-1	2
Bloques	r-1	4
Error experimental	(T-1) (r-1)	8
Total	Tr-1	14

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Una vez que se recopilaron los datos, éstos se analizaron con el software estadístico Infostat, lo que facilitó la interpretación de los resultados. A continuación, se presenta los resultados obtenidos para las distintas variables.

4.1.1. Variable altura de planta

En la tabla 11 se observa que para la toma 1 y 2 se observa diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde los mejores tratamientos son el T1 (Lechuga) y T3 (Nabo). En las tomas 3 y 4 se observa diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde el mejor tratamiento es el T3 (Nabo). En la toma 5 se observa diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde el mejor tratamiento es el T2 (Acelga). En la toma 6 no se observa diferencias estadísticas significativas (p -valor $>0,05$), obteniendo una media de 23,97 cm, para los tres tipos de hortaliza. Los coeficientes de variación en las diferentes tomas van de 5,63 a 17,62% lo que son valores aceptables para experimentos en el sector agropecuario.

Tabla 12. ANAVAR y Tukey al 5% para la variable de altura

Tratamientos	Tomas después del trasplante (sdt)					
	1	2	3	4	5	6
	Medias					
T1(Lechuga)	9,47 A	10,74 A	11,34 AB	9,28 C	14,81 B	26,25
T2(Acelga)	7,88 B	9,19 B	10,56 B	11,98 B	22,07 A	26,25
T3(Nabo)	10,24 A	11,39 A	12,12 A	14,10 A	17,57 B	19,03
p-valor	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	0,05 ns
Media (cm)	9,19	10,04	11,34	11,78	18,15	23,97
CV (%)	5,63	7,80	4,94	6,15	10,98	17,62

Leyenda: sdt=semanas después del trasplante; ns=no significativo; *=significativo; **= altamente significativo; CV: coeficiente de variación.

En esta investigación se analizó el desarrollo de tres especies de plantas: lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris var. cicla.*) y nabo (*Brassica rapa*) en un sistema acuapónico. En el sistema acuapónico la lechuga alcanzó 26,25cm promedio en comparación con los resultados que obtuvieron Suyono & Purwanto (2017) quien señala que en su investigación la lechuga fue cultivada en suelo y esta

llegó a presentar una altura promedio de 25cm, con esta comparación se pudo evidenciar que en el sistema acuapónico existe ligeramente un mayor crecimiento en altura con relación a la lechuga cultivada en suelo. Con respecto a la acelga en esta investigación alcanzó una altura promedio de 26,65 cm con relación a la investigación de Cera (2022) en donde indica que la acelga presenta un mejor desarrollo siendo cultivada en un sistema hidropónico debido a que alcanzó alturas promedio de 33 cm superando así la altura que alcanzó la acelga en el sistema acuapónico. En el caso del nabo en la investigación de Álvarez (2020) se presentaron mejores resultados siendo este cultivado en tierra en donde alcanzo alturas promedio de 30 cm mientras que en el sistema acuapónico el nabo no tuvo un buen desarrollo alcanzando valores promedio de 19,03 cm. Realizando estas comparaciones con otros sistemas se puede observar que la acelga se adapta con mayor facilidad al sistema acuapónico.

4.1.2. Variable número de hojas

En la tabla 12 se observa que para la toma 1 se observa diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde el mejor tratamiento es el T2(Acelga). En la toma 2 se observa diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde los mejores tratamientos son el T2(Acelga) y T3(Nabo). En las tomas 3 y 4 no se observa diferencias estadísticas significativas (p -valor $>0,05$). En la toma 5 se observa diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde el mejor tratamiento es el T3(Nabo). En la toma 6 no se observa diferencias estadísticas significativas (p -valor $>0,05$), obteniendo una media de 10,11 para los tres tipos de hortaliza. Los coeficientes de variación en las diferentes tomas van de 6,84 a 11,81% lo que son valores aceptables para experimentos en el sector agropecuario.

Tabla 13. ANAVAR y Tukey al 5% para la variable número de hojas

Tratamientos	Tomas después del trasplante (sdT)					
	1	2	3	4	5	6
	Medias					
T1 (Lechuga)	3,73 B	5,05 B	5,70	5,70	7,65 B	10,00
T2 (Acelga)	6,70 A	8,18 A	6,20	5,80	8,23 AB	10,80
T3 (Nabo)	4,23 B	7,45 A	6,38	6,35	9,23 A	9,53
Tratamiento	<0,01**	<0,01**	0,28ns	0,21ns	<0,01**	0,20ns
Media (N°)	4,88	6,89	6,09	5,95	8,37	10,11
CV (%)	11,81	10,07	10,65	9,52	6,84	10,22

Leyenda: sdT=semanas después del trasplante; ns=no significativo; *=significativo; **= altamente significativo; CV: coeficiente de variación.

En esta investigación se analizó la adaptabilidad de tres especies de plantas: lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris var. cicla.*) y nabo (*Brassica rapa*) en un sistema acuapónico. En el sistema acuapónico la lechuga alcanzó un promedio de 10 hojas por planta, este resultado es similar a estudios anteriores en sistemas hidropónicos, donde se reportaron alrededor de 9 a 10 hojas por planta según Delaide & Goddek (2016). La acelga mostró un rendimiento superior en el sistema acuapónico con un promedio de 10,80 hojas por planta en comparación a estudios realizados en sistemas hidropónicos donde reportaron un promedio de 10 hojas por planta según indican Puccinelli, Carmasi, Botrini, & Bindi (2022). El nabo alcanzó un promedio de 9,53 hojas por planta en el sistema acuapónico y en comparación con estudios realizados por Qaisar, Khalil, Ghulam, & Rizwan (2020) el nabo cultivado en tierra alcanzó aproximadamente 8 hojas por planta. Estos resultados sugieren que el sistema acuapónico proporciona un ambiente ligeramente más favorable para el desarrollo de la lechuga, acelga y el nabo posiblemente debido a la interacción positiva entre peces y plantas como a la disponibilidad continua de nutrientes.

4.1.3. Variable longitud de raíz

En la tabla 13 se observa que para la toma 1 se presenta diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde los mejores tratamientos son el T2(Acelga) y T3(Nabo). De la toma 2 a la 6 se observa diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde el mejor tratamiento es el T2(Acelga), obteniendo una media de 31,04 cm. Los coeficientes de variación en las diferentes tomas van de 13,23 a 25,77% lo que son valores aceptables para experimentos en el sector agropecuario a excepción de la toma 3, en donde en CV es superior al 20% lo que denota heterogeneidad de los datos.

Tabla 14. ANAVAR y Tukey al 5% para la variable longitud de raíz

Tratamientos	Tomas después del trasplante (sdt)					
	1	2	3	4	5	6
	Medias					
T1 (Lechuga)	2,29 B	5,70 C	6,53 B	8,87 B	11,09 B	13,43 B
T2 (Acelga)	4,27 A	12,65 A	16,08 A	21,42 A	26,98 A	31,04 A
T3 (Nabo)	4,85 A	8,94 B	7,80 B	9,35 B	11,64 B	13,71 B
Tratamiento	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Media (cm)	3,80	9,09	10,13	13,21	16,57	19,39
CV (%)	16,08	18,85	25,77	14,98	16,73	13,23

Leyenda: sdt=semanas después del trasplante; ns=no significativo; *=significativo; **= altamente significativo; CV: coeficiente de variación.

En este estudio se comparó la longitud de la raíz de las tres hortalizas empleadas: lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris*) y nabo (*Brassica rapa*) cultivados en

un sistema acuapónico. Los resultados indicaron que la lechuga cultivada en el sistema acuapónico alcanzó una longitud de raíz promedio de 13,43 cm. Resultados similares se obtuvieron en la investigación de Rahman, Ahasan, Chawdhery, & Begum (2019) en donde se obtuvo de 12 a 13 cm de longitud de raíz en lechuga cultivada en un sistema hidropónico. La acelga mostró una longitud de raíz considerablemente mayor en el sistema acuapónico con un promedio de 31,04 cm a comparación con los resultados obtenidos por Puccinelli, Carmasi, Botrini, & Bindi (2022) en donde la acelga alcanzó un promedio de 28 cm de longitud en un sistema hidropónico. El nabo cultivado en el sistema acuapónico alcanzó una longitud de raíz promedio de 13,71 cm, este resultado es ligeramente superior a los resultados que obtuvo Ortiz (2015) en donde la longitud de raíz alcanzó los 12 cm promedio. Esto indica que el sistema acuapónico es igual de efectivo que otros métodos de producción debido a la constante disponibilidad de nutrientes para las plantas.

4.1.4. Variable peso de hortalizas

En la tabla 14 se observa que desde la toma 1 a la 5 se presentan diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde el mejor tratamiento es el T3(Nabo). En la toma 6 no se observa diferencias estadísticas significativas (p -valor $>0,05$), obteniendo una media de 50,73 g para los tres tipos de hortaliza. Los coeficientes de variación en las diferentes tomas van de 8,16 a 15,89% lo que son valores aceptables para experimentos en el sector agropecuario.

Tabla 15. ANAVAR y Tukey al 5% para la variable de peso

Tratamientos	Tomas después del trasplante (sdt)					
	1	2	3	4	5	6
	Medias					
T1 (Lechuga)	6,38 C	12,85 C	14,80 C	17,53 B	22,60 B	46,35
T2 (Acelga)	8,34 B	16,03 B	17,93 B	21,28 B	30,30 B	52,85
T3 (Nabo)	11,43 A	24,05 A	26,00 A	29,68 A	45,18 A	52,99
Tratamiento	<0,01**	<0,01**	<0,01**	0,01*	<0,01**	0,37ns
Media (g)	8,71	17,64	19,57	22,83	32,69	50,73
CV (%)	10,46	8,32	8,16	13,14	15,03	15,89

Leyenda: sdt=semanas después del trasplante; ns=no significativo; *=significativo; **= altamente significativo; CV: coeficiente de variación.

En este estudio se evaluó el peso de tres hortalizas: lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris*) y nabo (*Brassica rapa*), cultivadas en un sistema acuapónico. Los resultados indicaron que la lechuga alcanzó un peso promedio de 46,35 g al final del período de evaluación. En sistemas hidropónicos por ejemplo en la investigación de Lages Barbosa, Almeida Gadelha, Kublik, Proctor, & Reichelm (2015) reportaron un peso máximo de 92 g pro planta, esto sugiere que, aunque el peso obtenido en este

estudio es inferior al valor reportado en el estudio de Almeida Gadelha, Kublik, Proctor, & Reichelm (2015) se sitúa dentro de los rangos posibles para cultivos sin suelo y demuestra una buena adaptabilidad al sistema acuapónico. La acelga presentó un peso promedio de 52,85 g. resultados similares se obtuvieron en la investigación de Hlophe, P.A, Sibandze,S, & Dlamini, A.M (2019), quienes reportaron valores de 58,3 g pro planta en acelga cultivada en sistemas hidropónicos, demostrando que esta especie presenta un comportamiento favorable en cultivos sin suelo. El nabo alcanzó un peso promedio de 52,99 g en este estudio. En producción en suelo un estudio Ahmed, Saleemi, Jabeen, Haider, & Syed, (2019) indicaron que el peso aproximado fue de 66,60 g por planta en condiciones de suelo a los 70 días. Este dato sugiere que el peso del nabo en el sistema acuapónico es muy cercano al obtenido en suelo lo que indica buena adaptabilidad de la especie al cultivo acuapónico.

4.1.5. Variable rendimiento de hortalizas

En la tabla 15 se presenta el análisis de varianza para la variable de rendimiento, donde se puede notar que en la semana 12 no hubo diferencias significativas ni entre tratamientos ni en repeticiones. Presentó una media de 1,15g y un coeficiente de variación de 15,89% respectivamente.

Tabla 16. Análisis de varianza para la variable rendimiento de hortalizas

Rendimiento m²	
T1 (Lechuga)	175,21
T2 (Acelga)	199,77
T3 (Nabo)	200,99
Medias	
Tratamiento	0,36ns
Media (Kg*1000m²)	1,15
CV (%)	15,89

El análisis de varianza llevado a cabo en este estudio no mostró diferencias significativas entre los bloques ni entre los tratamientos, lo que sugiere que bajo las condiciones controladas del sistema acuapónico las plantas crecieron de manera uniforme. Resultados similares dan a conocer Velásquez et al. (2016) quienes al evaluar un sistema acuapónico en lechuga tampoco encontraron diferencias significativas en el rendimiento entre distintos tratamientos. Esto evidencia que en sistemas acuapónicos bien manejados la absorción de nutrientes puede ser equilibrada favoreciendo al crecimiento. De igual manera Jiménez y Rodríguez (2018) reportaron coeficientes de variación entre 12% y 18% en sus experimentos de producción de hortalizas bajo condiciones controladas lo que coincide con el

coeficiente de variación de 15,89% obtenido es nuestro estudio. Al ofrecer condiciones homogéneas para el crecimiento de las plantas, a pesar de que no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, esto confirma la capacidad del sistema para asegurar un rendimiento constante y comparable al de otros estudios realizados en circunstancias similares.

4.1.6. Variable temperatura del agua

En la figura 9 se puede observar que la temperatura alcanzó un mínimo de 12°C en la primera semana y un máximo de 17°C en la semana 3 presentando así un promedio de 14.4°C de temperatura la cual está dentro de los límites establecidos para que el sistema tenga un buen funcionamiento.

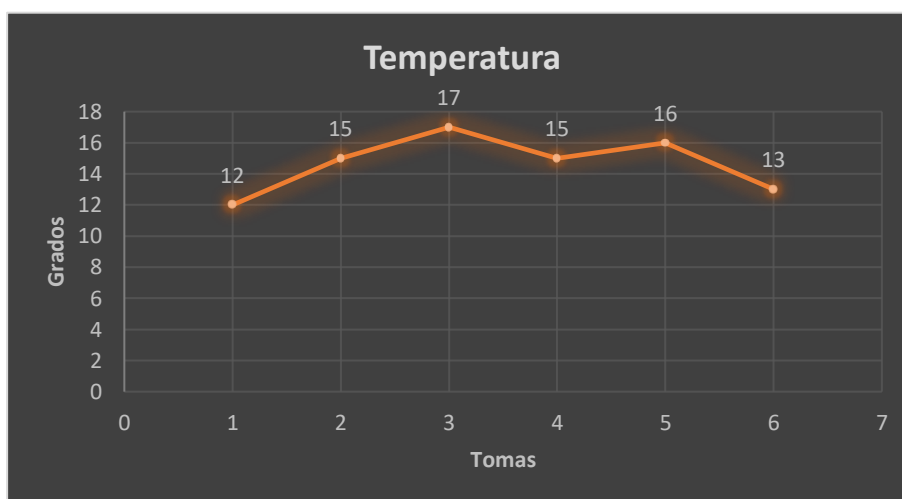


Figura 10. Temperatura

La temperatura del agua es un elemento fundamental en los sistemas acuapónicos, afectando de manera directa la salud y el rendimiento de las plantas como de los peces. En la presente investigación la temperatura alcanzó un mínimo de 12°C y un máximo de 17°C y según Somervill, Cohen, Pantanella, & Stankus (2022) mencionan que las plantas como la lechuga y la acelga las cuales fueron empleadas en esta investigación se desarrollan de mejor manera en aguas frías y también nos dan a conocer que peces como la trucha que también fue empleada en la investigación no toleran temperaturas superiores a 18°C esto quiere decir que los rangos de temperatura que se manejó durante el tiempo de investigación están dentro de los requerimientos del sistema acuapónico brindando así mejores resultados en el desarrollo del T2. Esta investigación demostró que la acelga demostró una mayor adaptabilidad a una variedad más amplia de temperaturas del agua, manteniendo un crecimiento constante en condiciones óptimas como ligeramente subóptimas.

Este resultado coincide con lo indicado por Resh(2022) quien destaca que la acelga es una planta capaz de adaptarse a variaciones en las condiciones ambientales incluyendo la temperatura del agua.

4.1.7. Variable pH del agua



Figura 11. pH del agua

El pH del agua es esencial en los sistemas acuapónicos, ya que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes y en la salud de las plantas y los peces. Es crucial mantener niveles óptimos de pH para asegurar un adecuado funcionamiento del sistema acuapónico. En la presente investigación los niveles de pH de agua mantuvieron un promedio de 7,96. Comparando con la investigación de (Ortiz Cortés & Martínez Yañez, 2015) podemos notar que el promedio del nivel de pH en la presente investigación no supera el límite de los valores apropiados sin embargo se encuentra sobre los 7,5 reduciendo un poco la disponibilidad de nutrientes para las plantas como hierro, manganeso, cobre, zinc y boro pero se encuentra sobre los 6 mejorando así la absorción del fosforo, calcio y magnesio. Por ello es importante mantener los niveles óptimos de pH del sistema para que de esta manera se dé un buen funcionamiento de sistema acuapónico.

4.1.8. Variable Nitritos y Nitratos

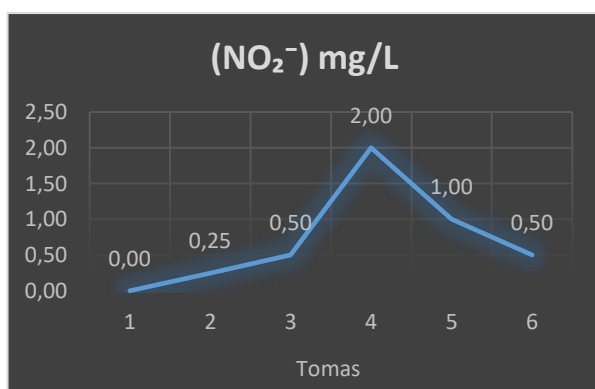


Figura 12. Nitritos

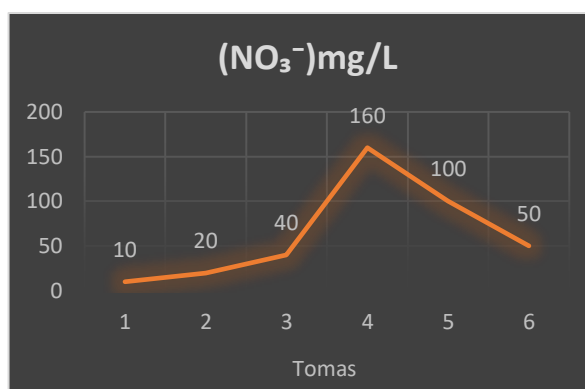


Figura 13 Nitratos

En la presente investigación podemos observar que entre la toma 3 y 4 se presentó un incremento abrupto tanto en NO₂ (0,5 a 2,0 mg/L) como en NO₃ (40 a 160 mg/L), lo que indica un desequilibrio en el sistema acuapónico. Según Deer, Dunn, Hu, & Dusci (2021) en sistemas acuapónicos bien establecidos los nitritos deben mantenerse entre 0 y 0,25 mg/L ya que concentraciones mayores a 1 mg/L pueden causar estrés fisiológico o mortalidad en peces. En cuanto a los nitratos, se considera aceptable un rango de 10 a 140 mg/L siendo este último valor máximo recomendado para evitar toxicidad crónica o acumulación excesiva de nutrientes en el sistema. Al comparar estos valores con los obtenidos en esta investigación se observa que en la toma 4 los nitritos y nitratos se elevaron bastante, dicho incremento indica una acumulación excesiva de compuestos nitrogenados que pueden estar asociados a la sobre alimentación, falla del biofiltro, mortalidad de peces o reducción de la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

4.1.9. Análisis económico

En la tabla 20 se presenta el análisis económico del experimento, en donde se observa que el costo de mantenimiento de sistema acuapónico es de \$695,22, además se presenta el costo de las plántulas para una extensión de 1000 m² en donde la plántula de acelga (\$1134,00) es el más costoso en relación al nabo (\$756,00) y la lechuga (\$567,00); por lo que el costo de inversión más alto lo tiene el nabo con \$1829,22. Con el análisis de rendimiento proyectado a 1000 m² y una producción anual de cuatro ciclos se obtiene que la mejor relación costo/beneficio es el T3(Nabo) con 2,74 seguido del T1 con 2,48 y finalmente el T2 con 1,85; todo esto muestra que el sistema acuapónico es rentable para hortalizas de hoja.

Tabla 17. Análisis económico

Tratamientos	Costo mantenimiento sistema	Costo por planta	Costo truchas	Costo mantenimiento sistema acuícola	Costo Total	Ingresos sistema hidropónico	Ingresos sistema acuícola	Ingreso Total Sistema Acuapónico	Costo/Beneficio
T1	\$ 695,22	\$ 567,00	\$ 8,00	\$ 6,25	\$ 1.276,47	\$ 3.153,65	\$ 10,66	\$ 3.164,31	2,48
T2	\$ 695,22	\$ 1.134,00	\$ 8,00	\$ 6,25	\$ 1.843,47	\$ 3.396,14	\$ 10,66	\$ 3.406,80	1,85
T3	\$ 695,22	\$ 756,00	\$ 8,00	\$ 6,25	\$ 1.465,47	\$ 4.005,29	\$ 10,66	\$ 4.015,95	2,74

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Finalizada la investigación y los análisis estadísticos de las tres variedades empleadas en un sistema acuapónico se concluye que:

- Para la variable altura de planta, número de hojas y peso de las hortalizas al final de ciclo del cultivo (12 semanas) no se observó diferencias estadísticas entre los tipos de hortalizas, lo que permite concluir que el sistema acuapónico tiene un efecto favorable para el desarrollo vegetativo de la lechuga, acelga y nabo, bajo invernadero.
- En la variable longitud de la raíz se observa diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) en donde el mejor tratamiento es el T2 (acelga), obteniendo una media de 31,04 cm.
- No se observó diferencias estadísticas (p -valor $<0,05$) para la variable rendimiento entre los tres tipos de hortalizas (lechuga, acelga y nabo), mostrando que el sistema acuapónico funciona de forma adecuada, en donde la lechuga tuvo un rendimiento de 175,21 kg*1000 m², la acelga de 199,77 kg*1000 m² y el nabo de 200,29 kg*1000 m².
- El análisis costo/beneficio permitió identificar que el T3 (nabo) fue el que mayor índice obtuvo con 2,76 seguido del T1 (lechuga) con 2,50 y finalmente el T2 (acelga) con 1,86; esto atribuido al costo de las plántulas.

5.2. RECOMENDACIONES

Tras los resultados obtenidos en este estudio, se sugiere:

- Se recomienda el cultivo de Nabo (*Brassica rapa subsp. rapa*) bajo un sistema acuapónico con truchas ya que fue el que mejor relación costo/beneficio tubo.
- La adopción de un sistema acuapónico es una excelente alternativa para abordar problemas relacionados con la contaminación ambiental, el uso inadecuado de recursos y para optimizar la salud alimentaria de los

- consumidores. Gracias a que mediante la implementación de este sistema se mejora la utilización de los recursos naturales, se evita el uso de productos químicos, se mitiga la contaminación ambiental y se crea una alternativa nueva amigable con el ambiente.
- Es fundamental realizar un seguimiento periódico y ajustar los niveles de pH y temperatura del agua de acuerdo con los requerimientos específicos de las plantas cultivadas. Esto garantizará condiciones ideales para el crecimiento saludable y el desarrollo tanto de las plantas como de los peces.
- Investigaciones futuras podrían indagar más como las hortalizas interactúan con diversas especies de peces, así como el impacto de diferentes configuraciones de sistemas acuapónicos en su desarrollo y productividad. Además, estudios a largo plazo podrían ofrecer una perspectiva más profunda sobre como la rotación de cultivos y la integración de diversas especies vegetales pueden mejorar la eficiencia de producción en sistemas acuapónicos.
- Se recomienda mantener un control constante de los niveles de nitritos y nitratos mediante monitoreos semanales, ajustes en la alimentación y revisión del biofiltro, a fin de prevenir desequilibrios como los que se presentaron en esta investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abed, Z., & Salman, F. (Diciembre de 2024). *nesciences*. Obtenido de https://nesciences.com/article/1606631/72293/?utm_source=chatgpt.com
- Ahmed, S., Saleemi, I., Jabeen, F., Haider, A., & Syed, A. (2019). Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4483736/?utm_source=chatgpt.com
- Alvarez, E. M. (2020). Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2f20cd60-4ed7-4f0a-bd3c-13361246e0ac/content>
- Armijos, A. S. (2016). *utmachala*. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/8430/1/ECUACS%20DE0011.pdf>
- Balauo, L. (27 de Febreo de 2020). *infocampo*. Obtenido de <https://www.infocampo.com.ar/ acelga-una-hortaliza-versatil-y-facil-de-plantar-en-la-huerta/>
- Basurto Basurto, C., & Vera Santana, P. (Julio de 2022). Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1922/1/TTMA86D.pdf>
- Basurto Basurto, C., & Vera Santana, P. (Julio de 2022). *Repositorio*. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1922/1/TTMA86D.pdf>
- Benton, T., Bieg, C., Harwatt, H., Pudasaini, R., & Wellesley, L. (29 de marzo de 2021). *CHATHAM HOUSE*. Obtenido de <https://www.chathamhouse.org/2021/02/food-system-impacts-biodiversity-loss>
- Bioeco. (21 de febrero de 2018). Obtenido de <https://www.bioecoactual.com/2018/02/21/los-peligros-los-fertilizantes-quimicos/>
- Cáceres, G. P. (2021). *dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=301742>
- Calis, K. (03 de Noviembre de 2018). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/KarinaCalis1/acelga-beta-vulgaris-cicla-por-karina-calis>

- Camargo, W. A. (2021). *unbosque*. Obtenido de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/7085/Agudelo_Camargo_Wayra_Alejadra_2021.pdf?sequence=3
- Candia Pacheco, L., & Quiroga Sossa, M. (2018). *SciELO*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182018000200012&script=sci_arttext
- Cedrssa. (Junio de 2015). *CEDRSSA*. Obtenido de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/8126La%20acuacultura.pdf>
- Cera, L. (Agosto de 2022). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/368974768_Growth_and_yield_performance_of_lettuce_Lactuca_Sativa_L_fertilized_with_varying_levels_of_compost
- Chiroque Montalban, J. E., & Castaño, R. (28 de Septiembre de 2019). *engormix*. Obtenido de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/caracterizacion-lechuga-lactuca-sativa-t44527.htm>
- CONICET. (2018). Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/104245/CONICET_Digital_Nro_de3da557-4688-4c52-a9c6-3ddab7e994bc_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Contributors, E. (28 de Mayo de 2019). *Lactuca sativa*. Obtenido de https://www.ecured.cu/index.php?title=Especial:Citar&page=Lactuca_sativa&id=3382689
- Council, N. R. (2011). *The National Academies Press*. Obtenido de https://nap.nationalacademies.org/catalog/13039/nutrient-requirements-of-fish-and-shrimp?utm_source=chatgpt.com
- Cutiño, V. B., Imeroni, J. C., & Sanzano, P. (Mayo de 2018). *UNICEN*. Obtenido de <https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/141f2425-8638-4269-ac79-4fa8a2c82933/content>
- Deer, C., Dunn, B., Hu, B., & Dusci, J. (octubre de 2021). *OKSTATE*. Obtenido de https://extension.okstate.edu/fact-sheets/nitrification-and-maintenance-in-media-bed-aquaponics.html?utm_source=chatgpt.com
- Delaide, B., & Goddek, S. (Octubre de 2016). *researchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/309302373_Lettuce_Lactuca_sativa_L_var_Sucrino_Growth_Performance_in_Complemented_Aquaponic_Solution_Outperforms_Hydroponics

- Demagnet Filippi, R., Canales Cartes, C., & García Diez, J. (07 de Febrero de 2022). *Agrovet*. Obtenido de <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/nabo-forrajero-brassica-rapa-t48934.htm>
- Díaz, C. G. (23 de Julio de 2018). *UISEK*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3090/1/TESES%20Final%20corregida%20%20ACUAPONIA%20TAPIA%202018.pdf>
- Escobedo, R. L. (2017). *utmachala*. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11349/1/DE00011_EXAMENCOMPLEXIVO.pdf
- Espinoza, G. (20 de Mayo de 2020). *naturaleza*. Obtenido de <https://naturaleza.animalesbiologia.com/plantas/verduras/acelga-beta-vulgaris-var-cicla>
- Eurogarden. (20 de septiembre de 2021). Obtenido de <https://www.eurogardenseeds.com/guia-para-huertos-aprende-a-cultivar-tus-propias-acelgas-desde-la-semilla/#:~:text=Las%20acelgas%20requieren%20de%20abundante,del%20crecimiento%20de%20las%20hojas>.
- FAO. (2020). Obtenido de https://www.fao.org/4/i2125e/i2125e.pdf?utm_source=chatgpt.com
- FAO. (2021). Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb7654es>
- Flores. (6 de Enero de 2017). *flores y plantas*. Obtenido de <https://www.floresyplantas.net/acelga/>
- Franquesa, M. (11 de Mayo de 2016). *Agroptima*. Obtenido de <https://www.agroptima.com/es/blog/agricultura-convencional/>
- Gabriel, S., Corradini, F., Antpunez, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017). *ciren*. Obtenido de https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29500/INIA_Libro_0051.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- GAD San Pedro de Huaca. (2023). Obtenido de <https://www.huaca.gob.ec/gadhuaca/images/pdf/PDYOT.pdf>
- Gavilano, N. D. (2020). *lamolina*. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4446/delgado-gavilano-nella.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Goddek , S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. (2019). Obtenido de <https://research.wur.nl/en/publications/aquaponics-food-production-systems-combined-aquaculture-and-hydro>
- Gómez, R. (07 de Septiembre de 2022). *Sembrar100*. Obtenido de <https://www.sembrar100.com/hortalizas-de-raiz/nabos/>
- Guerrero, J. N. (29 de Abril de 2021). Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16554/1/TTUACA-2021-IA-DE00020.pdf>
- Guillén, F. M. (2018). Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/896/1/TMA180.pdf>
- Guillén, F. M. (2018). Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/896/1/TMA180.pdf>
- Hlophe, P.A, Sibandze,S, & Dlamini, A.M. (2019). *MedCrave*. Obtenido de https://medcraveonline.com/HIJ/effects-of-different-media-on-the-growth-and-yield-of-swiss-chard-beta-vulgarisvar-cicla-grown-in-hydroponics.html?utm_source=chatgpt.com
- Hydro. (2024). Obtenido de https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=148
- Jaime, J. A. (2019). Obtenido de <https://cifalmalaga.org/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
- Kause, A., Quinton, C., & Vandeputte, M. (2022). Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9387595/?utm_source=chatgpt.com
- Lages Barbosa, G., Almeida Gadelha, F., Kublik, N., Proctor, A., & Reichelm, L. (15 de junio de 2015). Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4483736/?utm_source=chatgpt.com
- Mendes, F., Freitas, A., Alcantara , E., Vitor Marques, R., Souza de Oliveira, A., Barbosa, R., . . . Junqueira, R. (01 de Agosto de 2021). *ciencias agrarias y biologicas*. Obtenido de https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18176?utm_source=chatgpt.com
- Montanarella, L., Scholes, R., & Brainich, A. (2018). *ipbes*. Obtenido de <https://www.ipbes.net/assessment-reports/ldr>

- Morales, J. J. (2019). *upse*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4808/1/UPSE-TIA-2019-0008.pdf>
- ornamentales, H. y. (28 de Enero de 2016). Obtenido de <https://hcoetsia.wordpress.com/2016/01/28/uso-de-sustratos-en-acuaponia/>
- Ortiz Cortés, L., & Martínez Yañez, A. (2015). Crecimiento de hortalizas en sistemas acuapónicos. En *JOVENES EN LA CIENCIA*. Guanajuato.
- Ortiz, J. E. (2015). *ResearchGate*. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/bf18e900-20fd-4182-a7b8-83b1200bfd04/content>
- Otero, P. (05 de Agosto de 2020). *AgroHuerto*. Obtenido de <https://www.agrohuerto.com/como-cultivar-nabos-en-el-huerto/>
- Penelo, L. (10 de Enero de 2019). *LAVANGUARDIA*. Obtenido de https://es.slideshare.net/Erika_1025_Rivera/nabo-por-erika-rivera
- Pineda, E. E. (17 de Diciembre de 2020). *ZAMORANO*. Obtenido de <https://www.zamorano.edu/2020/12/17/la-acuaponia-como-un-sistema-sostenible-para-la-produccion-de-alimentos/>
- Puccinelli, M., Carmasi, C., Botrini, L., & Bindi, A. (Julio de 2022). *researchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/362088670_Growth_and_Mineral_Relations_of_Beta_vulgaris_var_cicla_and_Beta_vulgaris_ssp_maritima_Cultivated_Hydroponically_with_Diluted_Seawater_and_Low_Nitrogen_Level_in_the_Nutrient_Solution
- Qaisar, M., Khalil, A., Ghulam, Q., & Rizwan, M. (Enero de 2020). *researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/339023217_Growth_and_Yield_of_Turnip_Brassica_rapa_L_in_Response_to_Different_Sowing_Methods_and_Nitrogen_Levels_in_Salt-Affected_Soils
- Rahman, Ahasan, R., Chawdhery, A., & Begum, P. (2019). *researchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/331699490_Growth_and_Yield_of_Hydroponic_Lettuce_as_Influenced_by_Different_Growing_Substrates
- Rakocy, J., Masser, M., Losordo, T., & Beem, M. (Marzo de 2017). *OKSTATE*. Obtenido de <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/recirculating-aquaculture-tank-production-systems-aquaponics-integrating-fish-and-plant-culture.html>

- Raza, Q., Bashir, M., Rehim, A., Geng, Y., Ali Raza, H., Hussain, S., . . . Wasif, M. (01 de Agosto de 2023). MDPI. Obtenido de https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11851?utm_source=chatgpt.com
- Resh, H. M. (2022). *Producción de alimentos hidropónicos*. CRC Press.
- Ríos, R. (Julio de 2012). *Aquadocs*. Obtenido de <https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/8121/Cartilla%20%20pr%C3%A1ctica%20para%20el%20cultivo%20de%20tilapia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivera, E. (17 de Octubre de 2018). *slideshare*. Obtenido de https://es.slideshare.net/Erika_1025_Rivera/nabo-por-erika-rivera
- Rizo, E. (05 de Agosto de 2011). *HORTALIZAS*. Obtenido de <https://www.hortalizas.com/horticultura-protégida/invernadero/ahorra-recursos-con-la-acuaponia/>
- Ruiz Velazo, J., Rodríguez, G., Hernández Llamas, A., & Estrada Pérez, N. (2024). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. Obtenido de <https://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/3866>
- Ruralmx. (7 de Abril de 2022). Obtenido de <https://ruraltv.com.mx/acuaponia-alimentos-sostenibles-en-formas-alternativas/>
- SADR. (marzo de 2018). Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/acuaponia-una-alternativa-sustentable-para-la-producir-plantas-y-peces#:~:text=Consiste%20en%20la%20crianza%20de,agua%20cuando%20retiran%20dichos%20nutrientes.>
- Schuc , M., & Mackenzie, J. (2024). *UNIVERSITY OF MINNESOTA EXTENSION*. Obtenido de <https://extension.umn.edu/vegetables/growing-turnips-and-rutabagas#watering-794810>
- Solagro. (2019). *Solagro*. Obtenido de <https://avgust.com.ec/lechuga-2/#:~:text=El%20cultivo%20de%20lechuga%20en,12%20y%2018%20%C2%B0C.>
- Somervill, C., Cohen, M., Pantanella, E., & Stankus, A. (2022). *FAO*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2eff5ca4-c831-423e-ba37-47b7882e3ca0/content>
- Suaréz Serrano, A., Baldioceda Garro, Á., Durán Sanabria, G., Rojas Conejo, J., Rojas Cantillano , D., & Guillén Watson, A. (01 de Julio de 2019). *Revista CIENCIAS AMBIENTALES*. Obtenido de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/issue/view/1137>

- Suyono, & Purwanto. (2017). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/319636881_Growth_And_Yield_Of_Lettuce_Lactuca_sativa_L_Under_Organic_Cultivation
- Tiefigue Pierrette, C., Guo Du, J., & Diakit , D. (diciembre de 2021). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/359211371_Sustainable_agricultura_l_practices_adoption
- Tilman, D., Clark, M., Williams, D., Kimmel, K., Polasky, S., & Packer, C. (31 de mayo de 2017). *nature*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/nature22900>
- Togra, M. L. (2019). *dspace*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18107/1/UPS-CT008604.pdf>
- Tq, A. (23 de Mayo de 2016). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/313554282/Taxonomia-de-La-Acelga#>
- Ulibarry, P. G. (Marzo de 2019). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Usda. (2010). *usda*. Obtenido de <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=LASA3>
- Verdegen. (8 de Abril de 2017). *GENERACIÓN verde*. Obtenido de <https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos/>
- Villa, L. (18 de Junio de 2017). *La Villa*. Obtenido de <https://blog.gardencenterejea.com/acuaponia-caracteristicas/>
- Yavuzcan, H., Robaina, L., Pirhonen, J., & Mente, E. (2017). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/312125759_Fish_Welfare_in_Aquaponic_Systems_Its_Relation_to_Water_Quality_with_an_Emphasis_on_Feed_and_Faeces-A_Review

Anexo 2. Informe de abstract por parte de idiomas



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN
AND NATIVE LANGUAGES CENTER**

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Evelyn Yesenia Pozo Salazar				
DATE: Jueves, 13 de noviembre de 2025				
Topic: "Producción acuapónica de hortalizas de hoja bajo condiciones controladas en el Centro Experimental San Francisco, cantón Huaca"				
MARKS AWARDED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE				
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
On	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	<p>9 - 10: EXCELLENT</p> <p>7 - 8,9: GOOD</p> <p>5 - 6,9: AVERAGE</p> <p>3 - 4,9: LIMITED</p> <p style="text-align: center;">TOTAL 9</p>			



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Evelyn Yesenia Pozo Salazar

Fecha de recepción del abstract: Miércoles, 12 de noviembre de 2025

Fecha de entrega del informe: Jueves, 13 de noviembre de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
Responsable del
CIDEN

Anexo 3. Costo de producción

Sistema: Semitecnificado		Lugar: Centro Experimental "San Francisco"		
Área: 1000 m2		Responsable: Evelyn Pozo		
Materiales	Unidades	Medida	Costo Unitario	Costo total
Implementación del sistema				
Mano de obra				360
Adecuación de espacio	4	jornales	15	60
Instalación del sistema	12	especialistas	25	300
Invernadero	1		1200	1200
Estanque				755,80
plástico	130	metro cuadrado	4,50	585,00
malla	38	metro cuadrado	4,00	152,00
Tubo Galvanizado	20	material	0,94	18,80
Sistema			20,80	3160,30
Tubo 4"	477	material	4,20	2003,40
Tapas 4"	477	material	0,50	238,50
Tapas sello 4"	477	material	0,50	238,50
Tubo 2"	45	material	3,50	157,50
Unión 2"	130	material	0,75	97,50
Codos 2"	180	material	0,40	72,00
Llave control tanque	2	material	6,50	13,00
Tubo 1"	90	material	1,75	157,50
Codos 1"	300	material	0,40	120,00
Llaves 1"	40	material	1,50	60,00
Válvula de paso 1"	3	material	0,80	2,40
Equipos y materiales			242,97	337,17
Calipega	1	Material	3,50	3,50
Tarroja 2"	1	Material	4,20	4,20
adaptador	1	Material	1,50	1,50
Silicona	2	Material	2,75	5,50
Balanza	1	Material	9,27	9,27
metro	1	Material	2,00	2,00
kit taladro	1	Material	4,20	4,20
Bomba recirculación y oxigenación	1	Equipo	45,00	45,00
bomba para sistema de tubería	1	Equipo	95,00	95,00
test agua	2	Material	13,50	27,00
pingos	45	Material	0,80	36,00
tabla de 15 cm	15	Material	1,25	18,75
flotador control nivel agua	1	Equipo	15,00	15,00
tachos	3	Material	5,00	15,00
plumón	2	Fundas	4,00	8,00
teja	4	Material	0,75	3,00
canutillos	2	Caja	5,50	11,00
taipe	2	Material	0,50	1,00
Servicio suelda	1	día	25,00	25,00
Electrodos	3	Libra	1,50	4,50
toma corriente	1	Material	1,50	1,50
enchufe	1	Material	1,25	1,25
Servicios				180,00
Agua y luz	12	Mes	15,00	180,00
Costo Total				5993,27

Anexo 4. Diseño del experimento



Figura 14. Sistema acuapónico