



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:
EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA
DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*)
COMO SUSTRATOS PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS**

**AUTORES:
BASURTO BASURTO CARLOS LUIS
VERA SANTANA PAULA MARÍA**

**TUTOR:
QF. PATRICIO JAVIER NOLES AGUILAR, M.Sc.**

CALCETA, JULIO 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

CARLOS LUIS BASURTO BASURTO y **PAULA MARÍA VERA SANTANA**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la **Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”**, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.



CARLOS L. BASURTO BASURTO



PAULA M. VERA SANTANA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

QF. PATRICIO JAVIER NOLES AGUILAR, M.SC, certifica haber tutelado el proyecto **EVALUACIÓN DE RESIDUOS AGRICOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) COMO SUSTRATOS PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS**, que ha sido desarrollada por **CARLOS LUIS BASURTO BASURTO y PAULA MARÍA VERA SANTANA**, previa a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Q.F. PATRICIO J. NOLES AGUILAR, M. Sc.

Firmado por: Blgo. Jhonny Manuel Navarrete Álava, Mg.
Director de carrera de Ingeniería Ambiental.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EVALUACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) COMO SUSTRATOS PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS**, desarrollado por **CARLOS LUIS BASURTO BASURTO y PAULA MARÍA VERA SANTANA**, previa a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”.

**ING. CARLOS BANCHÓN BAJAÑA, MsC.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**ING. JOSÉ GILER MOLINA, MsC.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**ING. CARLOS DELGADO VILLAFUERTE, Mg. C.A.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios que nos ha permitido a pesar de las adversidades seguir adelante y cumplir con esta meta.

A nuestro tutor y amigo Qf. Patricio Noles, que desde el inicio de nuestra carrera universitaria ha estado presente impartiendo sus conocimientos y a su vez guiándonos para culminar nuestra tesis apropiadamente.

A nuestros profesores quienes han sido parte fundamental de este logro, ya que de todas las formas posibles nos han capacitado con sus conocimientos, para lograr que lleguemos a ser los mejores profesionales.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” que nos acogió y nos brindó la posibilidad de realizar nuestros estudios de Tercer Nivel.

AUTORES

DEDICATORIA

Dedicado principalmente a Dios por haberme dado fortaleza y no permitirme caer en los momentos difíciles.

A mis padres, por apoyarme e inculcarme buenos valores y ser mi principal ejemplo de superación.

A mis compañeros de curso quienes siempre me apoyaron, así mismos profesores, y todos quienes fueron parte de este camino.

CARLOS L. BASURTO BASURTO

DEDICATORIA

Dedicado especialmente a Dios por haberme permitido estar con vida y poder alcanzar esta meta.

A mis padres por ser siempre los que me llenaban de fortaleza, perseverancia y amor, por nunca dejar de confiar en mí, ayudarme a no rendirme y poder cumplir mis metas y sueños.

A mi hermana menor y todas aquellas personas que siempre han creído que puedo lograr todo lo que me proponga.

PAULA M. VERA SANTANA

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
PALABRAS CLAVE.....	xiii
ABSTRACT	xiv
KEYWORDS	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Idea a defender	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Acuaponía.....	5
2.2 Acuicultura	6
2.3 Hidroponía	6
2.3.1 Los sistemas de cultivos hidropónicos.....	6
2.4 Descripción de un sistema acuapónico.....	6
2.4.1 Principales componentes.....	8
2.5 Ventajas y desventajas de los sistemas acuapónicos.....	9
2.5.1 Ventajas.....	9
2.5.2 Desventajas	10
2.6 Tilapia (<i>Oreochromis</i>).....	10
2.7 Cultivos de hortalizas en sistemas acuapónicos	10
2.7.1 Lechuga (<i>Latuca sativa</i>).....	11
2.7.2 Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	11
2.7.3 Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	11

2.8	Calidad del agua en circuitos acuapónicos	11
2.8.1	pH	12
2.8.2	Nitratos	12
2.8.3	Fosfato	13
2.8.4	Amonio.....	13
2.8.5	Calcio.....	13
2.8.6	Oxígeno disuelto	13
2.8.7	Color del agua.....	14
2.9	Resíduos agrícolas	14
2.10	Sustratos.....	14
2.10.1	Origen de los diferente sustratos	14
2.10.2	Sustrato de coco	15
2.10.3	Sustrato de cáscara de arroz.....	15
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		16
3.1	Ubicación	16
3.2	Duración.....	17
3.3	Métodos y técnicas	17
3.3.1	Método.....	17
3.3.2	Técnicas	17
3.4	Variables en estudio.....	17
3.4.1	Variable independiente	17
3.4.2	Variable dependiente	18
3.5	Diseño experimental	18
3.6	Procedimiento	19
3.6.1	Fase I. Diagnóstico de la producción de residuos agrícolas de cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y fibra de coco (<i>Cocos nucifera</i>) para aprovecharlo como sustrato	19
3.6.2	Fase II. Eficiencia de los residuos agrícolas de cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y fibra de coco (<i>Cocos nucifera</i>) como sustratos.....	20
3.6.3	Fase III. Cálculo de costos y beneficios de implementación de residuos agrícolas cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y fibra de coco (<i>Cocos nucifera</i>) como sustratos en sistemas acuapónicos para uso comercial ...	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		29
4.1	Diagnóstico de la producción de residuos agrícolas de cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y fibra de coco (<i>Cocos nucifera</i>) para aprovecharlo como sustrato	29
4.1.1	revisión bibliográfica	29

4.1.2	Características de los residuos agrícolas	31
4.2	Eficiencia de los residuos agrícolas de cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y fibra de coco (<i>Cocos nucifera</i>) como sustratos	35
4.2.1	Diseño del sistema acuapónico	35
4.2.2	Construcción del sistema acuapónico.....	36
4.2.3	Cálculo de la eficiencia	36
4.3	Cálculo de costos y beneficios de implementación de residuos agrícolas cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y fibra de coco (<i>Cocos nucifera</i>) como sustratos en sistemas acuapónicos para uso comercial	47
4.3.1	Proyección de los egresos e ingresos y la ganancia anual por tratamiento del sistema acuapónico de hortalizas	47
4.3.2	Análisis financiero del sistema acuapónico.....	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		50
5.1	Conclusiones	50
5.2	Recomendaciones	51
BIBLIOGRAFÍA		52
ANEXOS		63

CONTENIDO DE TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 3.1. Coordenadas del área de estudio	16
Tabla 3.2. Cantidades específicas de los factores.....	18
Tabla 3.3. Parámetros evaluados en hortalizas y peces a lo largo de la investigación.....	19
Tabla 3.4. Diseño del prototipo.	20
Tabla 3.5. Recursos para la construcción del prototipo.	21
Tabla 3.6. Parámetros de calidad del agua.....	24
Tabla 3.7. Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua	25
Tabla 4.1. Producción de arroz a nivel nacional.....	29
Tabla 4.2. Producción de coco a nivel nacional.....	30
Tabla 4.3. Porcentaje de los componentes del arroz pilado seco y limpio.....	32
Tabla 4.4. Características químicas de la cascarilla de arroz a nivel mundial	32
Tabla 4.5. Características físicas de la cascarilla de arroz	33
Tabla 4.6. Composición porcentual de la estructura del coco.....	34
Tabla 4.7. Propiedades químicas de la fibra de coco.	35
Tabla 4.8. Análisis de varianza de las parámetros medidos en las hortalizas.	41
Tabla 4.9. Prueba de Tukey para los parámetros evaluados en las hortalizas.	42
Tabla 4.10. Resultados de los parámetros estudiados en los peces.	43
Tabla 4.11. Prueba t de muestras independientes en peces.	44
Tabla 4.12. Estimación de egresos, ingresos y ganancia anual del sistema acuapónico de producción de lechuga en función de los tratamientos estudiados.	48
Tabla 4.13. TIR y VAN aplicado a los tratamientos estudiados en la implementación del sistema acuapónico de producción de hortalizas (lechugas).	49

CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Producto utilizado y residuos generados de la producción de Arroz	30
Gráfico 4.2. Producto utilizado y residuos generados de la producción de Coco	31
Gráfico 4.3. Supervivencia de las plantas.....	37
Gráfico 4.4. Número de Hojas de Lechuga promediado	37
Gráfico 4.5. Número de Frutos de Pepino y Tomate promediado.....	38
Gráfico 4.6. Peso promedio por tratamiento y réplicas de las hortalizas, y su biomasa.....	38
Gráfico 4.7. Altura promedio de las plantas.	39

Gráfico 4.8. Tasa de Crecimiento promediado.....	39
Gráfico 4.9. Tasa Específico de Crecimiento promediado	40
Gráfico 4.10. Medias de los resultados de análisis a la calidad de agua del sistema acuapónico experimental.	45

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2.1. Proceso circular de un sistema acuapónico.....	8
Figura 3.1. Ubicación geográfica de CIIDEA.....	16
Figura 4.1. Esquema del prototipo del sistema acuapónico en 3D.....	36

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la cascarilla de arroz y fibra de coco como sustratos en el rendimiento productivo de hortalizas en sistemas acuapónicos. El estudio fue de tipo cuantitativo-cualitativo y se basó en un DCA simple de tres tratamientos de la mezcla de cascarilla de arroz y fibra de coco. Se partió por un diagnóstico sobre las características, zonas y volumen de producción de los residuos. Luego, se determinó la eficiencia de los tratamientos sobre el sistema acuapónico mediante el control de parámetros en plantas (Supervivencia, NH, NF, Altura, Peso, Biomasa, TC y TCE) y peces (Supervivencia, Talla, Peso, Biomasa, Ganancia de peso y TC). Se calculó los costos y beneficios del sistema mediante el TIR y VAN. Se encontró que Guayas produce 271 358,00 T T de cascarilla de arroz y Manabí 3303,30 T de fibra de coco. El T₃ (sustrato al 70% de fibra de coco y al 30% de cascarilla de arroz) resultó el más significativo (p -valor $<0,05$) para la supervivencia de plantas. En la calidad de los peces ninguno de los tratamientos difirió significativamente. El sistema acuapónico fue más óptimo para hortalizas de hojas (lechuga) que para hortalizas de flores (tomate y pepino). Se valoró a T₃ como el más viable económicamente debido a que permite alcanzar rentabilidad y recuperar la inversión inicial al 100% en menos de un año. Se concluye que a mayor fibra de coco y menor cascarilla de arroz mejora el rendimiento de la producción de hortalizas en sistemas acuapónicos.

PALABRAS CLAVE

Hortalizas, Peces, Parámetros de calidad y Rentabilidad.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate rice husk and coconut fiber as substrates in the productive performance of vegetables in aquaponic systems. The study was quantitative-qualitative and was based on a simple DCA of three treatments of the rice husk and coconut fiber mixture. It started with a diagnosis of the characteristics, areas and volume of waste production. Then, the efficiency of the treatments on the aquaponic system was determined by monitoring parameters in plants (Survival, NL, NF, Height, Weight, Biomass, GR and SGR) and fish (Survival, Size, Weight, Biomass, Weight gain and GR). The costs and benefits of the system were calculated using IRR and NPV. It was found that Guayas produces 271 358.00 tons of rice husks and Manabí 3303.30 tons of coconut fiber. T₃ (70% coconut fiber and 30% rice husk substrate) was the most significant (p -value <0.05) for plant survival. In fish quality, none of the treatments differed significantly. The aquaponic system was more optimal for leafy vegetables (lettuce) than for flowering vegetables (tomato and cucumber). T₃ was evaluated as the most economically viable because it allows achieving profitability and recovering the initial investment to 100% in less than one year. It is concluded that the higher the coconut fiber and the lower the rice husk, the better the yield of vegetable production in aquaponic systems.

KEYWORDS

Vegetables, Fish, Quality parameters and Profitability.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, el acelerado desarrollo de las industrias y la sobreexplotación excesiva de los recursos naturales en la producción agrícola, ha inducido en la generación de gran cantidad de residuos que no son aprovechados, pues son considerados sin valor ni estimación en la zona en que se originan, los cuales, al no ser reciclados, procesados o eliminados apropiadamente, generan diversos problemas ambientales (Cuadros, 2008).

Actualmente, el destino final que se le da a estos residuos es uno de los problemas que más inciden sobre nuestro sistema de vida, el medio que nos rodea y al cual pertenecemos. Es así que Navarro et al. (1995) afirman que la quema, las descargas incontroladas en parajes, incluso el almacenamiento en vertederos, no ha sido la forma más idónea ni el mejor destino de estos residuos. Por lo que, el manejo inadecuado que se les ha dado y la falta de conciencia ambiental ha provocado impactos en el medio ambiente (Ramos y Terry, 2014).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (2018) menciona que, Ecuador obtuvo una producción de arroz de 1 773 929 toneladas, de lo cual 390 264, 38 Tm es cascarilla de arroz, es decir el 22% de la producción nacional de arroz en cáscara en el 2018, lo que representó grandes cantidades de este residuo acumulados en el ambiente ocupando grandes espacios. Sierra (2009) indica que estos residuos llegan a tener disposiciones finales en labores de jardinería, sin embargo, este mercado no posee la capacidad de consumir toda la biomasa disponible, lo que hace que la mayoría de este residuo se queme infructuosamente o se deposite en fuentes hídricas contaminadas, debido a su baja densidad y degradabilidad natural (Prada y Cortés, 2010).

Según datos del INEC (2000, citado en García, 2015) existe una producción de coco de 20 000 Tm anuales y solo el 70% de la fruta es aprovechada, de lo cual aproximadamente 6000 Tm García (2015) son residuos de cáscaras de coco desaprovechados en gran medida, hasta ser considerados desperdicios o basura.

Estas son arrojadas en las orillas de los ríos y en las calles, provocando acumulación de estos residuos generando un grave problema, ya que causan proliferación de enfermedades, perjudicando la salud de las personas, además de contaminación visual (Baque, 2015).

Caldas (2013) expresa que la implementación y exigencias de los sistemas de cultivos convencionales y el uso masivo de los fertilizantes químicos para aumentar el rendimiento en la productividad provocó el abandono de muchas técnicas antiguas de cultivo, entre ellas el desplazamiento del uso de residuos orgánicos como fuente de abono para los suelos (Julca et al., 2006).

Finalmente, el estudio de sistemas agrícolas convencionales y la generación de gran cantidad de residuos desaprovechados, y el impacto que estos tienen en el ambiente, ha llevado a plantear la siguiente interrogante: ¿Cuál es el rendimiento de producción de cultivos mediante sistemas acuapónicos, utilizando sustratos a partir de residuos de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*)?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La acuaponía surge como estrategia para ayudar a contrarrestar problemas en cuanto a inseguridad alimentaria y sobreexplotación de recursos vitales, haciéndola más rentable y sustentable, ya que brinda una producción más equilibrada y sana. Este tipo de sistema puede ser elaborado en espacios pequeños de las viviendas, con poco trabajo físico fortaleciendo la economía familiar (Tapia, 2018).

Dentro de esta técnica se aprovechan los residuos agrícolas que sirven como sustrato para los cultivos, ya que estos cumplen un rol importante en el proceso de la biofiltración. Campos et al. (2013) aseveran que en el sustrato encontramos colonias de bacterias nitrificantes que eliminan los compuestos nitrogenados que son un riesgo para los peces, y a su vez sirven para la generación de nutrientes a las plantas. De la misma manera los sustratos que se aplican en este proceso ayudan a minimizar los riesgos de contraer enfermedades que se encuentren presentes en el suelo, incluso estos residuos suelen ser reutilizados entre

cosechas, luego de pasar por una adecuada esterilización. Además, pueden ser mejores en cuanto a generar mayor oxígeno a las raíces y almacenaje de humedad (Candarle, s.f.).

Caló (2011) también menciona que la utilización de estos residuos agrícolas como sustrato aportaría a la reducción del impacto ambiental, permitiendo el reciclado y recuperación de la materia orgánica presente en estos residuos. Es de vital importancia impulsar modelos de producción alternativos y sostenibles, de tal forma que el desarrollo de estos sistemas se presente como una alternativa factible para lograr la seguridad alimentaria y conservación del medio ambiente (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2017).

Es así que, apostar por la acuaponía como estrategia de desarrollo sostenible permitirá aportar soluciones a los problemas de inseguridad alimentaria y escasez de agua, retos que se relacionan directamente con varios de los Objetivos Desarrollo Sostenible acordados para la Agenda 2030, entre ellos “hambre cero”, “producción y consumo responsable”, “acción por el clima” y, “conservación y utilización sostenible de la vida submarina” (IPacuicultura, 2019).

De tal forma esta investigación es importante porque además de implementar sistemas acuapónicos como estrategia para ayudar a mejorar problemas referentes a la calidad de los productos en comparación con cultivos agrícolas convencionales por el uso de fertilizantes químicos, así como alcanzar rendimientos adecuados en la recuperación de suelos degradados por este tipo de prácticas convencionales.

También permitirá investigar diferentes tipos de sustratos como la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) para el mejoramiento de la producción, y así reducir o eliminar la mayor cantidad de residuos que quedan en el ambiente como contaminantes.

Por lo que como idea fundamental se insiste en que los residuos orgánicos se los puede aplicar tanto en el suelo como en sistemas acuapónicos, ya que al ser usados como sustrato ayudan a renovar la materia orgánica como también a

aportar energía y nutrientes, asimismo de permitir darles un nuevo uso para reducir el impacto ambiental que estos producen.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) como sustratos para mejorar el rendimiento de producción de cultivos en sistemas acuapónicos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la producción de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) para aprovecharlo como sustrato.
- Determinar la eficiencia de los residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) como sustratos para mejorar el rendimiento.
- Calcular costos y beneficios de implementación de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) como sustratos en sistemas acuapónicos para uso comercial.

1.4 IDEA A DEFENDER

Los sustratos elaborados a partir de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) mejoran la producción de cultivos en sistemas acuapónicos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ACUAPONÍA

La acuaponía es una técnica que se deriva de la combinación de la Acuicultura (cría de peces) y la Hidroponía (cultivo de plantas en agua) en un sistema de recirculación cerrado. Mediante este proceso se aprovecha los desechos generados por los peces los cuales por medio de biofiltración son transformados en nutrientes que son fundamentales en el desarrollo de las plantas. Además, esta técnica genera muchas ventajas en lo ambiental debido que es un proceso que se basa en el aprovechamiento de los subproductos del producto primario (Goretta, 2019).

La idea de aplicar la acuaponía puede ser útil en países que tienen recursos limitados de producción agrícola, una alta tasa de urbanización y un crecimiento acelerado de la población (Mchunu et al., 2018). La acuaponía ha cobrado impulso debido a sus características superiores en comparación con los sistemas de producción tradicional porque es capaz de mantener los ecosistemas y reforzar la capacidad de adaptación al cambio climático, el clima extremo, la sequía, las inundaciones y otros desastres (Yildiz et al., 2019).

La acuaponía es conocida como una de las "diez tecnologías que podrían cambiar la vida humana" debido a su potencial para proporcionar alimentos esenciales a la creciente población urbana (Van Woensel et al., 2015). Además, la acuaponía está reconocida como una solución para producción sostenible, ya que sigue un sistema natural biomimético y los principios de la economía circular al reutilizar el agua y los nutrientes (Asciuto et al., 2019).

La acuaponía es un sistema complejo en el que tres sistemas biológicos diferentes (peces, plantas y bacterias nitrificantes) deben combinarse en un sistema. Para que este sistema funcione con éxito, la acuaponía combina varias disciplinas, como acuicultura, microbiología, ecología, horticultura, agricultura, química e ingeniería (Yep y Zheng, 2019).

2.2 ACUICULTURA

La acuicultura es la técnica de cultivo de organismos acuáticos de origen vegetal o animal relacionados al agua por su ciclo de vida de manera parcial o total, mediante métodos y técnicas de uso controlado por el hombre. Estos organismos se desarrollan en ambientes acuáticos dulces, marinos o salobres, que pueden pertenecer a grupos Equinodermos, Crustáceos, Moluscos, Peces, Anfibios, Reptiles, Algas y Vegetales Superiores. El proceso de producción implica la elección de los organismos reproductores para la adquisición de "semilla", ya sea de naturaleza silvestre o de productiva) (Luchini, 2016).

2.3 HIDROPONÍA

La hidroponía es una técnica que permite cultivar plantas en un medio donde no se utiliza el suelo. La hidroponía permite cultivar plantas especialmente de tipo herbáceo utilizando lugares o áreas como azoteas, tierras poco fértiles, terrenos escabrosos o invernaderos climatizados, etc.

A partir de esto, se desarrollaron técnicas y métodos apoyados en los sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de nutrientes estáticos o circulantes, sin perjudicar los requerimientos de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes. La palabra hidroponía se deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo), es decir, trabajo en agua. No obstante, actualmente se usa para referirse al cultivo en medio libre sin suelo (Beltrano y Giménez, 2015).

2.3.1 LOS SISTEMAS DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS

En acuaponía, entre los sistemas más aplicados son: sistema de camas con medios de sostén sólido, sistemas de raíz flotante y técnicas de solución de nutrientes en recirculación (Jiménez, 2020).

2.4 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO

Candarle (s.f.) menciona que los sistemas acuapónicos, pueden configurarse y dimensionarse de diferentes formas, aunque, no obstante, se debe seguir un patrón

general para el diseño que permita su correcto funcionamiento, identificando sus componentes básicos y diseñando el sentido de circulación del flujo de agua.

Esencialmente abarca uno o más contenedores para los peces, seguido de un contenedor con estructura que permita una filtración mecánica (o remoción de sólidos) y posteriormente uno con área suficiente para el proceso de biofiltrado. Luego de estas unidades para los tratamientos previos, se ubicaron las unidades para alojamiento del componente vegetal (o subsistema hidropónico), y luego un sumidero o colector de agua del sistema en el nivel más bajo, donde generalmente es instalada la bomba que provocará la circulación del agua en el sistema.

La figura 2.1 representa esquemáticamente el proceso circular de un sistema acuapónico desarrollado por Aleksić y Šušteršič (2020). El proceso inicia con la alimentación de los peces en una pecera. Después, los peces excretan materiales de desecho en el agua, que son causados por la digestión de los alimentos. Estos productos deben eliminarse de la pecera porque su acumulación puede ser tóxica. El agua con los residuos metabólicos de los peces van a un filtro mecánico que recoge los residuos sólidos. La filtración mecánica pasa a un biofiltro de grava, arena, materiales plásticos, entre otros que serán el hábitat para las bacterias convierten los desechos (amoníaco) en nitritos y luego en nitratos. Posteriormente, el agua con los nutrientes disueltos se transportan hasta la unidad hidropónica para que las plantas absorban los nutrientes del agua.

Las plantas toman todos los nutrientes del agua para sus necesidades y actúan como filtros. Es decir, purifican el agua y el agua limpia se bombea de nuevo al principio del sistema. El proceso de eliminación de nutrientes evita que el agua se vuelva tóxica con formas dañinas de nitrógeno y permite que las plantas, los peces y las bacterias viven en simbiosis (Somerville et al., 2014). De este modo, todos los organismos trabajan juntos para crear un entorno saludable. Los productos cultivados en sistemas acuapónicos representan un ciclo cerrado y, por tanto, evitan la generación de residuos (Goddek et al., 2019).

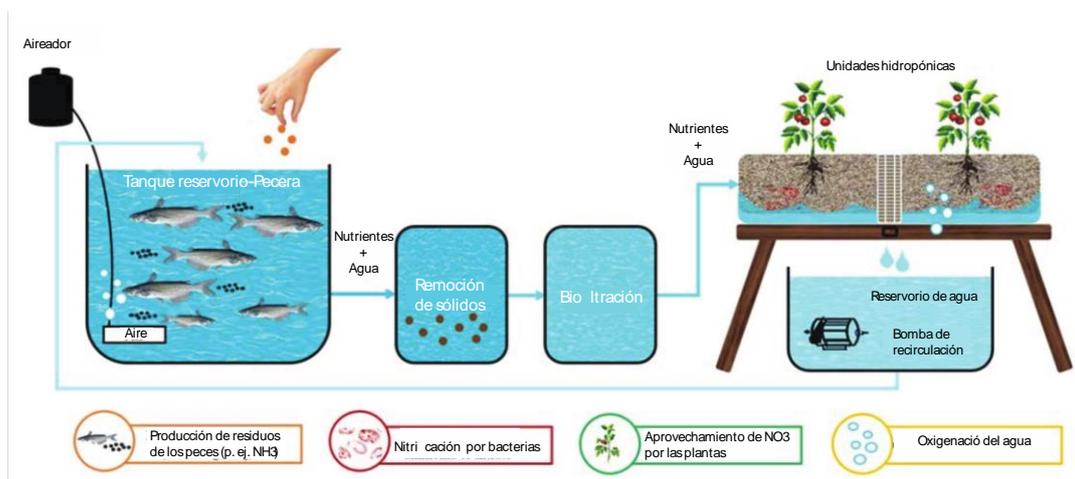


Figura 2.1. Proceso circular de un sistema acuapónico
Fuente: Aleksić y Šušteršič (2020)

2.4.1 PRINCIPALES COMPONENTES

Cada elemento del sistema acuapónico (plantas, peces, y el agua) puede considerarse individualmente, también para cada uno de ellos los problemas que pueden ocurrir durante el funcionamiento del sistema de acuaponía pueden ser definidos. El componente principal es el agua que circula entre diferentes elementos. La calidad del agua y su composición química pueden afectar a cada uno de los elementos del sistema.

Las bacterias sirven de puente para conectar los desechos de los peces con los fertilizantes de las plantas. Muchos autores en sus estudios investigan la influencia de las bacterias en el desarrollo de las plantas. Así, Eck et al. (2019) dieron una visión general de la diversidad de las comunidades bacterianas, las propiedades microbianas y los potenciales que pueden tener en el cuidado de las plantas. Fanga et al. (2017) estudiaron la introducción de una colonia de bacterias de algas en sistemas de acuaponía y la mejora de la eficiencia de la utilización del nitrógeno.

En cuanto a los peces, las especies más cultivadas son la carpa, la tilapia, el bagre, entre otros (Palm et al., 2019). Además, en algunos modelos de sistemas de acuaponía también utilizan camarones, cangrejos y similares (Love et al., 2015).

La especies vegetales que suelen cultivarse son: albahaca (Ferrarezi y Bailey, 2019), varios tipos de lechuga, tomate, col rizada pimiento, y pepino. Con un

cuidado adicional en estos sistemas, la berenjena y las plantas de raíz como las zanahorias (Bosma, 2017), las cebollas, las remolachas y los rábanos (Somerville et al., 2014) también pueden cultivarse, así como la col rizada, tomillo, cebada, varios tipos de flores, etc. (Buzby et al., 2016).

Por otra parte, Bayona et al. (2017) manifiestan que entre los principales componentes de un sistema acuapónico encontramos:

- Tanque para ubicar los peces.
- Bomba de aireación para generar la demanda de oxígeno adecuada para el correcto desarrollo de los peces.
- Bomba de agua para dirigir el agua desde el tanque de los peces a los cultivos hidropónicos y de vuelta al tanque de peces en un sistema cerrado de recirculación.
- El biofiltro para albergar bacterias nitrificadoras las (*Nitrosomonas* sp y *Nitrobacter* sp) que convierten el amonio en nitrito y el nitrito en nitrato.
- El sistema de cultivos hidropónicos (camas con sustrato sólido, sistemas de raíz flotante, técnicas de solución nutritiva recirculante).

2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS

2.5.1 VENTAJAS

La acuaponía tiene varias ventajas sobre los demás tipos de cultivos, como el proceso de recirculación, el cual, va a disminuir el gasto excesivo de agua si se compara con los cultivos tradicionales, ya que debido al funcionamiento de este sistema el agua va a estar en constante reutilización. Así mismo la acuaponía genera productos libres de compuestos químicos a razón de que los nutrientes generados para el crecimiento de las plantas son derivados de la materia fecal de los peces. También a través de las raíces de las hortalizas se realiza el proceso de filtración del agua ya que estas sirven como biofiltro de tal forma que el agua no sufrirá alteraciones y los cultivos no se verán afectados (Villalobos y Gonzáles, 2016).

2.5.2 DESVENTAJAS

Entre las desventajas encontramos que se debe tener mucho conocimiento en las áreas de acuicultura y horticultura para poder realizar este tipo de sistemas, debido, a que al estar utilizando dos cultivos (peces y hortalizas) es necesario que exista el mayor equilibrio posible, caso contrario el desarrollo de los cultivos se verán perjudicado. A su vez en este tipo de sistema acuapónicos se debe tener excesivo cuidado en cuanto a las plagas y enfermedades que pueden afectar las plantas, ya que no se puede utilizar compuestos inorgánicos, esto podría variar las características del agua y afectar los peces (Jiménez, 2020).

2.6 TILAPIA (*Oreochromis*)

Son peces que han recibido mucha atención por sobre otro grupo de peces en todo el mundo. Esta especie tiene como nombre común que en idioma "swahili", significa pez, incluyendo géneros como Tilapia y *Oreochromis* (con más de 100 especies). Las tilapias se ubican en lo más abajo de la cadena trófica por su alimentación a base de algas, materia en descomposición y plancton; aunque también se alimentan con balanceado en forma de pastillas o pellets. Las especies del género *Oreochromis* son las más usadas para el cultivo comercial debido a sus forma de alimentación y por la capacidad de aguantar condiciones hostiles en el cultivo, con amplio rango de tolerancia y rápido desarrollo (Secretaria de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2016).

2.7 CULTIVOS DE HORTALIZAS EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS

En términos generales se deben preferir plantas verdes, además su proceso de desarrollo debe ser de ciclo corto. Esto es particularmente indicado para explotaciones comerciales, ya que, debido a las características de los sistemas acuapónicos, no se puede aplicar ni insecticidas ni fungicidas químicos, este tipo de producto inorgánico podría matar los peces. Esto no quiere decir que no se puedan obtener plantas de fruto como por ejemplo el tomate y el pimentón, pero requieren más tiempo y más cuidados (Jiménez, 2020).

2.7.1 LECHUGA (*Latuca sativa*)

La lechuga es el producto de mayor consumo en el mundo. Originaria de regiones templadas, la lechuga se desarrolla mejor en condiciones de baja temperatura y poca luz, aunque gracias a los avances tecnológicos y genéticos ahora se puede cultivar en una variedad de climas. Además, cuando las plantas de lechuga se someten a altas temperaturas, principalmente en verano, terminan rápidamente su período vegetativo y emiten un tallo floral temprano, que caracteriza el inicio de la etapa reproductiva. Esta situación es indeseable, ya que estimula la producción de la sustancia amarga látex en las hojas, haciendo que las hortalizas no solo no sean aptas para el consumo, sino que también disminuya su productividad al reducir el número de hojas por planta (Do Amaral y Silva, 2018).

2.7.2 PEPINO (*Cucumis sativus*)

El pepino es una planta de la familia *cucurbitaceae* que posee varios labrares en el mercado, diferentes en su forma, tamaño y color de frutos, sabor y características vegetativas. Detrás de los tipos más habituales de pepino están los americanos, europeos, holandeses y orientales. En el cultivo de pepino se manejan especialmente genotipos partenocárpicos en aquellos donde los frutos se desarrollen sin necesidad de polinizar (Chacón y Monge, 2017).

2.7.3 TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

El tomate (*Solanum lycopersicum*), es uno de los productos más comercializados a en todo el mundo, por lo que cada vez aumenta más su demanda de producción (Terry et al., 2017). Este producto proviene de la familia de las Solanáceas, y su desarrollo puede ser determinado o indeterminado, por este motivo su proceso de cultivo puede darse de diferentes formas, y se puede encontrar producción para consumo industriales o consumo personal, además se debe tener en cuenta que el exceso de frío y calor puede afectar la producción (Allende et al., 2017).

2.8 CALIDAD DEL AGUA EN CIRCUITOS ACUAPÓNICOS

Para el crecimiento continuo y saludable de las plantas en el sistema acuapónico es necesario contar con parámetros ecológicos, del agua y del medio ambiente. El control continuo de la calidad del agua ha sido reportado en múltiples estudios.

Blagojević et al. (2016), analizaron la calidad del agua en una zona de Croacia donde se realizó un pequeño sistema acuapónico plantado con peces de río. Se controló la calidad del agua durante el ciclo de cría mediante los parámetros de amoníaco, nitratos, nitritos.

Tyson et al. (2008) analizaron cómo un cambio en el valor del pH del agua afecta el rendimiento del pepino. Esto significa que los parámetros y factores requieren un cambio, dependiendo del tipo de plantas que se cultiven. Por ejemplo, las hortalizas de hoja son el tipo de planta que se cultiva en estos sistemas porque crecen bien en agua concentrada con nitrógeno, tienen un período de crecimiento rápido, no requieren un gran número de nutrientes y suelen tener una gran demanda en el mundo (Bailey y Ferrarezi, 2017).

Hay cinco parámetros de calidad del agua importantes que hay que seguir y controlar: oxígeno disuelto (5 mg/litro), pH (6-7), temperatura (18-30° C), nitrógeno total y alcalinidad del agua. A su vez, la química del agua puede parecer complicada, pero su manejo real es relativamente simple con la ayuda de equipos comunes para la realización de pruebas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015).

2.8.1 pH

El pH es la medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua, clasificado como un contaminante secundario por la USEPA con un rango entre 6.5 a 8.5. Los valores de pH que sean menores a 6.5 representan una señal de agua corrosiva con el poder de transportar metales en tuberías y ocasionar daños (Sigler y Bauder, s.f.).

2.8.2 NITRATOS

Los nitratos son compuestos solubles formados por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO_2^-) generalmente se convierte en nitrato (NO_3^-) de manera muy fácil, lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. El nitrato es vital para el desarrollo de las plantas, por lo que su uso principal es como fertilizante. Aunque dichos compuestos forman parte del ciclo

natural del nitrógeno, estos se han incrementado notablemente en el suelo debido a su solubilidad en agua a causa de las actividades humanas (Bolaños et al., 2017).

2.8.3 FOSFATO

El fósforo es un elemento vital en la composición de la materia viva y no se conoce ningún organismo vivo que no utilice la química de este elemento. Los animales absorben fósforo de los alimentos ingeridos y gran parte del P se encuentra en ellos como "fosfato orgánico", en forma de mono y diésteres (enlaces C-O-P). Además de los fosfatos orgánicos, existen polifosfatos inorgánicos y se han caracterizado una variedad de compuestos importantes con enlaces N-P (fosfocreatinina, fosfoarginina), así como en microorganismos compuestos que contienen enlaces P-C1 (Domingos et al., 2003).

2.8.4 AMONIO

El amonio se produce en el hígado de los peces a través del catabolismo de aminoácidos; la mayoría de peces mantienen los niveles de amonio bajos en su cuerpo mediante su excreción directa en el agua a través de branquias y orina. El aumento de NH_4^+ en el sistema de cultivo puede provocar en la población de peces grandes daños en los tejidos, principalmente en riñones y branquias (Zuluaga y Martínez, 2017).

2.8.5 CALCIO

El calcio, es necesario para reducir la toxicidad en el agua que puede afectar los peces, las concentraciones menores a 5 mg/L ($>5 \text{ mg L}^{-1}$) en el agua son aptas para salvaguardar a los peces de los efectos tóxicos. No obstante, la mortandad de peces por contaminación de metales pesados podría vincularse a una concentración de calcio disuelto, menor al requerido para proteger a los peces del efecto tóxico de los metales pesados (Vega et al., 2015).

2.8.6 OXÍGENO DISUELTO

Los peces utilizan el oxígeno para convertir el alimento en energía y biomasa. Dependiendo de la especie, el pez requiere una concentración mínima de OD, aproximadamente $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (especies de aguas cálidas) a $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (especies

de agua fría), además mencionan que si se prevén que los niveles de oxígeno lleguen a valores menores a 3 mg.L^{-1} , es necesario encender los sistemas de aireación de emergencia o suplementaria. Es importante mencionar que el oxígeno en forma de gas tiene muy baja solubilidad, pero se puede predecir su concentración mediante la temperatura y la salinidad (Sotomayor, 2016).

2.8.7 COLOR DEL AGUA

El color en el agua puede resultar de procesos de descomposición de la materia orgánica, de la presencia de iones metálicos naturales como el Fe y el Mn, así como del derrame de varios tipos de efluentes industriales; en específico, el color natural en las aguas, especialmente el color verdadero, muestra como agentes culpables a las sustancias húmicas (SH) y fúlvicas, las cuales se exhiben siempre en estado coloidal (Bevilaqua et al., 2017).

2.9 RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Estos residuos o subproductos se generan de las diferentes actividades agrícolas principalmente en el cultivo, estos desechos en ocasiones son utilizados, pero en la mayoría de casos no se aprovechan y a su vez contribuyen en el aumento de impactos ambientales (Chávez y Rodríguez, 2004).

2.10 SUSTRATOS

El sustrato es todo material sólido distinto del suelo in situ de origen natural, residual, mineral u orgánico, que, puesto en un contenedor, en estado puro o mezclado, libra un papel de sostén nutricional para la planta. En general, el sustrato para el cultivo de plantas es aquel material que puede facilitar anclaje, oxígeno y agua necesarios para el correcto desarrollo de las plantas (Cruz et al., 2012).

2.10.1 ORIGEN DE LOS DIFERENTE SUSTRATOS

Beltrano y Giménez (2015) clasifican los sustratos según su origen de la siguiente manera:

- Por origen natural: son aquellos sujetos a desintegración biológica (turbas).

- Por síntesis: son polímeros orgánicos no degradables biológicamente, que se logran por medio de síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.).
- Por subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas: muchos materiales de este grupo se someten a un proceso de compostaje natural, para su uso como sustratos (cascarillas de arroz, pajas de cereales, fibra de coco, orujo de uva, cortezas de árboles, serrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.).

2.10.2 SUSTRATO DE COCO

Es un sustrato que presenta una buena capacidad de amortiguamiento térmico. Es un sustrato óptimo para usarse en ambientes con temperaturas extremas, además, tiene una alta capacidad de retención de líquidos, siendo beneficioso para disminuir la frecuencia de riego, presenta una densidad aparente baja lo que ayuda a su instalación y manejo. La fibra de coco tiene una durabilidad de hasta ocho años (Quintero et al., 2012).

2.10.3 SUSTRATO DE CÁSCARA DE ARROZ

La cascarilla de arroz puede ser usada como sustrato directo a la planta o tras pasar un proceso de desintegración. La cascarilla de arroz es un sustrato orgánico de baja porcentaje de descomposición gracias a su alto grado de sílice, es ligero (densidad aparente entre 0,090 y 0,22 g de masa seca por cm³), con alta porosidad y baja capacidad de retención de humedad, su conductividad hidráulica es alta, con pH neutro. Por otro lado, su conductividad eléctrica y su capacidad de intercambio catiónico son bajas. Es un material rico en potasio (3.000 a 3.500 mg.L⁻¹) y fósforo (80 a 120 mg.L⁻¹) y pobre en nitrógeno (menos de 100 mg.L⁻¹) (Quintero et al, 2011)

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en CIIDEA de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” que se encuentra ubicado en el sitio “El Limón” de la ciudad de Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí (figura 3.1).

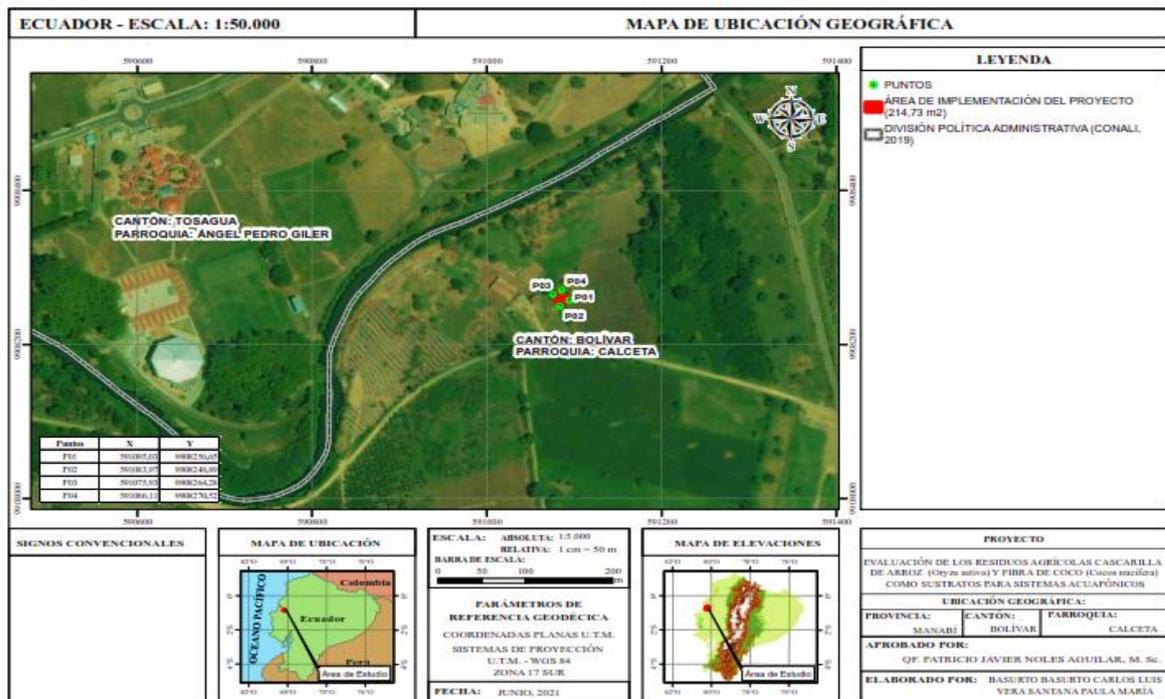


Figura 3.1. Ubicación geográfica de CIIDEA
Elaborado por: Basurto y Vera (2020)

A continuación, se presentan las coordenadas geográficas del área donde se implementó el sistema acuapónico (tabla 3.1).

Tabla 3.1. Coordenadas del área de estudio

Puntos	X	Y
1	9,908,256.65	591,095.03
2	9,908,248.89	591,083.97
3	9,908,264.28	591,075.93
4	9,908,270.52	591,086.11

Elaborado por: Basurto y Vera (2020)

3.2 DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 12 meses. La etapa de planificación se llevó a cabo, a partir del mes de junio a septiembre del 2020 y la etapa de ejecución desde octubre del 2020 a junio del 2021.

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 MÉTODO

La metodología que se utilizó en esta investigación está basada en el método experimental o deductivo hipotético puesto que en el experimento se evaluó la eficiencia de los sustratos y su efecto sobre el rendimiento de los cultivos de hortalizas.

3.3.2 TÉCNICAS

En el transcurso del proyecto se utilizaron técnicas como la observación que permitió reconocer el objeto de estudio para adquirir el conocimiento del comportamiento del mismo, permitiendo tomar la información clave para su posterior análisis. Es por esto que se realizaron análisis de calidad del agua del sistema acuapónico en el Laboratorio de Química Ambiental que se encuentra en la carrera de Agroindustrias de la ESPAM MFL mediante pruebas colorimétricas, potenciométricas y electrométricas (Cervantes et al., 2016; Caldas et al., 2019; Sereviche et al., 2013).

Así mismo, se utilizó la técnica bibliográfica para la búsqueda de datos que permitieron referenciar los resultados obtenidos en la ejecución del proyecto, durante las fases previstas (inicial y final) para conseguir precedentes y causales en la investigación.

3.4 VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Sustratos a partir de residuos agrícolas, cascarilla de arroz y fibra de coco.

3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Rendimiento en la producción de cultivos en sistemas acuapónicos.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA) simple con tres tratamientos, basados en la combinación de dos tipos de sustrato resultantes de actividades agrícolas locales: fibra de coco y cascarilla de arroz. Se optó por basar los tratamientos en la mezcla de los sustratos debido a que autores como Guerrero et al. (2014) mencionan que no siempre un solo sustrato reúne todas las características deseables y que cuando ocurre la combinación de varios sustratos puede suceder un mayor enriquecimiento de nutrientes. En el experimento se realizaron tres repeticiones por cada uno de los tratamientos definidos y se midió parámetros en 121 unidades experimentales: 40 peces y 81 plantas (tabla 3.2).

Tabla 3.2. Cantidades específicas de los factores.

Tratamientos	Proporciones	Cantidades	Codificación	Repeticiones
T ₁	30% fibra de coco + 70% cascarilla de arroz	3 g fibra de coco + 7 g cascarilla de arroz	T ₁ R ₁ T ₁ R ₂ T ₁ R ₃	3
T ₂	50% fibra de coco + 50% cascarilla de arroz	5 g fibra de coco + 5 g cascarilla de arroz	T ₂ R ₁ T ₂ R ₂ T ₂ R ₃	3
T ₃	70% fibra de coco + 30% cascarilla de arroz	7 g fibra de coco + 3 g cascarilla de arroz	T ₃ R ₁ T ₃ R ₂ T ₃ R ₃	3

Unidades experimentales:
40 peces (20 en cada tanque).
81 plantas hortalizas (27 en cada tratamiento).

Elaborado por: Basurto y Vera (2020)

A lo largo de la investigación, se tomó una serie de datos clave para verificar la eficiencia del sistema acuapónico. Se consideró ocho parámetros de control en las plantas cultivadas (hortalizas) y seis en los peces (tabla 3.3).

Tabla 3.3. Parámetros evaluados en hortalizas y peces a lo largo de la investigación.

Hortalizas	Peces
Supervivencia	Supervivencia
Número de hojas	Talla de los peces
Número de frutos	Peso
Altura de las plantas	Biomasa
Peso	Ganancia de peso
Biomasa	Tasa de crecimiento
Tasa de crecimiento	
Tasa específica de crecimiento	

Fuente: Guerra, et al. (2016); Reyes y Pérez (2016)

Los datos de las variables se registraron en Excel y se sometieron a análisis estadísticos descriptivos e inferenciales. En el segundo caso, se desarrolló dos tipos de análisis en función de los tipos de unidades experimentales (plantas y peces). En el caso de las plantas, se aplicó un Análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$) mediante el programa estadístico SPSS. Finalmente, para el caso de los peces, se aplicó una prueba t para muestras independientes. En ambos casos, se procedió a la verificación de supuestos específicos según las pruebas, especialmente en el tipo, calidad, homogeneidad y normalidad de los datos.

3.6 PROCEDIMIENTO

3.6.1 FASE I. DIAGNÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) PARA APROVECHARLO COMO SUSTRATO

Actividad 1. Revisión bibliográfica

Se realizó la búsqueda de los datos pertinentes en artículos científicos, tesis y bases de datos del Ecuador (INEC, MAGAP, INIAP, etc.) con respecto a la producción de arroz (*Oryza sativa*) y producción de coco (*Cocos nucifera*) en el país

y de sus principales provincias productoras. Asimismo, la cantidad de residuos generados por estos cultivos.

Actividad 2. Características de los residuos agrícolas

Se recopiló información de las principales características que tienen los residuos agrícolas, en este caso, de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y la fibra de coco (*Cocos nucifera*).

3.6.2 FASE II. EFICIENCIA DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) COMO SUSTRATOS

Actividad 3. Diseño del sistema acuapónico

El prototipo que se llevó a cabo para el proyecto es una estructura formada por la unión de dos tipos de sistemas acuapónicos “Balsa flotante” y “Lecho de sustrato”. El primero consiste en una plancha comúnmente de poliestireno colocada sobre la superficie del agua, donde las dimensiones de ésta limitarán el número de agujeros, y por lo tanto de plantas, para así mantenerse en él. Mientras que el segundo es una bandeja, que puede ser de diferentes dimensiones, parecido al sistema anterior, con la diferencia que se rellena de sustrato las macetas para colocar las plantas (López, 2019). En la tabla 3.4 se muestran las especificaciones técnicas del sistema acuapónico (medidas, materiales e insumos acorde al modelo experimental) y en el anexo 1 se representa el diseño en 2D.

Tabla 3.4. Diseño del prototipo.

DISEÑO
9 camas, cada una de 1 m de largo, 0,6 m de ancho y 0,2 m de alto.
81 plantas, 9 en cada cama.
2 tipos de sustratos (cascarilla de arroz y fibra de coco).
3 tipos de cultivos de hortalizas (lechuga, tomate y pepino).
2 tanques de 500 litros.
40 peces, 20 en cada tanque.

Elaborado por: Basurto y Vera (2020)

Actividad 4. Construcción del sistema acuapónico

Identificado el lugar, se realizó una limpieza del terreno señalado para mejorar la calidad visual de la zona y se procedió a construir el sistema acuapónico (anexo 2). La construcción del sistema acuapónico se realizó empleando los materiales detallados en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Recursos para la construcción del prototipo.

RECURSOS	CANTIDAD
Tubos PVC 2"	4
Tanques	2
Cañas Guadúa	5
Codos 2"	5
Uniones en T de 2"	2
Calipega	1
Tablas	10
Planchas de espuma Flex	3
Plástico	5 m
Clavos de 2" y 3"	1 Libra
Bomba sumergible 0,5 hp	2
Oxigenadores	2
Sustratos	10 Kg
Semillas	3 Sobres
Alevines	40

Elaborado por: Basurto y Vera (2020)

El sistema de recirculación comenzó desde el impulso del agua de los tanques que contienen materia fecal que generan los peces, este proceso se llevó a cabo a través de dos bombas de 0,5 hp las cuales impulsan el agua con las heces hacia la parte superior donde se encuentran las camas, las cuales van a estar enlazadas por medio tuberías PVC. Así mismo las raíces de las hortalizas sirvieron como biofiltro para absorber los nutrientes que contiene el agua y ayudar a mejorar su calidad para regresar a los tanques y repetir el proceso. Además, en este sistema se genera oxígeno para los peces por medio de bombas de aireación, entre otras técnicas.

Actividad 5. Cálculo de la eficiencia

Durante el estudio se evaluó la eficiencia de adaptación y crecimiento de plántulas de hortalizas en los tratamientos. Las plántulas se obtuvieron de la germinación de 2 a 3 semillas en charolas rectangulares (anexo 3) y se mantuvieron durante 14

días en los semilleros bajo condiciones de luz solar directa y riego diario con agua potable. Los sustratos fueron lavados (anexo 4), pesados en función de las cantidades dispuestas para cada tratamiento (anexo 5) y ubicados en los recipientes donde se trasplantaron las plántulas de hortalizas (anexo 6). Posteriormente, se tomaron los datos de los parámetros de control y calidad en peces (anexo 7), agua (anexo 8) y plantas (anexo 9), considerando los tiempos de medición. En algunos casos ocurrió al inicio de la experimentación (por ejemplo: altura) y en otros al final (por ejemplo: supervivencia, biomasa).

Siguiendo la metodología de Guerra et al. (2016); Reyes y Pérez (2016); Moreno y Zafra (2014) para las plantas se consideró la medición de los siguientes parámetros evolutivos con sus respectivas ecuaciones numericas:

a) Supervivencia: Total de plantas sobrevivientes.

$$S(\%) = \left(\frac{N_f}{N_i} \right) * 100 \quad [3.1]$$

Donde:

S: Supervivencia (%).

N_f: Número final (NH y NF)

N_i: Número inicial

b) Número de hojas (NH): Conteo de hortalizas de hoja.

c) Número de frutos (NF): Conteo de las hortalizas con fruto.

d) Peso: Peso del organismo al final del estudio.

e) Biomasa: Sumatoria de los pesos finales de los individuos por especie de planta.

f) Altura: Tamaño vertical alcanzado por la planta.

g) Tasa de crecimiento (TC): Crecimiento diario de la planta durante su ciclo de vida.

$$TC = \frac{(L_f - L_i)}{T_f - T_i} \quad [3.2]$$

Donde:

TC: tasa de crecimiento (cm/día)

L_f: Longitud final

L_i : Longitud inicial

T_f : tiempo final

T_i : tiempo inicial

h) Tasa específica de crecimiento (TCE): Porcentaje diario del crecimiento de las plantas.

$$TEC = \frac{(\ln(L_f) - \ln(L_i))}{T_f - T_i} * 100 \quad [3.3]$$

Donde:

TCE: tasa específica de crecimiento (%/día)

L_f : Longitud final

L_i : Longitud inicial

T_f : tiempo final

T_i : tiempo inicial

In: logaritmo natural

Por otra parte, siguiendo la metodología de Guerra. et al (2016) y Jover (2000) para el caso de los peces se analizaron diferentes parámetros evolutivos aplicando sus ecuaciones correspondientes:

a) Supervivencia: Total de individuos sobrevivientes.

b) Talla: Longitud corporal (boca-cola) al final del período de estudio

c) Peso: Peso de los peces al inicio y final del estudio.

d) Biomasa: Peso total final de los peces por módulo.

e) Ganancia de Peso (GP): Peso promedio final.

$$GP (g) = P_f - P_i \quad [3.4]$$

$$GP (\%) = \frac{P_f - P_i}{P_f} * 100 \quad [3.5]$$

Donde:

GP: Ganancia de Peso (g)

GP: Ganancia de Peso (%)

P_f : Peso final

P_i: Peso inicial

f) **Tasa de Crecimiento (TCI):** Crecimiento de los peces en función del peso final, peso inicial y días de crecimiento.

$$TCI = \frac{(\ln(P_f) - \ln(P_i))}{t} * 100 \quad [3.6]$$

Donde:

TCI: Tasa de crecimiento (%)

P_f: Peso final

P_i: Peso inicial

T_f: tiempo final

ln: logaritmo natural

Para la caracterización físico-química del agua se analizó los parámetros oxígeno disuelto, pH, nitritos, nitratos, fosfato y amonio. Las mediciones fueron realizadas durante tres meses (abril-junio) en un intervalo de tiempo de cuatro días; es decir 8 muestras por cada mes. En la tabla 3.6 se muestra las técnicas instrumentales empleadas para el desarrollo de análisis en el laboratorio del área agroindustrial de la ESPAM "MFL". Las muestras fueron tomadas de los tanques que contienen los peces.

Tabla 3.6. Parámetros de calidad del agua

Parámetro	Técnica
Nitrito	Colorimetría
Nitrato	Colorimetría
Fosfato	Colorimetría
Amonio	Colorimetría
pH	Potenciometría
Oxígeno Disuelto	Electrometría

Fuente: Cervantes et al. (2016); Caldas et al. (2019); Sereviche et al. (2013)

Posteriormente, se comparó los resultados de los análisis con los criterios de calidad establecidos por la Food and Agriculture Organization of the United Nations (2014) con la finalidad de identificar si el estado del agua del sistema es óptimo (tabla 3.7).

Tabla 3.7. Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua

Parámetro	Rango óptimo
Fosfato	0,6 – 1,5 mg/L
Nitrato	5,0 – 150,0 mg/L
Nitrito	<1,0 mg/L
Amonio	<1,0 mg/L
Oxígeno	>5,0
pH	6,0-7,0

Fuente: FAO (2014); Sierra y Maroso (2019)

3.6.3 FASE III. CÁLCULO DE COSTOS Y BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) COMO SUSTRATOS EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS PARA USO COMERCIAL

Actividad 6. Proyección de los egresos e ingresos y la ganancia anual por tratamiento del sistema acuapónico de hortalizas

La proyección de los egresos e ingresos se realizó independientemente por tratamiento, asumiendo el escenario en el que todas las camas producen unidades experimentales de plantas con misma proporción de sustrato. Este tipo de proyección se adapta a situaciones reales donde un sistema acuapónico se desarrolla bajo las mismas condiciones (sustrato, nutrientes, etc). en todas las camas.

Para estimar los egresos anuales, se efectuó un análisis económico mediante el método costo de producción. En función de los gastos facturados por las compras y servicios implicados en la implementación del sistema acuapónico se registró tres tipos de costos: materia prima, mano de obra y gastos de producción (Vinza, 2012) y se aplicó la ecuación 3.7. Debido a que la instalación inicial del sistema y que los tipos de tratamiento no tienen costos variables, se asumió una sola proyección de egresos para los tres tratamientos aplicados.

$$E = (M_p + Mod + P) \quad [3.7]$$

Donde:

E: Egresos anuales (USD).

Mp: Costo de materia prima (USD).

Mod: Costo de mano de obra directa (USD).

P: Costo de producción (USD).

Para estimar los ingresos anuales del sistema acuapónico, se consideró los datos clave de las variables respuesta de las unidades experimentales peces y hortalizas. Se consideró la tasa de mortalidad de las plantas y de los peces que sobrevivieron a lo largo del experimento, según cada tratamiento con la finalidad de realizar una proyección a un año, es decir cuatro veces más que la duración de este estudio.

Para la proyección anual de peces, se duplicó el número sobreviviente en los dos tanques del sistema porque la etapa óptima de crecimiento se alcanza a los 6 meses. Por otra parte, para estimar el número anual de plantas producidas, se planteó tres escenarios distintos: 1) el sistema produce lechuga; 2) el sistema produce tomate, y 3) el sistema produce pepino. En los tres escenarios se tomó en cuenta a la tasa de mortalidad reportada por los tipos de hortalizas según el tratamiento y el período productivo (1 mes para lechuga y 3 meses para pepino y tomate).

Obtenido los datos del número de peces y hortalizas según su tipo para un año, se hizo la búsqueda bibliográfica de los costos que fluctúan en el mercado tanto para la venta de la libra tilapia, así como para la unidad de lechuga, tomate y pepino. Luego, se aplicó la ecuación 3.8 para obtener el cálculo del total de ingreso anual para el sistema, de acuerdo a cada uno de los escenarios propuestos y tratamientos aplicados.

$$I = \sum [(Wp * Np) * Pmp] + [(Nh * Pmh)] \quad [3.8]$$

Donde:

I: Ingresos anuales (USD).

Wp: Peso estándar de la madurez de los peces (450 g → 0,99 lb).

Pmp: Precio de los peces en el mercado (USD/lb).

Pmh: Precio de la lechuga en el mercado (USD/U).

Np: Número de peces producidos en un año (U).

Nh: Número de hortalizas producidas en un año (U).

Para estimar las ganancias anuales (una por cada tratamiento), se aplicó la ecuación 3.9 que consiste en la diferencia entre ingresos y egresos. El valor de la ganancia anual fue el indicador de cuál tratamiento es el más rentable y si esta rentabilidad coincide con la efectividad del mismo en el desarrollo de los parámetros de calidad de los peces y de las plantas.

$$G = I - E \quad [3.9]$$

Donde:

G: Ganancia anual (USD).

I: Ingreso anual (USD).

E: Egreso anual (USD).

Actividad 7. Análisis financiero del sistema acuapónico

Consistió en la aplicación de la prueba TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto) expresadas mediante las ecuaciones 3.10 y 3.11, respectivamente. La finalidad de esta prueba fue identificar si la inversión del sistema acuapónico es viable económicamente.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad [3.10]$$

Donde:

TIR: Tasa Interna de Retorno

I: Valor Inicial de la inversión (USD)

n: Número de período/s en el tiempo de proyección (12 para este caso)

Fn: Flujo de ingreso para cada período (USD)

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FNj}{(1+i)^j} \quad [3.11]$$

Donde:

VAN: Valor Actual Neto.

I_0 : Valor del desembolso inicial de la inversión.

n: Número de períodos en el tiempo de proyección (12 para este caso).

FN: Flujo de ingreso para cada período (USD).

J: Costo del capital utilizado

Se realizó tres estimaciones de TIR y VAN; una por cada tratamiento. Se verificó el cumplimiento del principio del método que establece que cuando el TIR es >0 se considera apto y cuando el VAN es positivo se considera al proyecto viable y rentable ya que los flujos de ingresos actuales cubren el beneficio neto de la inversión generando ganancias (Rojas y Geovani, 2016).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DIAGNÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) PARA APROVECHARLO COMO SUSTRATO

4.1.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (2020) reporta que el arroz es uno de los cultivos transitorios más productivos durante todo el año en el país, llegando a tener una superficie sembrada de hasta 288.797,00 Ha. Además, las estadísticas productivas ascienden a un total de 1'668.523 T de arroz (tabla 4.1) de las cuales el 22% (367.075,00 T) es considerado residuos, es decir cascarilla de arroz (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019).

Tabla 4.1. Producción de arroz a nivel nacional.

Provincias	Cultivo de Arroz		Producción Total (T)
	Producto utilizado (T)	Residuos (T)	
Guayas	962.088,00	271.358,00	1'233.446,00
Los Ríos	267.386,00	75.416,00	342.802,00
Loja	27.317,00	7.705,00	35.022,00
El Oro	8.039,00	2.268,00	10.307,00
Manabí	36.618,00	10.328,00	46.946,00

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería (2019)

La producción de arroz (*Oryza sativa*) en Ecuador se centra principalmente en cuatro provincias de la Costa (Guayas, Los Ríos, El Oro y Manabí) y en una de la Sierra (Loja). Los datos demuestran que Guayas es la principal provincia ecuatoriana productora de arroz, por ende la que más residuos genera. En contraste, Manabí, Loja y El Oro son las provincias con menor producción (gráfico 4.1).

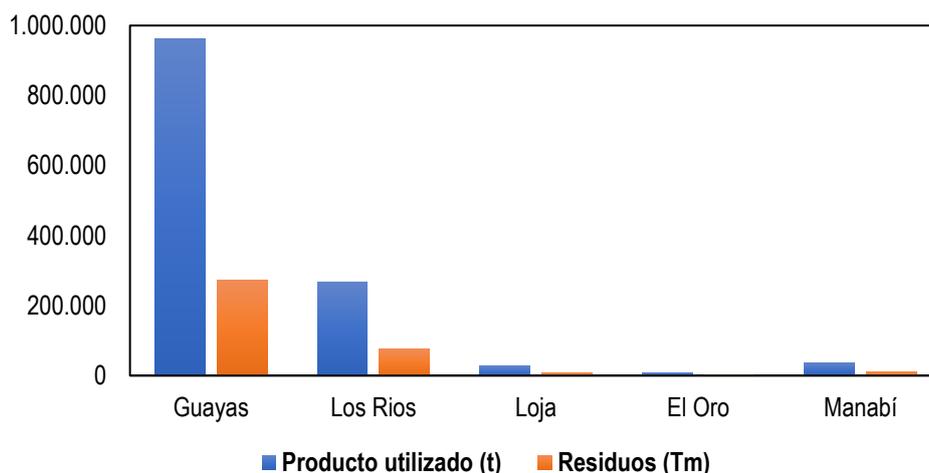


Gráfico 4.1. Producto utilizado y residuos generados de la producción de Arroz
Elaborado por: Basurto y Vera (2020)

En el contexto local, los cantones manabitas que producen arroz son Rocafuerte con 3.513,00 Ha, Sucre con 1.443,00 Ha y Portoviejo con 1.140,00 Ha (MAG, 2019; 2020).

La producción de coco (*Cocos nucifera*) en Ecuador está dominada por las provincias de Manabí, Esmeraldas y Guayas. Por otra parte, varias provincias de la región Amazónica, como Sucumbíos, Napo y Orellana y la provincia de de la Región Insular Galápagos, también producen este cultivo, pero en menor medida (tabla 4.2). Villegas y Vélez (2007) expresan que la producción de coco en el país en el año 2007 fue de 20.210,00 T, representando el 30% (6.063,00 T) de residuos (fibra de coco).

Tabla 4.2. Producción de coco a nivel nacional.

Provincias	Cultivo de Coco		Producción Total (T)
	Producto utilizado (T)	Residuos (T)	
Manabí	7.707,70	3.303,30	11.011,00
Esmeraldas	4.550,00	1.950,00	6.500,00
Guayas	1.097,60	470,40	1.568,00
Sucumbíos	539,00	231,00	770,00
Napo	182,00	78,00	260,00
Orellana	66,50	28,50	95,00
Galápagos	4,20	1,80	6,00

Fuente: Villegas y Vélez (2007)

En el gráfico 4.2 demuestra que Manabí es la principal provincia ecuatoriana productora de coco así como la mayor generadora de residuos de este cultivo, en una línea similar se encuentra Esmeraldas. En contraste, Guayas, Sucumbíos, Napo, Orellana y Galápagos son las provincias con menor participación en la producción de coco comparada con Manabí.

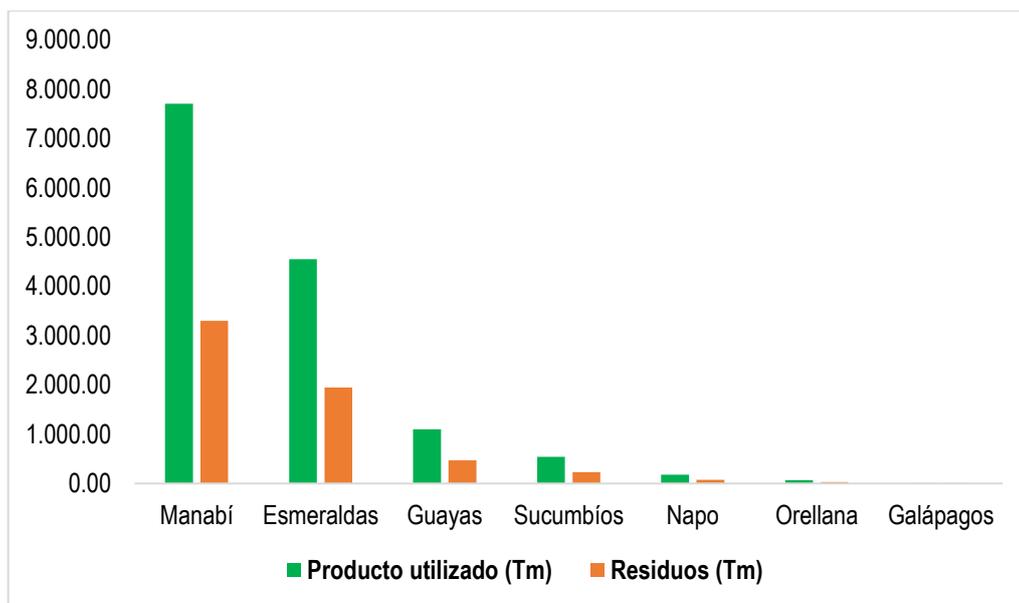


Gráfico 4.2. Producto utilizado y residuos generados de la producción de Coco
Elaborado por: Basurto y Vera (2020)

En el contexto local, los principales cantones manabitas que producen coco son Portoviejo con 547,63 Ha, Rocafuerte con 354,01 Ha y Pedernales con 212 Ha (Sistema Nacional de Información, 2012; Suarez, 2015; Romero et al., 2020).

4.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS

En la tabla 4.3 se presenta a los principales componentes del arroz (*Oryza sativa*) pilado seco y limpio, tomando como referencia las descripciones de Echeverría y López (2010). El componente que destaca es el arroz pilado entero (18% pulido) con un 63% y luego la cascarilla con un 22%.

Tabla 4.3. Porcentaje de los componentes del arroz pilado seco y limpio.

Componente	Porcentaje %
Arroz pilado entero (18% pulido)	63,00
Arrocillo (>1/4 y 5% < 3/4) + yelem= (Arrocillo muy fino)	5,00
Polvillo	8,50
Tamo o Cascarilla	22,00
Impurezas	1,50

Fuente: Echeverría y López (2010)

La cascarilla de arroz es uno de los subproductos más importantes de la producción de arroz; es un desecho que envuelve al grano de arroz y genera grandes volúmenes. Este subproducto muestra cerca de un 10% de humedad, aunque difiere según las zonas. Contiene sustancialmente grasa (12-15%) y almidón (23-28%), bajo grado de lignificación (2,5 %) y fracción fibrosa (17,5 %). Contiene 1,35% de fósforo representado por el 90% en forma de filatos (Arias y Meneses, 2016).

En la tabla 4.4 se muestran los rangos cobtenidos de las características químicas de la cascarilla de arroz a escala global según las descripciones de Valverde et al. (2007). Las proporciones de celulosa, hemicelulosa y lignina son relativamente similares (25,89–35,5%; 18,1–21,35 % y 18,20–24,6%, respectivamente).

Tabla 4.4. Características químicas de la cascarilla de arroz a nivel mundial

Parámetros	Valores				Valores promedio
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	
Celulosa	29,20	33,47	25,89	35,50	31,02
Hemicelulosa	20,10	21,03	18,10	21,35	20,15
Lignina	20,00	18,80	24,60	18,20	20,40

Fuente: Valverde et al. (2007)

Debido a la estructura cerrada, la combustión de la cascarilla se dificulta. Por el alto contenido de sílice (20%) es de muy baja biodegradabilidad en condiciones naturales (Prada y Cortés, 2010). El poder calorífico de la cascarilla de arroz es de

3.281,6 kcal/kg; lo que le permite alcanzar temperaturas muy altas de hasta 1000 °C cuando se hace uso de algún tipo de combustible (tabla 4.5).

Tabla 4.5. Características físicas de la cascarilla de arroz

Parámetro	Valor
Peso específico	125 kg/m ³
Poder calorífico	3.281,6 kcal/kg
Temperatura máxima	970°C (seca)
	650°C (con algún grado de humedad)
	Hasta 1000°C (mezclada con combustible)

Fuente: Prada y Cortés (2010)

La cascarilla de arroz, se usa como materia prima para elaborar abonos compuestos y sustratos. Es importante considerar que el uso de la cascarilla debe ser bajo condiciones parcialmente húmedas ya que cuando está seca el polvillo es nocivo para la salud humana. El polvillo libera material particulado que es uno de los principales contaminantes causantes de afecciones respiratorias e incluso de mortalidad prematura (Arias y Meneses, 2016; Lelieveld et al., 2015).

Además, es imprescindible su completa fermentación para eliminar los elementos de propagación de las distintas enfermedades criptogámicas y bacterianas que se puedan presentar. Después de la fibra de coco, el arroz es uno de los subproductos más utilizados debido a su alta productividad (Arias y Meneses, 2016). La cascarilla de arroz es considerada un buen material de sustrato por ser puzolánico, rentable y respetuoso con el medio ambiente. Puede utilizarse para mejorar el rendimiento térmico, reduciendo la conductividad térmica hasta un 62% y manteniendo la resistencia a la compresión adecuada. Además, reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y el coste (Selvaranjan et al., 2021).

En cuanto a la producción de coco en Ecuador, existen dos variedades de esta: 1) las gigantes conocidas como criollas que pueden producir un mayor volumen de fibra y 2) las enanas también llamadas manilas (Villegas y Vélez, 2007). El coco está compuesto por una cáscara exterior gruesa (exocarpio), una parte fibrosa

(mesocarpio), otra interior dura, vellosa y marrón (endocarpio) adherida a la pulpa blanca y aromática (endospermo) que contiene agua (Alvarado et al., 2015). El endocarpio y el agua son los componentes con mayor peso (30 y 23%, respectivamente) mientras que el epicarpio es el más liviano con un 10% del peso total (tabla 4.6).

Tabla 4.6. Composición porcentual de la estructura del coco.

Componente	Porcentaje (%) en peso
Epicarpio	10
Mesocarpio	20
Endocarpio	30
Endospermo (copra)	17
Agua	23
Total	100

Fuente: Villegas y Vélez (2007)

La fibra de coco es un sustrato renovable y exuberante, compuesto por un manto externo (cubierta) y una interna (xilema). La xilema tiene un gran contenido de pectina, y la cubierta es superior en lignina. Básicamente la fibra está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina. Estas particularidades la hacen resistente, principalmente en la tracción y elasticidad con un pequeño diámetro en corte transversal. Otro rasgo que permite usarlo por más de un ciclo de cultivo (3-5 años) es su aguante a la degradación por organismos, y el ser un producto ligero. Tiene buena porosidad, gran retención de humedad y una apropiada correlación aire-agua (Crespo et al., 2012).

La tabla 4.7 presenta las propiedades químicas de la fibra de coco, destacando su pH ligeramente ácido (5,6) y su capacidad de intercambio catiónico de 58,00 me/100 g que la hacen idónea para cultivos hidropónicos. Al presentar una gran composición de lignina beneficia la presencia de microorganismos en la zona radicular y evita la desintegración (Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes, 2021).

Tabla 4.7. Propiedades químicas de la fibra de coco.

Parámetro	Valor
pH extracto saturado	5,60
CIC me/100 g	58,00
Materia orgánica total (%)	87,00
CE dS/m	0,70
Nitratos ppm	<1,50
N amoniacal ppm	1,80
Fosfatos ppm	8,50
Potasio ppm	108,00
Calcio ppm	5,20
Magnesio ppm	<2,00
Cloruros ppm	159,00
Sulfatos ppm	36,00
Sodio ppm	49,00
Boro ppm	<0,20
Manganeso µg/l	19,00
Hierro µg/l	0,25
Zinc µg/l	<35,00
Cobre µg/l	<35,00

Fuente: Crespo et al. (2012)

La gran utilidad de esta fibra reside en su capacidad para estirarse. En la industria es usada como material absorbente en la eliminación de metales pesados. En la producción de sistemas hidropónicos es empleada como fuente de minerales como potasio y cloro (Rincón et al., 2016).

4.2 EFICIENCIA DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) COMO SUSTRATOS

4.2.1 DISEÑO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO

En la figura 4.1 se representa el sistema acuapónico experimental construido en función del diseño y dimensiones establecidas en la metodología.

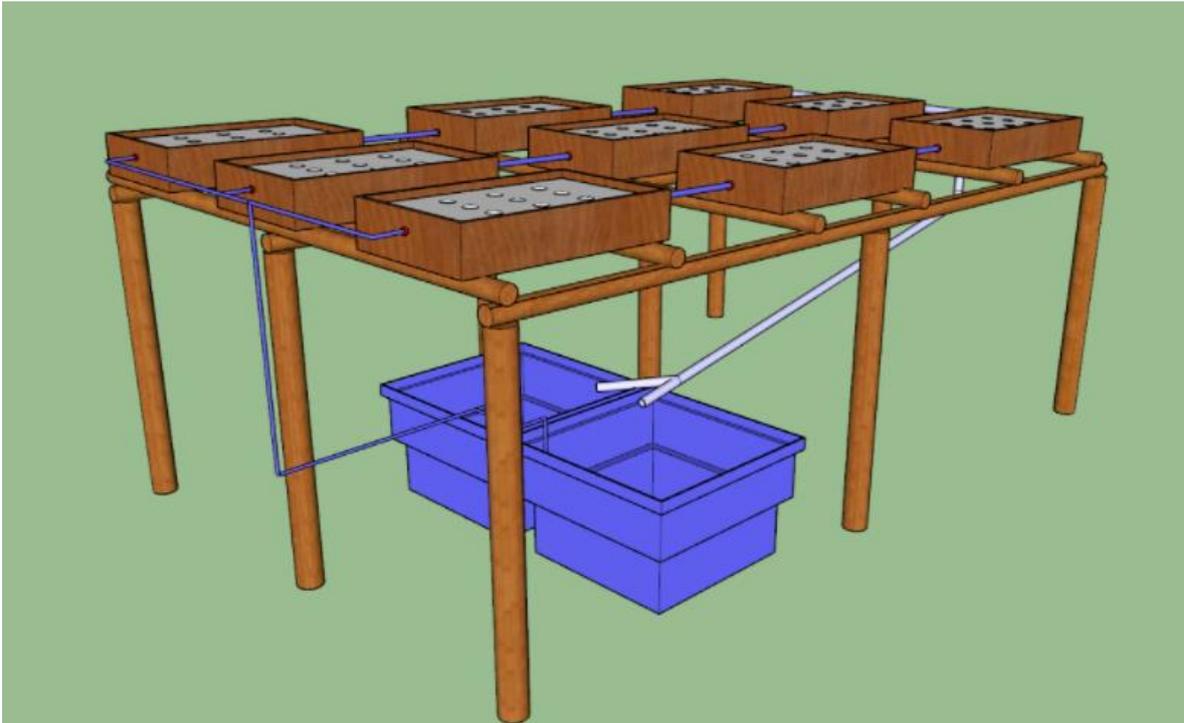


Figura 4.1. Esquema del prototipo del sistema acuapónico en 3D
Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

4.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ACUAPÓNICO

Se construyó el sistema a la altura de 1,5 m con un total de nueve cajas para la producción de hortalizas y conectadas a dos reservorios mediante tuberías. El sistema funcionó mediante la recirculación del agua impulsada por una bomba (flujo de 23,7 L/min) colocada a una altura de 2,2 m. El agua de suministro estuvo en los tanques de crianza de los peces (anexo 2). Los desechos orgánicos de los peces se aprovecharon como nutrientes para las hortalizas y los residuos agrícolas como sustrato logrando beneficios mutuos.

4.2.3 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA

La evaluación de la eficiencia de las hortalizas implantadas en el sistema acuapónico se realizó considerando los parámetros establecidos por Guerra et al. (2016); Reyes y Pérez (2016); Moreno y Zafra (2014) como se ilustra a continuación:

Supervivencia

Para la supervivencia de las plantas, T₃ resultó el más eficiente debido a que en los tres tipos de hortalizas experimentales: pepino, lechuga y tomate se mantuvo el

100% de las plantas hasta el final de la experimentación (anexo 10). Por su parte T₁ y T₂ respondieron igual en cuanto a la supervivencia de la lechuga y el tomate, con una tasa de 89 % y 78 %, respectivamente. Sin embargo, para el caso del pepino si hubo variación para este parámetro. T₁ tuvo una mayor tasa de mortalidad comparado (22 %) con T₂ (11 %), indicando que a mayor proporción de coco mejora la supervivencia (gráfico 4.3).



Gráfico 4.3. Supervivencia de las plantas
Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

Número de Hojas (NH)

El *NH* sólo se aplicó a las lechugas encontrando que T₂ y T₃ contribuyen a un *NH* más elevado; 36 – 46 y 39 – 46, respectivamente (anexo 11). En el gráfico 4.4 se representa las medias del *NH* de la lechuga, de acuerdo a cada tratamiento. Se demostró que el mejor tratamiento con respecto al *NH* para las lechugas fue T₃ (70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz).

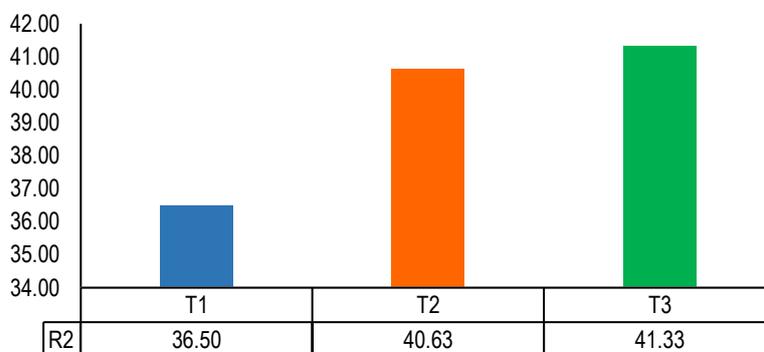


Gráfico 4.4. Número de Hojas de Lechuga promediado
Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

Número de Frutos (NF)

El *NF* solo se aplicó a las hortalizas de pepino y tomate, encontrando que T2 (50% fibra de coco y 50% cascarilla de arroz) es más eficiente si se considera la media del parámetro (anexo 12). En el gráfico 4.5 se representa a la totalidad de frutos de pepino y tomate obtenidos por cada tratamiento en estudio. T₂ tiene la capacidad de producir un mayor *NF* de pepinos y de tomates en relación a T₁ y T₃.

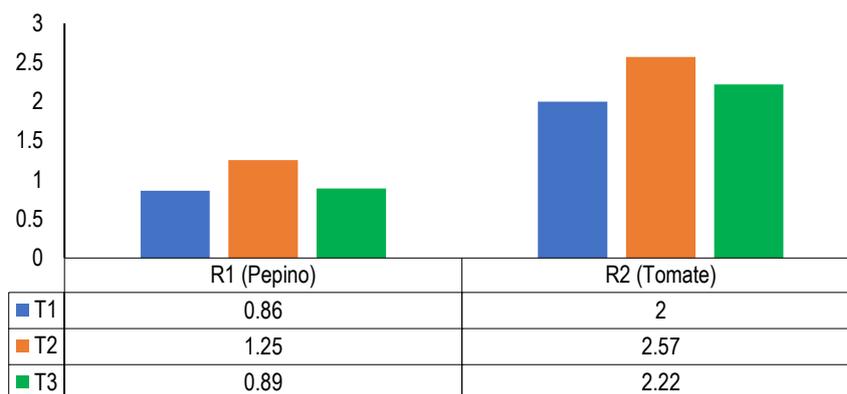


Gráfico 4.5. Número de Frutos de Pepino y Tomate promediado
Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

Peso y Biomasa

Los datos de peso y biomasa (anexo 13) reflejaron que T₃ de la relación 70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz, demostró ser el mejor tratamiento en los tres tipos de hortalizas: pepino, lechuga y tomate, frente a los demás tratamientos (gráfico 4.6).

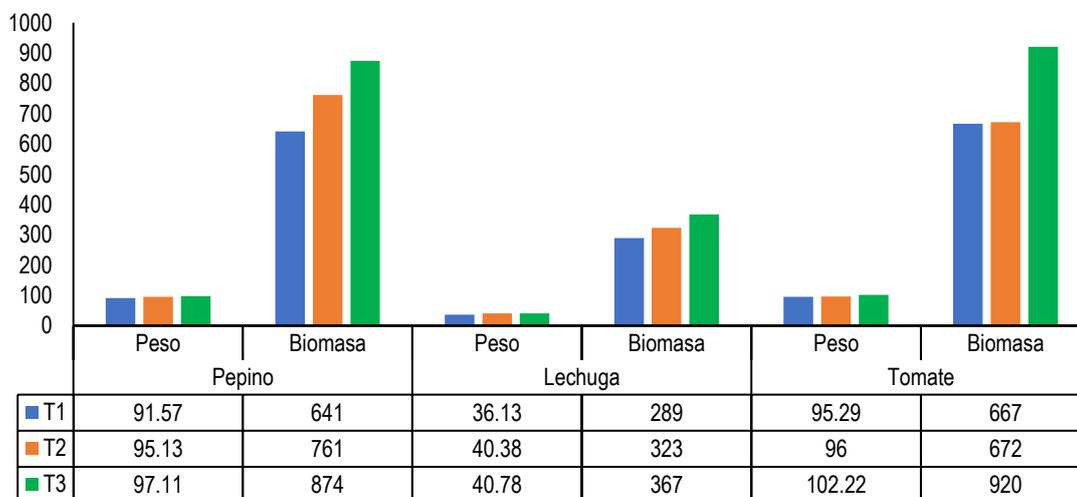


Gráfico 4.6. Peso promedio por tratamiento y réplicas de las hortalizas, y su biomasa.
Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

Altura

En cuanto a las medias de la altura de las plantas, se evidenció que los tratamientos aplicados guardan un comportamiento similar en cada uno de los tipos de hortalizas (anexo 14). La altura promedio para el pepino oscila entre 130 –136 cm, para la lechuga entre 40 – 41 cm y para el tomate entre 56 – 68 cm. En los tres casos, el mejor tratamiento fue la relación 70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz (gráfico 4.7).

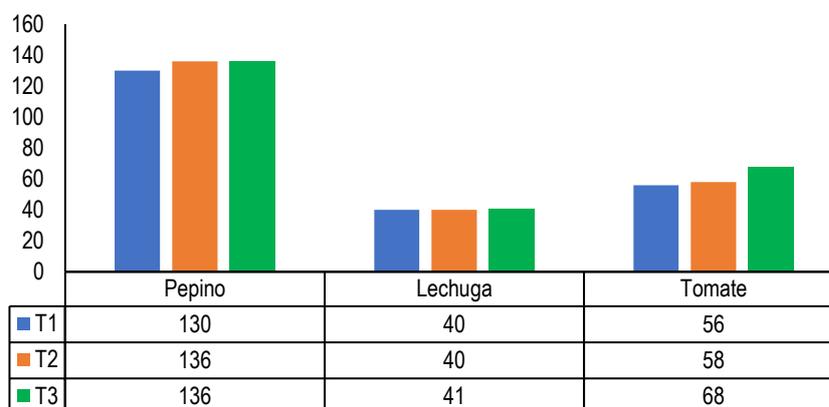


Gráfico 4.7. Altura promedio de las plantas.
Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

Tasa de Crecimiento (TC)

Se expone que T₃ es el mejor tratamiento para la tasa de crecimiento de las plantas (anexo 15); permitiendo que las hortalizas alcancen crecimientos significativos: 3,66 cm/día en pepinos, 0,82 cm/día en lechugas y 0,86 cm/día en tomates (gráfico 4.8).



Gráfico 4.8. Tasa de Crecimiento promediado.
Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

Tasa Específica de Crecimiento (TCE)

Los resultados de la tasa específica de crecimiento de las plantas (anexo 16) muestran que el tratamiento tres de la relación (70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz), es el mejor respecto a los demás. En las hortalizas se obtuvieron los siguientes porcentajes de crecimiento: 7,13% en pepinos, 4,77% lechugas y 3,56% en tomates (gráfico 4.9).

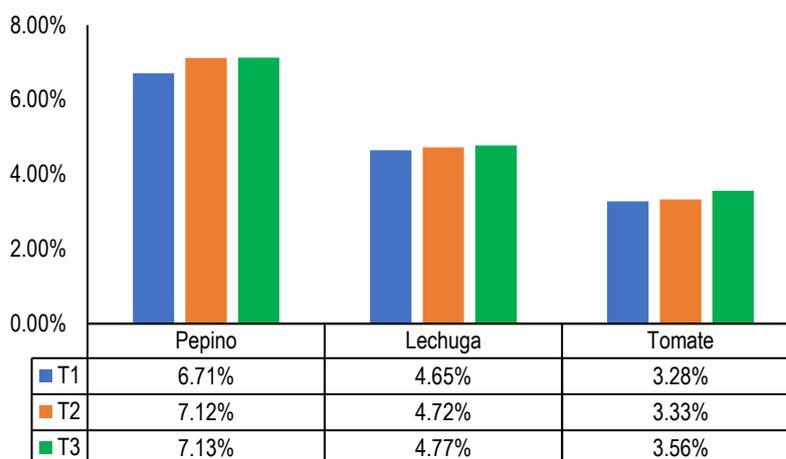


Gráfico 4.9. Tasa Específico de Crecimiento promediado
Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

La tabla 4.8 resume el análisis de varianza aplicado a los parámetros evaluados de las hortalizas sometidas a tres tratamientos basados en la combinación de sustratos provenientes de residuos agrícolas en diferentes proporciones.

Luego de verificar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (anexos 17 y 18), se encontró que de los ocho parámetros analizados, en siete no hay significancia (p -valor $>0,05$): NH con $p= 0,142$; NF con $p= 0,626$; Altura con $p= 0,866$; Peso con p -valor $0,790$; Biomasa con p -valor $0,663$; TC con p -valor $0,947$; y TCE con p -valor $0,826$. La Supervivencia fue el único parámetro que evidenció diferencias significativas (p -valor $<0,05$) entre los tratamientos. Esto indica que la combinación de sustratos de residuos agrícolas pueden tener un efecto determinante en la capacidad que tienen las plantas para sobrevivir.

Tabla 4.8. Análisis de varianza de los parámetros medidos en las hortalizas.

Parámetros evaluados	Categorías	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. (bilateral)
Supervivencia (%)	Entre grupos	564,667	2	282,333	10,500	0,011*
	Dentro de grupos	161,333	6	26,889		
	Total	726,000	8	282,333		
Hojas (NH)	Entre grupos	161,583	2	80,792	2,149	0,142 ^{n.s}
	Dentro de grupos	789,375	21	37,589		
	Total	950,958	23			
Frutos (NF)	Entre grupos	0,905	2	0,452	0,474	0,626 ^{n.s}
	Dentro de grupos	37,214	39	0,954		
	Total	38,119	41			
Altura (cm)	Entre grupos	534,222	2	267,111	0,144	0,866 ^{n.s}
	Dentro de grupos	111278,095	60	1854,635		
	Total	111812,317	62			
Peso (g)	Entre grupos	389,810	2	194,905	0,237	0,790 ^{n.s}
	Dentro de grupos	49397,619	60	823,294		
	Total	49787,429	62			
Biomasa (g)	Entre grupos	56378,000	2	28189,000	0,440	0,663 ^{n.s}
	Dentro de grupos	384668,000	6	64111,333		
	Total	441046,000	8			
Tasa de crecimiento (cm/día)	Entre grupos	0,212	2	0,106	0,055	0,947 ^{n.s}
	Dentro de grupos	116,541	60	1,942		
	Total	116,753	62			
Tasa específica de crecimiento (%/día)	Entre grupos	0,945	2	0,472	0,192	0,826 ^{n.s}
	Dentro de grupos	147,521	60	2,459		
	Total	148,465	62			

* Diferencia significativa al 5% | **n.s** Diferencia no significativa

Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

Los resultados de este estudio mostraron que los tratamientos evaluados desencadenan condiciones similares en casi todos los parámetros estudiados en las plantas cultivadas en sistemas acuapónicos. Esto guarda correspondencia con los resultados de Guerrero et al. (2021) quienes realizaron una evaluación a los sustratos de fibra de coco y cascarilla de arroz en un sistema hidropónico de fresas, demostrando un desarrollo óptimo en las plantas, pero sin cambios significativos en los parámetros de control. Por otra parte, los resultados de esta investigación se contraponen con los de Costa et al. (2020) quienes en su estudio sobre el cultivo de taioba en sistema hidropónico, utilizando 80% de fibra de coco y 20% de vermiculita como sustrato, sí obtuvieron significancias para el número de hojas, altura de la planta y biomasa.

La tabla 4.9 muestra los resultados de la prueba de Tukey aplicada para identificar la diferencia entre tratamientos, a través de las respuestas de los ocho parámetros evaluados en el desarrollo de las hortalizas experimentales. La prueba mostró que solamente en la Supervivencia hay diferencia entre tratamientos; siendo T₃ (sustrato al 70% de fibra de coco y al 30% de cascarilla de arroz) el más significativo (p-valor <0,05) comparado con T₁ y T₂ (anexo 19).

Tabla 4.9. Prueba de Tukey para los parámetros evaluados en las hortalizas.

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Supervivencia	Hojas	Frutos	Altura	Peso	Biomasa	TC	TCE
T ₁	T ₂	0,679	0,387	0,602	0,980	0,961	0,965	0,988	0,935
	T ₃	0,012	0,128	0,921	0,857	0,774	0,655	0,942	0,811
T ₂	T ₁	0,679	0,387	0,602	0,980	0,961	0,965	0,988	0,935
	T ₃	0,031	0,770	0,831	0,939	0,910	0,798	0,982	0,961
T ₃	T ₁	0,012	0,128	0,921	0,857	0,774	0,655	0,942	0,811
	T ₂	0,031	0,770	0,831	0,939	0,910	0,798	0,982	0,961

Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

La mayor proporción de fibra de coco presenta un mejor resultado en la supervivencia de las unidades experimentales. A pesar de que en los otros siete parámetros analizados no ocurrió diferencias entre grupos, a través de la Supervivencia se puede inferir que a mayor proporción de fibra de coco y a menor proporción de cascarilla de arroz se garantiza el éxito en la productividad de las hortalizas ya que tendrían una mayor capacidad para sobrevivir; lo que conlleva a una mayor rentabilidad en escenarios reales.

Los resultados de esta investigación se asocian con los de Silva et al. (2021) quienes en un estudio sobre el desarrollo de plantas utilizando a la fibra de coco como sustrato encontraron una influencia positiva en las características biométricas y fisiológicas de las plantas estudiadas. Los resultados reportados en este estudio colocan a la fibra de coco combinada con una menor proporción de cascarilla de arroz como un sustrato con gran potencial en el campo productivo, así como también otros estudios han sugerido a estos residuos agrícolas como agentes para la biorremediación de suelos contaminados (Lizana, 2020). Por lo tanto, la utilidad de T₃ a escala real aportaría no solamente en el desarrollo de las plantas de manera sostenible, sino también en la preservación de las condiciones biofísicas del suelo.

En la tabla 4.10 se resume la eficiencia del sistema en el desarrollo de los peces en función de los seis parámetros estudiados.

Tabla 4.10. Resultados de los parámetros estudiados en los peces.

Parámetros	Medidas	Tanque 1	Tanque 2	Total
Supervivencia	%	75,00	85,00	80,00
Talla	cm	19,00	19,00	19,00
Peso	g	107,09	104,41	106,00
Biomasa	g	1.606,30	1.774,90	1.690,60
GP	g	92,09	89,41	90,75
	%	86,00	86,00	86,00
TCI	%	2,24	2,22	2,23

Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

En la tabla 4.11 se muestra la prueba t de muestras independientes para los parámetros experimentales en los peces, a partir de la verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (anexos 20 y 21). Se encontró que no hay diferencia significativa entre tratamientos (p -valor $>0,05$) para ninguno de los parámetros medidos en los peces, asumiendo y no asumiendo varianzas iguales. La tasa de crecimiento fue el parámetro que experimentó menos diferencia entre grupos (p -valor: 0,746 y 0,752), mientras que talla fue el que tuvo un p -valor inferior en todos los grupos (0,366 y 0,371), sin que esto represente diferencias significativas.

Tabla 4.11. Prueba t de muestras independientes en peces.

Parámetros evaluados	Categorías	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
Talla (cm)	Se asumen varianzas iguales	0,918	30	0,366 ^{n.s}	0,41176	0,44864	-0,50448	1,32801
	No se asumen varianzas iguales	0,909	27,899	0,371 ^{n.s}	0,41176	0,45291	-0,51612	1,33965
Peso (g)	Se asumen varianzas iguales	0,739	30	0,466 ^{n.s}	2,68078	3,62910	-4,73083	10,09240
	No se asumen varianzas iguales	0,726	26,090	0,474 ^{n.s}	2,68078	3,69115	-4,90521	10,26678
Ganancia de Peso (g)	Se asumen varianzas iguales	0,739	30	0,466 ^{n.s}	2,68078	3,62910	-4,73083	10,09240
	No se asumen varianzas iguales	0,726	26,090	0,474 ^{n.s}	2,68078	3,69115	-4,90521	10,26678
Ganancia de Peso (%)	Se asumen varianzas iguales	0,894	30	0,378 ^{n.s}	0,45490	0,50865	-0,58390	1,49370
	No se asumen varianzas iguales	0,885	27,758	0,384 ^{n.s}	0,45490	0,51382	-0,59802	1,50782
Tasa de crecimiento	Se asumen varianzas iguales	0,327	30	0,746 ^{n.s}	0,01416	0,04329	-0,07425	0,10256
	No se asumen varianzas iguales	0,320	24,745	0,752 ^{n.s}	0,01416	0,04425	-0,07702	0,10533

n.s: Diferencia no significativa al 5%

Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

Esta investigación mostró que en los dos tanques empleados durante la experimentación de los sistemas acuapónicos, los parámetros evaluados en las unidades experimentales de los peces no variaron significativamente, asegurando cantidades similares en los ejemplares.

López (2019) menciona que una buena calidad de agua en los sistemas acuapónicos garantiza el bienestar tanto de las plantas como de los peces. Los análisis de la calidad del agua obtenidos durante los meses de abril (anexo 22), mayo (anexo 23) y junio (anexo 24) mostraron que casi todos los parámetros de calidad del agua analizados se ajustaron a los estándares de la FAO (2014). En el caso de NH_4 los niveles medios fluctuaron entre 0,25-0,45 mg/l, para NO_3 entre 5,63-7,5 mg/l, para NO_2 entre 0,25-0,40 mg/l, para OD entre 6,69-6,94 mg/l y para pH entre 6,2-6,69 (gráfico 4.10).

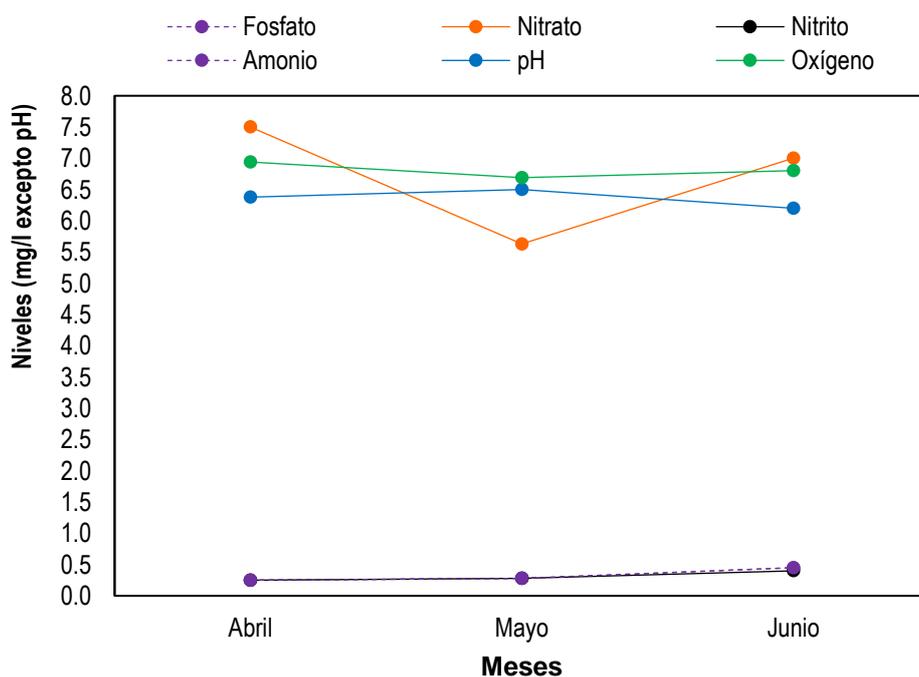


Gráfico 4.10. Medias de los resultados de análisis a la calidad de agua del sistema acuapónico experimental.
Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

El PO_4 tuvo medias de 0,25 mg/L (abril), 0,28 mg/L (mayo) y 0,45 mg/L (junio), demostrando que no se encuentra dentro del rango óptimo de calidad. Este dato sirvió como indicador para conocer que el sistema no estuvo expuesto a la proliferación de algas ni a procesos de eutrofización (Bonilla et al., 2016). Ante esta

situación, se confirmó que las limitaciones del sistema estuvieron condicionadas a aspectos humanos.

Los NO_3 ajustados a los estándares de calidad es el resultado de la adecuada limpieza de los tanques del sistema que consistió en la eliminación de residuos de las excretas de los peces. Los NO_3 solo llegan a ser tóxicos en concentraciones sumamente altas (Ángeles y Sandoval, 2016). En esta investigación se observó la calidad de este parámetro mediante la adecuada densidad de las plantas que evidencia que el NO_3 no se retuvo en las raíces (Candarle, s.f.). Los NO_2 al estar en niveles óptimos contribuyeron al buen desarrollo de los peces ya que en condiciones anormales este parámetro es altamente tóxico ocasionando estrés, enfermedades como la “sangre marrón” hasta la muerte (Ramírez et al., 2008).

Parámetros como el pH y el OD también se encontraron en los límites máximos permisibles propuestos por la FAO (2014). El mantener un adecuado nivel de OD es concluyente en el sistema, porque a pesar de que las tilapias pueden resistir en ambientes con poco oxígeno, pueden morir si este se encuentra fuera de los niveles propuestos (Bañuelos, 2017).

Los niveles óptimos de pH en el sistema contribuyeron a un equilibrio entre las plantas y los peces experimentales (Candarle, s.f.) por lo que se comprueba que las condiciones que más influyeron fueron los nutrientes de los sustratos que circularon en el sistema.

Esto evidencia que los criterios de Khandaker y Kotzen (2018) son asertivos ya que estos autores concluyen que un flujo constante y suficiente de agua rica en nutrientes de sustratos son necesarios para el buen funcionamiento de un sistema acuapónico.

4.3 CÁLCULO DE COSTOS Y BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE COCO (*Cocos nucifera*) COMO SUSTRATOS EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS PARA USO COMERCIAL

4.3.1 PROYECCIÓN DE LOS EGRESOS E INGRESOS Y LA GANANCIA ANUAL POR TRATAMIENTO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO DE HORTALIZAS

El total de egresos en la implementación del sistema es de USD 829,80 independientemente del tratamiento (anexo 25). La igualdad de costos se presenta debido a que la única distinción en el sistema es la proporción de sustratos procedentes de los residuos agrícolas que son donados por los productores, logrando evitar costos en la adquisición. Este escenario es favorable para el sistema y para los productores. Por un lado se optimiza los costos en el sistema acuapónico para lograr una mejor rentabilidad y por otro lado, se contribuye a reducir la presión de los residuos agrarios sobre los bienes y servicios ambientales.

Las proyecciones de ingresos anuales bajo los tres escenarios planteados: 1) el sistema produce lechuga; 2) el sistema produce tomate, y 3) el sistema produce pepino mostraron la particularidad de que, en todo el año, los escenarios 2 y 3 generan cifras por debajo del monto de inversión inicial resultando en pérdidas económicas (anexo 26). Sin embargo, para el caso de las lechugas se proyecta ingresos económicos de hasta USD 1.840,92/año, con una tasa de ganancia de USD 492,72 para T₁ y T₂; y de USD 1.011,12 para el T₃ (tabla 4.12), debido a que los ciclos productivos son más rápidos y las plantas se adaptan mejor a las condiciones del sistema, demostrando la afinidad de las hortalizas de hoja en los sistemas acuapónicos, porque crecen bien en agua, tienen un período de crecimiento corto, no necesitan grandes cantidades de nutrientes y, por lo general tienen una gran demanda (Bailey y Ferrarezi, 2017).

Tabla 4.12. Estimación de egresos, ingresos y ganancia anual del sistema acuapónico de producción de lechuga en función de los tratamientos estudiados.

Categoría	Detalle	Tratamientos		
		T ₁	T ₂	T ₃
Egresos	Materia prima	662,80	662,80	662,80
	Mano de obra directa	70,00	70,00	70,00
	Gasto de producción	97,00	97,00	97,00
	Total	829,80	829,80	829,80
Ingresos	Venta de peces anual	285,72	285,72	285,72
	Venta de hortalizas anual	1.036,80	1.036,80	1.555,20
	Total	1,322,52	1.322,52	1.840,92
Ganancia anual		492,72	492,72	1.011,12

Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

4.3.2 ANÁLISIS FINANCIERO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO

Para T₁ y T₂ se estima que, a partir de la inversión inicial del sistema (USD 829,80) y bajo la proyección de una ganancia equivalente a USD 1.322,52/año por la venta de lechugas y peces producidos en el sistema, mensualmente se puede disponer de un flujo de caja de USD 110,21.

El TIR para los 12 meses estimados es positivo (8,02%) haciendo apto al sistema, pero no es suficiente para generar un beneficio neto y el riesgo que implica la inversión inicial dando como resultado un VAN negativo equivalente USD -78,86. Esto muestra que un año no es suficiente para recuperar la inversión requerida para el sistema, aunque aumentando el número de meses, probablemente el VAN podrá ser viable ya que el TIR sí es positivo.

Por otra parte T₃ resultó ser viable económicamente para la inversión del sistema acuapónico, obteniendo un TIR de 15,05% y un VAN de USD 215,49. Este escenario es importante porque justifica la inversión de la implementación del sistema, teniendo el retorno del 100% en un período menor a un año y además generando una utilidad importante haciendo una producción más responsable y ecoamigable (tabla 4.13).

Tabla 4.13. TIR y VAN aplicado a los tratamientos estudiados en la implementación del sistema acuapónico de producción de hortalizas (lechugas).

Período (Meses)	Tratamientos		
	T ₁	T ₂	T ₃
0	-829,80	-829,80	-829,80
1	110,21	110,21	153,41
2	110,21	110,21	153,41
3	110,21	110,21	153,41
4	110,21	110,21	153,41
5	110,21	110,21	153,41
6	110,21	110,21	153,41
7	110,21	110,21	153,41
8	110,21	110,21	153,41
9	110,21	110,21	153,41
10	110,21	110,21	153,41
11	110,21	110,21	153,41
12	110,21	110,21	153,41
TIR	8,02%	8,02%	15,05%
VAN	USD -78,86	USD -78,86	USD 215,49

Elaborado por: Basurto y Vera (2022)

Este estudio evidencia la importancia de los cultivos acuapónicos para la producción de hortalizas de hoja como la lechuga al mostrar que en un solo año se recupera la inversión inicial y además se logra percibir ganancias. A diferencia del primer año, a partir del año dos el margen de utilidad incrementa significativamente porque el costo de los egresos solamente corresponderá para rubros de mantenimiento y materia prima (plantas y peces). Otro aspecto importante a resaltar es que el margen de ganancia es alto considerando que el espacio productivo es de solamente 12,32m².

Estudios reportan que los sistemas acuapónicos en espacios reducidos pueden generar altas ventas (Bailey y Ferrarezi, 2017), por ejemplo se ha estimado que cultivando albahaca en un área de 214 m² se alcanzaría ventas de hasta USD 110.000/año. Este escenario normalmente ocurre en países donde el costo de alimentos producidos mediante prácticas ecoeficientes es más valorado, a diferencia de Ecuador donde la acuaponía aún es un campo poco conocido. En el caso de la lechuga, estudios coinciden en que es el mejor tipo de hortaliza a cultivar porque produce más ingresos por semana y por m² comparada con otros tipos de hortaliza de hojas debido a su mayor densidad de plantación (Simón y Trelles, 2014; Goddek et al., 2016; García et al., 2021).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se evidenció que la producción de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) en Guayas y Manabí son las más representativas con (271 358,00 T) y (3303,30 T) respectivamente, y han sido probados como sustratos en el campo agrícola para la retención de agua, suministro de materia orgánica, absorción de metales pesados, entre otros.
- Los sustratos de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) empleados como tratamientos (T₁, T₂, T₃) en el sistema acuapónico, indicaron que las variables de estudio NH, NF, Altura, Peso, Biomasa, TC y TCE no presentan significancia estadística, sin embargo la Supervivencia si muestra diferencia entre tratamientos; siendo T₃ (sustrato al 70% de fibra de coco y al 30% de cascarilla de arroz) el más significativo (p-valor <0,05) en comparación con T₁ y T₂.
- Se determinó los costos y beneficios de implementación de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) como sustratos en sistemas acuapónicos para uso comercial, donde el T₃ (sustrato: 70% fibra de coco + 30% cascarilla de arroz) con una inversión de USD 829,80 resultó tener una ganancia anual de USD 1.011,12, y de acuerdo con el TIR y VAN en menos de un año se recupera el 100% más el 15,05% de beneficio.
- Los sustratos elaborados a partir de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y fibra de coco (*Cocos nucifera*) mejoran significativamente la producción de cultivos en sistemas acuapónicos valorando especialmente a la supervivencia de las plantas; lo que permite aceptar la idea a defender de la investigación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Establecer un convenio con los productores de residuos agrícolas (cascarilla de arroz y fibra de coco) con la finalidad de asegurar la disponibilidad de los sustratos para replicar el modelo del sistema acuapónico bajo las condiciones del T₃. Asimismo, la disponibilidad de los residuos agrarios puede emplearse para abrir campo en nuevas investigaciones en el ámbito agroecológico .
- Desarrollar otros estudios comparativos aumentando en la experimentación el número de sustratos provenientes de residuos agrícolas y parámetros de control en las plantas, peces y agua, con la finalidad de ampliar las discusiones para detectar las fuentes más probables que afectan el desarrollo de hortalizas en los sistemas acuapónicos.
- Aumentar el área de cultivo de hortalizas (lechuga) en el sistema acuapónico para: desarrollar programas demostrativos dirigidos a grupos humanos vulnerables, asegurar una mayor producción de alimentos limpios, acelerar el retorno de la inversión inicial y percibir un mayor beneficio económico.

BIBLIOGRAFÍA

- Aleksić, N., & Šušteršič, V. (2020). Analysis of application of aquaponic system as a model of the circular economy: A review. *Recycling and Sustainable Development*, 13(1), 73-86.
- Allende, M., Martínez, J., Salinas, L., Corradini, F., Rodríguez, F., Sepúlveda, P., Olivares, N., Abarca, P., Riquelme, J., Guzmán, A., Antúnez, A., y Felmer, S. (2017). *Manual de cultivo del Tomate bajo invernadero*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/29478/INIA_Libro_0048.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alonso, A., García, L., León, I., García, E., Gil, B. y Ríos, L. (s.f.). *Métodos de investigación de enfoque experimental*. <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>
- Alvarado, L., Garcés, M., y Tumaili, T. (2015). Estudio de factibilidad económico financiero de exportación de coco verde al mercado europeo-destino Bélgica. [tesis pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio UG. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19723/1/ESTUDIO%20DE%20FACTIBILIDAD%20ECONOMICO%20FINANCIERO%20DE%20%20%20%20EXPORTACION%20DE%20COCO%20VERDE%20AL%20MERCADO.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19723/1/ESTUDIO%20DE%20FACTIBILIDAD%20ECONOMICO%20FINANCIERO%20DE%20%20%20EXPORTACION%20DE%20COCO%20VERDE%20AL%20MERCADO.pdf)
- Ángeles y Sandoval. (2016). Calidad de efluente en tres sistemas acuapónicos. *Revista Tlamati Sabiduría*. Vol. 7, Núm. 2. <http://tlamati.uagro.mx/t7e2/129.pdf>
- Arias, R., y Meneses, J. (2016). Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarillas de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, laboratorio de química UNAM-Managua I-II semestre 2016. [Tesis posgrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. Repositorio UNAN. <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>
- Asciuto, A., Schimmenti, E., Cottone, C., & Borsellino, V. (2019). A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 397-402.
- Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes. (2021). Fibra de coco. AEFA. <https://aeфа-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/fibra-de-coco>
- Bailey, D. & Ferrarezi, R. (2017). Valuation of vegetable crops produced in the UVI Commercial Aquaponic System. *Aquaculture Reports*, 7, 77-82.

- Bañuelos, J. (2017). "Acuaponía: parámetros básicos de sueños". [tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio UAAAN.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8341/JOSE%20ROBERTO%20BA%C3%91UELOS%20JAUREGUI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baque, A. (2015). *Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de la fibra de coco en la elaboración de sustrato, en la provincia de Santa Elena*. [tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio institucional UPSE.
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2258/1/UPSE-TAA-2015-009.pdf>
- Bayona, A., Cruz, I., y Briceño, D. (2017). *Manual de buenas prácticas para la producción de tenguyaca (Petenia splendida) con el método de Acuaponía*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
https://www.arturobayona.com/images/libros/filebook/tilapia_siankaan_manual.pdf
- Beltrano, J. y Giménez, D. (2015). Cultivo en hidroponía (Primera edición). Editorial de la Universidad de La Plata.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bevilaqua, P., Pereira, E., y Sánchez, I. (2017). Remoción de color en agua de abastecimiento utilizando proceso electrolítico y filtración directa. *Revista UCP*. Vol. 11 Núm. 21.
<https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/216>
- Blagojević, V., Šušteršič, V., & Gordić, D. (2016). Analiza mogućnosti za razvoj akvakulture—na primeru područja planine Ozren. *Vodoprivreda*, 48, 282-284.
- Bolaños, D., Cordero, G., y Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*. Vol. 30-4. 10.18845/tm.v30i4.3408
- Bonilla, L., Casabianca, L., Montaña, J., Pantoja, S., Rada, D., y Salcedo, C. (2016). Diseño y construcción de un prototipo de sistema acuapónico para el aprovechamiento y tratamiento de desechos de piscicultura de la hacienda La Cosmopolitana, Restrepo – Meta. *Universidad El Bosque*.
https://www.researchgate.net/publication/316731991_Diseño_y_construcción_de_un_prototipo_de_sistema_acuapónico_para_el_aprovechamiento_y_tratamiento_de_desechos_de_piscicultura_de_la_Hacienda_La_Cosmopolitana_Restrepo_-_Meta

- Bosma, R., Lacambra, L. y Landstra, Y. (2017). The financial feasibility of producing fish and vegetables.
- Buzby, K., Waterland, N., Semmens, K. y Lin, L. (2016). Evaluating aquaponic crops in a freshwater flow-through fish culture system. *Aquaculture*, 460, 15-24.
- Caldas, A., Castillo, I., Prado, S., Rosales, L., y Vargas, L. (2019). Diseño y construcción de sistemas acuapónicos a pequeña escala para familias de la región Piura. Universidad de Piura. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4285/PYT_Informe_Final_Proyecto_Sistemas_acuaponicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Caldas, R. F. (2013). *Entre la agricultura convencional y la agroecología. El caso de las prácticas de manejo en los sistemas de producción campesina en el municipio de Silvania*. [tesis pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12482/CaldasMejiaRobertoFelipe2013.pdf?sequence=1>
- Caló, P. (2011). *Introducción a la acuaponia*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- Campos, R., Alonso, A., Avalos, D., Asiain, A., y Reta, J. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 5*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4nspe5/v4spe5a7.pdf>
- Candarle, P. (s.f.). *Técnicas de Acuaponia*. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura. <https://www.studocu.com/es/document/universidad-unidad/calor/informe/160831-tecnicas-de-acuaponia/4756845/view>
- Cervantes, A., Hernández, M., y Pérez, C. (2016). Aprovechamiento de metabolitos nitrogenados del cultivo de tilapia en un sistema acuapónico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. vol.3 no.7*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/era/v3n7/v3n7a7.pdf>
- Chacón, K., y Monge, J. (2017). Rendimiento y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo invernadero. *Revista Pensamiento Actual. Vol 17, N° 29*. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/31550>
- Chávez, A. y Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia y Virtualidad*. (2): 90-107 <http://dx.doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Cisneros, K. (2021). Producción acuapónica de tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) con adición de nutrientes deficitarios en el Sistema

- Costa, A., da Silva, E., de Almeida Carlos, L., Martins, L., Maciel, G. M., & de Mendonça, T. (2020). Cultivation of taioba in hydroponic system (ebb and flow) using different substrates. *Scientia Plena*, 16(6).
- Crespo, C. E.; Chulim, C. A.; Villa, S. M.; Montoya, B. R.; Bermúdez, R. A.; López, J. P. 2012. Sustratos en la horticultura. Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Beneficios%20de%20la%20fibra%20de%20coco%20como%20sustrato.pdf>
- Cruz, E., Chulim, A., Sandoval, M., Bugarín, R., Robles, A., y Juárez, P. (2012). Sustratos en la horticultura. *Revista Biociencias*. 2 (2): 17-26 <http://aramara.uan.mx:8080/bitstream/123456789/719/1/Sustratos%20en%20la%20horticultura.pdf>
- Cuadros, S. (2008). *Residuos agrícolas, forestales y lodos*. Módulo: Contaminación de Residuos. Escuela de negocios EOI. <https://studylib.es/doc/4759825/residuos-agr%C3%ADcolas--forestales-y-lodos>
- Do Amaral, J. y Silva, V. (2018). Tolerancia al atornillado en lechuga: cultivares y temporadas de crecimiento. *Idesia vol.36 no.4 Arica*. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292018005002101&script=sci_arttext
- Domingos, J., Longhinotti, E., Gageiro, V., y Nome, F. (2003). A química dos ésteres de fosfato. *Quím. Nova vol.26 no.5*. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422003000500019&script=sci_arttext&tIng=pt
- Echeverría., M y López, O. (2010). Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica. [tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2058/1/CD-2863.pdf>
- Eck, M., Sare, A., Massart, S., Schmutz, Z., Junge, R., Smits, T., & Jijakli, M. (2019). Exploring bacterial communities in aquaponic systems. *Water*, 11(2), 260.
- Fang, Y., Hu, Z., Zou, Y., Zhang, J., Zhu, Z., Zhang, J. y Nie, L. (2017). Improving nitrogen utilization efficiency of aquaponics by introducing algal-bacterial consortia. *Bioresource technology*, 245, 358-364.
- Ferrarezi, R. y Bailey, D. (2019). Basil performance evaluation in aquaponics. *HortTechnology*, 29(1), 85-93.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). Small-scale aquaponic food production. <https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf>

- García, M., Sandoval, A., Robledo, V., Benavides, A., Robledo, A. y Cabrera, M. (2021). Rentabilidad y rendimiento agronómico de lechuga acuapónica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (26), 119-130.
- García, S. P. (2015). *Estudio de factibilidad para la industrialización de la fibra de coco en el Recinto La Tolita, Pampa de Oro - Esmeraldas*. [tesis pregrado, Universidad Técnica Salesiana sede Guayaquil]. Repositorio institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13414/1/UPS-GT001768.pdf>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. y Burnell, G. (2019). *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future* (p. 619). Springer Nature.
- Goddek, S., Schmutz, Z., Scott, B., Delaide, B., Keesman, K., Wuertz, S. y Junge, R. (2016). The effect of anaerobic and aerobic fish sludge supernatant on hydroponic lettuce. *Agronomy*, 6(2), 37.
- Goretta, M. (2019). Acuaponía: experiencia piloto para transferir tecnología al sector productivo. *Revista de divulgación científica SOL*. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/sol/article/view/3589>
- Guerra, D., Valdez, C., Aquino, E., Diaz, M., y Rios, L. (2016). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 17, núm. 11. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63649051013.pdf>
- Guerrero, E., Criollo, H., Chávez, G. y Vélez, J. (2021). Evaluation of physical and chemical variables of organic substrates in a hydroponic system for strawberry (*Fragaria ananassa* Duch). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 38(2), 50-62.
- Guerrero, E., Revelo, J., Benavides, O., Chaves, G., y Moncayo, C. (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, Volumen 31 (1): 3 – 16. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeSustratosEnUnCultivoDeLechugaBajoUnSis-5104174%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeSustratosEnUnCultivoDeLechugaBajoUnSis-5104174%20(2).pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2019. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf
- IPACUICULTURA. (2019). *La empresa de acuaponía Tilamur estará presente en la próxima edición de Los Imperdibles organizado por Fundación*

Cotec.

[http://www.ipacuicultura.com/noticias/empresas/70745/la_empresa_de_a cuaponia_tilamur_estara_presente_en_la_proxima_edicion_de_los_impe rdibles_organizado_por_fundacion_cotec.html](http://www.ipacuicultura.com/noticias/empresas/70745/la_empresa_de_a_cuaponia_tilamur_estara_presente_en_la_proxima_edicion_de_los_impe rdibles_organizado_por_fundacion_cotec.html)

- Jaramillo, J. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Cojimíes PDOT-C 2015-2019. <http://gadcojimies.gob.ec/manabi/wp-content/uploads/2015/01/PDOTCOJIMIES.pdf>
- Jiménez, O. (2020). Acuaponía: una forma potencial y sustentable de cultivar de manera eficiente y sustentable alimentos. III Congreso Virtual Internacional sobre Economía Social y Desarrollo Local Sostenible. <https://www.eumed.net/actas/20/economia-social/26-acuaponia-una-forma-potencial-y-sustentable-de-cultivar.pdf>
- Jover, M. (2000). Estimación del crecimiento, tasa de alimentación y producción de desechos en piscicultura mediante un modelo bioenergético. *Revista AquaTic* n°9. <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/70/59>
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., y Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. IDESIA, volumen 24, N. 1. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v24n1/art09.pdf>
- Khandaker, M. y Kotzen, B. (2018). The potential for combining living wall and vertical farming systems with aquaponics with special emphasis on substrates. *Aquaculture research*, 49(4), 1454-1468.
- Lelieveld, J., Evans, J., Fnais, M., Giannadaki, D. y Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367-371.
- Lizana, J. (2020). Aplicación de carbón activado de cáscara de “coco” y cascarilla de “arroz” para la biorremediación de suelos contaminados por gasolina, distrito y provincia de Moyobamba-2018.
- López, J. (2019). Cultivo acuapónico Guía especializada Aquaponic Culture-Tool Kit. <https://www.cifalmalaga.org/web/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
- Love, D., Fry, J., Li, X., Hill, E., Genello, L., Semmens, K. y Thompson, R. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67-74.
- Luchini, L. (2016). Actualidad de la Acuicultura en Argentina. *Revista AquaTIC* n°5. <http://revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/41/32>
- Mchunu, N., Odindo, A., & Muchaonyerwa, P. (2018). The effects of urine and urine-separated plant nutrient sources on growth and dry matter production of perennial ryegrass (*Lolium perenne*. L). *Agricultural Water Management*, 207, 37-43.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018). *Boletín situacional, Arroz*. Sistema de Información Pública Agropecuaria. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/arroz/boletines-situacionales-arroz-ecuador>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). Estimación de superficie sembrada de arroz, maíz amarillo duro y soya. Informe de resultados primer periodo 2019. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. <https://fliphtml5.com/wtae/ttwr>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). Estimación de superficie sembrada de arroz, maíz amarillo duro y soya. Informe de resultados segundo periodo 2019. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. <https://fliphtml5.com/wtae/xprz/basic>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). Estimación de superficie sembrada de arroz, maíz amarillo duro y soya. Informe de resultados tercer periodo 2019. Coordinación General del Sistema de Información Nacional. <https://fliphtml5.com/ijia/ngji/basic>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). Ficha de cultivo de arroz (*Oryza Sativa L.*). <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/arroz>
- Moreno, E., y Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*. 34(2): 60-72. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/770-1835-1-PB.pdf>
- Navarro, J., Gómez, I., Moral, R., y Mataix, J. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. (I.S.B.N.: 84-7908-194-5). Universidad de Alicante. https://www.researchgate.net/publication/235941169_Residuos_organicos_y_agricultura
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2015). *Siete reglas básicas que hay que seguir en la acuaponía*. <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/325888/>
- Palm, H., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S., Vermeulen, T., ... y Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture international*, 26(3), 813-842.
- Pincioli, M. (2010). Proteínas de arroz: propiedades estructurales y funcionales. Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDCA). Universidad Nacional de la Plata. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1828/Documento_completo_.pdf?sequence=3
- Prada, A., y Cortés, C. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una técnica de aprovechamiento integral. *Revista Orinoquia*,

volumen 14, Sup (1): 155-170.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>

- Prada, A., y Cortés, C. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Revista Orinoquia*, 14(1), 155-170. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>
- Quintero, M., González, C., y Guzmán, J. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. *Researchgate*. https://www.researchgate.net/publication/235999721_Sustratos_para_cultivos_hortícolas_y_flores_de_corte
- Quintero, M., Guzmán, J., y Valenzuela, J. (2012). Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel (*Dianthus caryophyllus* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícola*. Vol. 6 - No. 1 - pp. 76-87. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1281/1277
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., y Hurtado, H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Universidad Militar Nueva Granada. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. ISSN 1900-4699. Vol. 4. Núm. 1. <https://www.coursehero.com/file/73442272/2230-Texto-del-art%C3%ADculo-8130-1-10-20160907pdf/>
- Ramos, D., y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Revista Cultrop*, volumen. 35. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007&lng=es&tlng=es
- Reyes, S., y Pérez, E. (2016). Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en sistema de acuaponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.7 Núm.5. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n5/2007-0934-remexca-7-05-983.pdf>
- Rincón, J., Rincón, P., Torres, E., Mondragón, A., Sánchez, E., Arana, A., Ortiz, A., y Jiménez, E. (2016). Caracterización físico-química y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 279-284. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/49.pdf>
- Rodríguez, M. (2007). Determinación de la Composición Química y propiedades Físicas y Químicas del Pulido de Arroz (*Oryza sativa* L.). [tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/far696d/sources/far696d.pdf>
- Rojas, C., & Geovani, M. (2016). *Propuesta para la implementación de una granja ecológica autosuficiente en la comunidad algodónal de Jujal de la parroquia Macará, cantón Macará* (Bachelor's thesis, Loja).

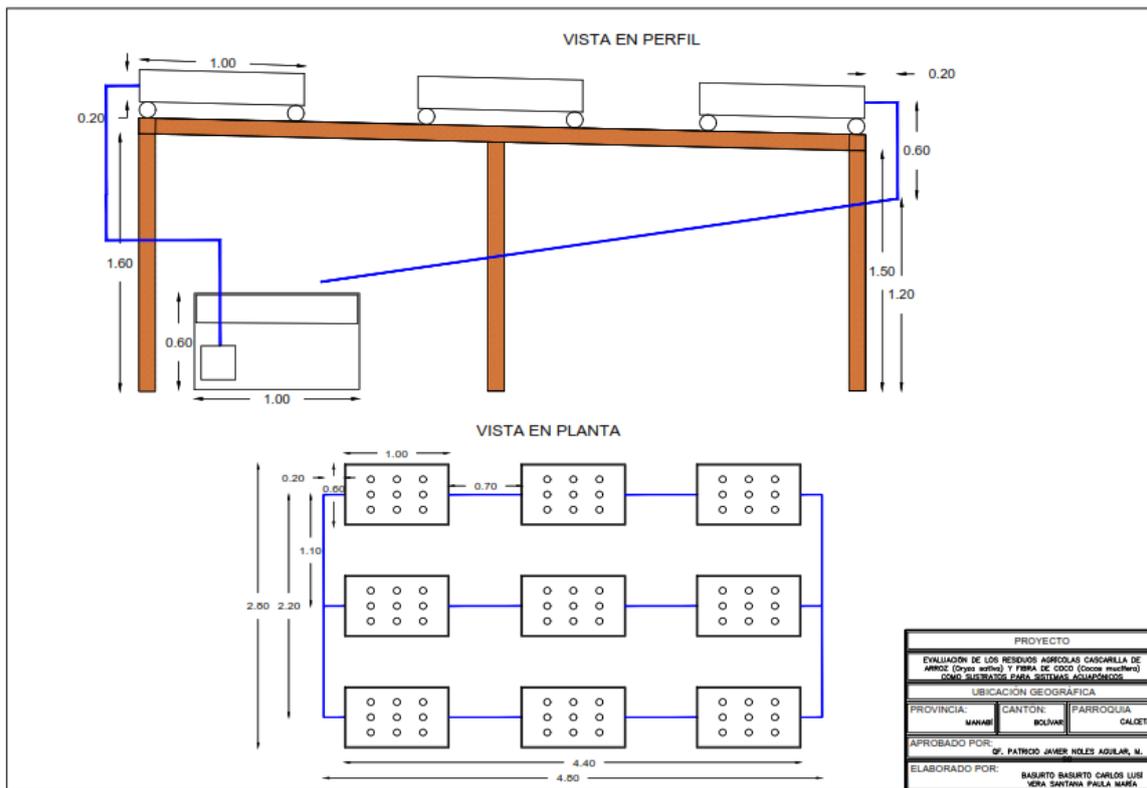
- Romero, V., Rosado, G., Sablón, N., y Burbano L. (2020). Análisis de la cadena agroalimentaria del coco (*Cocos nucifera*) en la de Manabí, Ecuador. La Técnica: *Revista de las Agrociencias* ISSN 2477-8982. No 24. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/download/2345/3149/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20coco%20en,%3B%20Pederuales%2C%20Rocafuerte%20y%20Portoviejo>.
- Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación, (2016). Estudio de desarrollo y producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista AquaTIC*. <http://revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/18/12>
- Secretaría Técnica Planifica Ecuador. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida*. (Resolución N.º CNP-003-2017). <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2017-2021.compressed.pdf>
- Selvaranjan, K., Gamage, J., De Silva, G. y Navaratnam, S. (2021). Development of sustainable mortar using waste rice husk ash from rice mill plant: Physical and thermal properties. *Journal of Building Engineering*, 43, 102614.
- Sereviche, C., Castillo, M., y Acevedo, R. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>
- Sierra, C y Maroso, J. (2019). Estrategias de manejo para mejorar la producción piscícola en un sistema de jaulas flotantes con Tilapia roja *Oreochromis sp*, en Montería, Córdoba. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle. Ciencia Unisalle]. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1461&context=zootecnia>
- Sierra, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. Universidad de Sucre. <https://pdfs.semanticscholar.org/640e/26eec51fc43a8cc5dba67ced0d423ecc941a.pdf>
- Sigler, A., y Bauder, J. (s.f.). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf
- Silva, J., Mendes, J., Costa, R., Oliveira, A., Braga, M., & Mesquita, R. (2021). Development of soybean plants using a substrate based on green coconut fiber. *Agronomía Colombiana*, 39(1), 47-58.
- Simón, E. y Trelles, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *REBIOL*, 34(2), 60-72.

- Sistema Nacional de Información. (2012). Memoria técnica cantón Portoviejo. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25 000. Componente 4: Sistemas productivos. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/MANABI/PORTOVIEJO/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_portoviejo_sistemas_productivos.pdf
- Sistema Nacional de Información. (2012). Memoria técnica cantón Rocafuerte. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25 000. Componente 4: Sistemas productivos. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/MANABI/ROCAFUERTE/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_rocafuerte_sistemas_productivos.pdf
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (589), 1
- Sotomayor, C. (2016). Análisis de la dinámica del oxígeno y el amonio en un sistema de recirculación con agua de mar, para el cultivo experimental de peces. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1930/M12-S68-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tapia, C. (2018). *Rediseño de reactores acuapónicos unifamiliares para el autoconsumo*. [tesis pregrado, Universidad Internacional SEK Ecuador]. Repositorio UISEK. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3090/1/TESIS%20Final%20corregida%20%20ACUAPONIA%20TAPIA%202018.pdf>
- Terry, E., Falcón, A., Ruiz, J., Carrillo, Y., y Morales, H. (2017). Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax. *Cultrop vol.38 no.1*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000100019&script=sci_arttext&tIng=pt
- Tyson, R., Simonne, E., Treadwell, D., White, J. y Simonne, A. (2008). Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. *HortScience*, 43(3), 719-724.
- Valverde, V., Sarria, B., y Monteagudo, J. (2007). Análisis comparativo de las características físico químicas de la cascarilla de arroz. *Revista Scientia et Technic*, (37). <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4055/2213>

- Vega, R., Zamorano, J., Encina, F. y Mardones, A. (2015). Efecto del calcio sobre la toxicidad aguda de aluminio en alevines de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) expuestos en aguas de diferente pH. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* vol.43 no.2. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-560X2015000200010&script=sci_arttext&tlng=e
- Villalobos, S. y Gonzáles, E. (2016). Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en sistema de acuaponía. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.7 no.5. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000500983
- Villegas y Vera. (2007). Elaboración de módulos estructurales a base de fibra de estopa de coco para viviendas de bajo costo. [tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1650>
- Vinza, S. (2012). Propuesta para la aplicación del método de Costeo por actividades ABC (Activity Based Costing) de la industria “Gráficas Olmedo” de la ciudad de Quito. [Tesis de pregrado, Universidad Central Del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/165/1/T-UCE-0005-20.pdf>
- Yep, B. y Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges—A review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1586-1599.
- Zuluaga, N. y Martínez, R. (2017). Capacidad de absorción de amonio de plantas acuáticas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos. *Jóvenes en la Ciencia*. Vol. 3 no. 2 <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1685>

ANEXOS

Anexo 1. Esquema del prototipo del sistema acuapónico en 2D.



Anexo 2. Construcción del sistema acuapónico.



Anexo 3. Desarrollo de las plantulas de hortalizas (lechuga, tomate y pepino).



Anexo 4. Lavado del sustrato.



Anexo 5. Pesado del sustrato.



Anexo 6. Plantas en desarrollo sobre el sustrato (transplante).

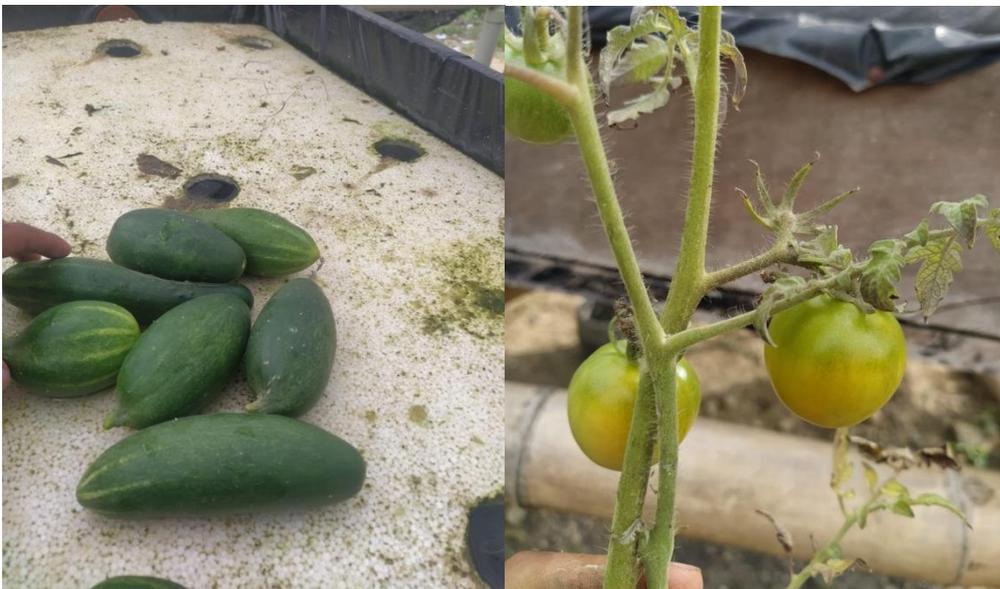


Anexo 7. Alevines en el sistema.



Anexo 8. Medición de parámetros de calidad en el agua del sistema acuapónico.



Anexo 9. Medición de parámetros de calidad en plantas.

Anexo 10. Supervivencia de las plantas de acuerdo a los tratamientos y sus réplicas.

Supervivencia (%)			
Tratamientos	Tipos de hortalizas		
	Pepino	Lechuga	Tomate
T ₁	78%	89%	78%
T ₂	89%	89%	78%
T ₃	100%	100%	100%

Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

Anexo 11. Número de Hojas presentes en la Lechuga.

Número de hojas			
Tratamientos	T₁	T₂	T₃
Réplicas	42	42	45
	39	36	43
	40	42	39
	36	39	42
	35	41	40
	41	39	38
	14	40	46
	45	46	39
	--	--	40
	Promedio	36,5	40,63

Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

Anexo 12. Número de Frutos presentes en las plantas de Pepino y Tomate.

Número de frutos						
Tratamientos	T₁		T₂		T₃	
	Pepino	Tomate	Pepino	Tomate	Pepino	Tomate
Réplicas	2	2	1	3	0	2
	1	3	1	3	1	3
	1	1	1	2	1	1
	0	2	2	2	1	2
	1	3	1	3	0	3
	0	2	1	2	1	2
	1	1	0	3	2	3
	--	--	3	--	1	1
	--	--	--	--	1	3
	Promedio	0,86	2	1,25	2,57	0,89

Elaborado por: Basurto y Vera (2021)

Anexo 13. Peso y Biomasa de cada una de las hortalizas por cada tratamiento y sus diferentes réplicas.

Peso (g)									
Tratamiento	T₁			T₂			T₃		
	Pepino	Lechuga	Tomate	Pepino	Lechuga	Tomate	Pepino	Lechuga	Tomate
	105	35	107	100	43	102	98	46	95
	98	43	95	90	39	95	89	42	105
	93	41	85	91	42	90	102	40	102
Réplicas	80	36	102	95	32	101	94	41	94
	100	30	100	103	40	86	102	40	102
	75	45	88	92	39	106	96	36	126
	90	18	90	88	40	92	93	44	96
	--	41	--	102	48	--	101	37	101
	--	--	--	--	--	--	99	41	99
Promedio	91,57	36,13	95,29	95,13	40,38	96,00	97,11	40,78	102,22
Biomasa (g)									
Total	641	289	667	761	323	672	874	367	920

Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

Anexo 14. Altura de las hortalizas por cada tratamiento y sus réplicas.

Altura (cm)									
Tratamientos	T₁			T₂			T₃		
	Pepino	Lechuga	Tomate	Pepino	Lechuga	Tomate	Pepino	Lechuga	Tomate
	150	41	60	130	36	50	120	45	60
	130	55	53	125	41	65	135	36	70
	135	39	45	150	40	54	160	42	65
Réplicas	120	40	70	130	35	62	150	38	58
	140	36	65	145	45	45	125	42	66
	100	43	50	160	41	75	145	40	87
	135	20	48	110	35	55	128	46	65
	--	46	--	140	48	--	135	39	74
	--	--	--	--	--	--	130	41	65
Promedio	130	40	56	136	40	58	136	41	68

Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

Anexo 15. Tasa de Crecimiento de las hortalizas por tratamiento y sus réplicas.

Tasa de crecimiento (cm/día)									
Tratamiento	T ₁			T ₂			T ₃		
	Pepino	Lechuga	Tomate	Pepino	Lechuga	Tomate	Pepino	Lechuga	Tomate
Réplicas	4,06	0,82	0,75	3,47	0,70	0,62	3,18	0,91	0,75
	3,47	1,14	0,66	3,32	0,82	0,82	3,62	0,70	0,89
	3,62	0,77	0,55	4,06	0,80	0,67	4,35	0,84	0,82
	3,18	0,80	0,89	3,47	0,68	0,78	4,06	0,75	0,73
	3,76	0,70	0,82	3,91	0,91	0,55	3,32	0,84	0,84
	2,59	0,86	0,62	4,35	0,82	0,96	3,91	0,80	1,12
	3,62	0,34	0,59	2,88	0,68	0,68	3,41	0,93	0,82
	--	0,93	--	3,76	0,98	--	3,62	0,77	0,95
	--	--	--	--	--	--	3,47	0,82	0,82
	Promedio	3,47	0,80	0,70	3,65	0,80	0,73	3,66	0,82

Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

Anexo 16. Tasa Específica de Crecimiento de las hortalizas por tratamiento y sus réplicas.

Tasa específico de crecimiento (%)									
Tratamiento	T ₁			T ₂			T ₃		
	Pepino	Lechuga	Tomate	Pepino	Lechuga	Tomate	Pepino	Lechuga	Tomate
Réplicas	7,00	4,78	3,40	7,00	4,48	3,15	6,77	4,99	3,40
	7,00	5,44	3,23	6,89	4,78	3,51	7,11	4,48	3,61
	7,00	4,66	3,00	7,42	4,72	3,25	7,61	4,83	3,51
	6,00	4,72	3,61	7,00	4,42	3,44	7,42	4,60	3,35
	7,00	4,48	3,51	7,32	4,99	3,00	6,89	4,83	3,53
	6,00	4,89	3,15	7,61	4,78	3,70	7,32	4,72	3,91
	7,00	3,15	3,09	6,51	4,42	3,28	6,96	5,04	3,51
	--	5,04	--	7,22	5,14	--	7,11	4,66	3,69
	--	--	--	--	--	--	7,00	4,78	3,51
	Promedio	6,71	4,65	3,28	7,12	4,72	3,33	7,13	4,77

Elaborado por: Basurto y Vera (2021).

Anexo 17. Prueba de normalidad de hortalizas.

Parámetros evaluados	Tratamientos	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Supervivencia ^b	T1	0,385	3	.	0,750	3	0,000
	T2	0,385	3	.	0,750	3	0,000
Hojas	T1	0,313	8	0,020	0,738	8	0,006
	T2	0,194	8	0,200*	0,960	8	0,810
	T3	0,168	8	0,200*	0,929	8	0,503
Frutos	T1	0,248	14	0,020	0,893	14	0,088
	T2	0,218	14	0,069	0,875	14	0,049
	T3	0,213	14	0,085	0,893	14	0,090
Altura	T1	0,214	21	0,013	0,846	21	0,004
	T2	0,231	21	0,005	0,821	21	0,001
	T3	0,230	21	0,005	0,854	21	0,005
Peso	T1	0,216	21	0,012	0,849	21	0,004
	T2	0,302	21	0,000	0,772	21	0,000
	T3	0,290	21	0,000	0,798	21	0,001
Biomasa	T1	0,363	3	.	0,801	3	0,118
	T2	0,313	3	.	0,895	3	0,369
	T3	0,358	3	.	0,812	3	0,143
Tasa de crecimiento	T1	0,331	21	0,000	0,746	21	0,000
	T2	0,368	21	0,000	0,716	21	0,000
	T3	0,350	21	0,000	0,705	21	0,000
Tasa específica de crecimiento	T1	0,175	21	0,093	0,868	21	0,009
	T2	0,181	21	0,072	0,876	21	0,012
	T3	0,198	21	0,031	0,860	21	0,006

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

b. Supervivencia plantas es constante cuando Tratamientos = T₃. Se ha omitido.

Anexo 18. Prueba de homogeneidad de varianzas para los parámetros evaluados en las hortalizas.

Parámetros evaluados	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
Supervivencia	8,000	2	6	0,020
Hojas	1,981	2	21	0,163
Frutos	0,099	2	39	0,906
Altura	0,064	2	60	0,938
Peso	0,055	2	60	0,946
Biomasa	0,582	2	6	0,587
Tasa de crecimiento	0,094	2	60	0,911
Tasa específica de crecimiento	0,076	2	60	0,927

Anexo 19. Comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey para los parámetros evaluados en las hortalizas.

Supervivencia

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-3,66667	4,23390	0,679	-16,6574	9,3241
	T3	-18,33333*	4,23390	0,012	-31,3241	-5,3426
T2	T1	3,66667	4,23390	0,679	-9,3241	16,6574
	T3	-14,66667*	4,23390	0,031	-27,6574	-1,6759
T3	T1	18,33333*	4,23390	0,012	5,3426	31,3241
	T2	14,66667*	4,23390	0,031	1,6759	27,6574

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Hojas

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-4,12500	3,06551	0,387	-11,8518	3,6018
	T3	-6,25000	3,06551	0,128	-13,9768	1,4768
T2	T1	4,12500	3,06551	0,387	-3,6018	11,8518
	T3	-2,12500	3,06551	0,770	-9,8518	5,6018
T3	T1	6,25000	3,06551	0,128	-1,4768	13,9768
	T2	2,12500	3,06551	0,770	-5,6018	9,8518

Frutos

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-0,35714	0,36921	0,602	-1,2567	0,5424
	T3	-0,14286	0,36921	0,921	-1,0424	0,7567
T2	T1	0,35714	0,36921	0,602	-0,5424	1,2567
	T3	0,21429	0,36921	0,831	-0,6852	1,1138
T3	T1	0,14286	0,36921	0,921	-0,7567	1,0424
	T2	-0,21429	0,36921	0,831	-1,1138	0,6852

Altura

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-2,57143	13,29029	0,980	-34,5109	29,3680
	T3	-7,04762	13,29029	0,857	-38,9871	24,8918
T2	T1	2,57143	13,29029	0,980	-29,3680	34,5109
	T3	-4,47619	13,29029	0,939	-36,4156	27,4633
T3	T1	7,04762	13,29029	0,857	-24,8918	38,9871
	T2	4,47619	13,29029	0,939	-27,4633	36,4156

Peso

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-2,38095	8,85488	0,961	-23,6611	18,8992
	T3	-6,04762	8,85488	0,774	-27,3278	15,2326
T2	T1	2,38095	8,85488	0,961	-18,8992	23,6611
	T3	-3,66667	8,85488	0,910	-24,9469	17,6135
T3	T1	6,04762	8,85488	0,774	-15,2326	27,3278
	T2	3,66667	8,85488	0,910	-17,6135	24,9469

Biomasa

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-53,00000	206,73870	0,965	-687,3311	581,3311
	T3	-188,00000	206,73870	0,655	-822,3311	446,3311
T2	T1	53,00000	206,73870	0,965	-581,3311	687,3311
	T3	-135,00000	206,73870	0,798	-769,3311	499,3311
T3	T1	188,00000	206,73870	0,655	-446,3311	822,3311
	T2	135,00000	206,73870	0,798	-499,3311	769,3311

Tasa de crecimiento

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-0,06381	0,43010	0,988	-1,0974	0,9698
	T3	-0,14190	0,43010	0,942	-1,1755	0,8917
T2	T1	0,06381	0,43010	0,988	-0,9698	1,0974
	T3	-0,07810	0,43010	0,982	-1,1117	0,9555
T3	T1	0,14190	0,43010	0,942	-0,8917	1,1755
	T2	0,07810	0,43010	0,982	-0,9555	1,1117

Tasa específica de crecimiento

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-0,16952	0,48390	0,935	-1,3324	0,9934
	T3	-0,29905	0,48390	0,811	-1,4620	0,8639
T2	T1	0,16952	0,48390	0,935	-0,9934	1,3324
	T3	-0,12952	0,48390	0,961	-1,2924	1,0334
T3	T1	0,29905	0,48390	0,811	-0,8639	1,4620
	T2	0,12952	0,48390	0,961	-1,0334	1,2924

Anexo 20. Prueba de normalidad aplicada a los parámetros evaluados peces.

Parámetros evaluados	Tanques	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Talla	Tanque 1	0,235	15	0,025	0,902	15	0,104
	Tanque 2	0,225	17	0,022	0,901	17	0,070
Peso	Tanque 1	0,127	15	0,200*	0,959	15	0,681
	Tanque 2	0,181	17	0,140	0,956	17	0,549
GP (g)	Tanque 1	0,127	15	0,200*	0,959	15	0,681
	Tanque 2	0,181	17	0,140	0,956	17	0,549
GP (%)	Tanque 1	0,134	15	0,200*	0,939	15	0,375
	Tanque 2	0,260	17	0,003	0,875	17	0,027
TCI	Tanque 1	0,083	15	0,200*	0,985	15	0,992
	Tanque 2	0,201	17	0,066	0,936	17	0,274

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Anexo 21. Prueba de Levene de calidad de varianzas de los parámetros evaluados en los peces.

Parámetros evaluados	Medidas	F	Sig.
Talla	cm	0,192	0,665
Peso	g	0,695	0,411
GP	g	0,695	0,411
GP	%	0,381	0,542
TCI	%	1,110	0,301

Anexo 22. Resumen de los análisis de laboratorio para los parámetros de calidad del agua medidos durante abril del 2021.

Tipo de análisis	Parámetro	U.	Resultados de las muestras de agua en el mes de abril 2021								Media
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
Químico	Fosfato	mg/L	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25	1,00	0,25
	Nitrato	mg/L	0,00	5,00	10,00	5,00	5,00	10,00	5,00	20,00	7,50
	Nitrito	mg/L	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25	1,00	0,25
	Amonio	mg/L	0,00	0,25	0,25	0,00	0,00	0,25	0,25	1,00	0,25
	pH	mg/L	7,00	6,50	7,00	6,50	6,00	6,500	6,50	5,00	6,38
Físico	Oxígeno	mg/L	7,00	7,00	7,00	7,50	6,50	7,00	7,00	6,50	6,94

Anexo 23. Resumen de los análisis de laboratorio para los parámetros de calidad del agua medidos durante mayo del 2021.

Tipo de análisis	Parámetro	U.	Resultados de las muestras de agua en el mes de mayo 2021								Media
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
Químico	Fosfato	mg/L	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,00	0,25	0,28
	Nitrato	mg/L	10,00	5,00	5,00	10,00	5,00	5,00	0,00	5,00	5,63
	Nitrito	mg/L	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,00	0,25	0,28
	Amonio	mg/L	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,00	0,25	0,28
	pH	mg/L	6,00	7,00	6,50	7,00	6,50	6,50	6,50	6,00	6,50
Físico	Oxígeno	mg/L	6,50	5,00	7,50	7,50	6,50	7,00	7,00	6,50	6,69

Anexo 24. Resumen de los análisis de laboratorio para los parámetros de calidad del agua medidos durante junio del 2021.

Tipo de análisis	Parámetros	Unidad	Resultados de las muestras de agua en el mes de junio					Media
			M1	M2	M3	M4	M5	
Químico	Fosfato	mg/L	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,45
	Nitrato	mg/L	5,00	10,00	5,00	5,00	10,00	7,00
	Nitrito	mg/L	0,25	0,50	0,25	0,50	0,50	0,40
	Amonio	mg/L	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,45
	pH	mg/L	6,50	6,00	6,00	6,50	6,00	6,20
Físico	Oxígeno	mg/L	6,00	7,50	7,00	7,00	6,50	6,80

Anexo 25. Detalle de la estimación del costo de egreso anual del sistema acuapónico de producción de hortalizas.

Categoría	Detalle	Cant	Unidad de medida	Costo U (USD)	Costo T (USD)
	Tubos PVC 2"	4	U	12,00	48,00
	Tanques	2	U	105,00	210,00
	Cañas guadúa	5	U	5,00	25,00
	Codos 2"	5	U	0,80	4,00
	Uniones en T de 2"	2	U	0,90	1,80
	Uniones simples	15	U	0,90	13,50
	Calipega	3	U	2,00	6,00
	Tablas	10	U	3,00	30,00
	Planchas de espuma Flex	3	U	4,00	12,00
Mp	Plástico	10	m	2,00	20,00
	Clavos de 2" y 3"	1	lb	2,00	2,00
	Bomba sumergible	2	U	52,00	104,00
	Oxigenadores	2	U	20,00	40,00
	Sustratos	12	kg	0,00	0,00
	Alimento balanceado	200	kg	0,65	130,00
	Rollo alambre	1	U	5,00	5,00
	Llaves de paso	3	U	2,50	7,50
	Vasos	150	U	0,01	1,50
	Caja de tachuelas	1	U	2,50	2,50
Mod	Jornal	7	día	10,00	70,00
	Sobres de semillas	6	U	1,50	9,00
	Alevines de tilapia	160	U	0,05	8,00
Gp	Transporte	2	flete	10,00	20,00
	Atomizador	1	U	2,00	2,00
	KIT de mantenimiento	1	U	10,00	10,00
	Energía eléctrica	12	mes	4,00	48,00
	Total				829,80

Anexo 26. Detalle de las proyecciones del ingreso anual del sistema acuapónico experimental.

Tipo de hortaliza	Tratamientos	Detalle	Cant	Unidad de medida	Costo U (USD)	Costo T (USD)
Lechuga	T ₁	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	864,00	U	1,20	1036,80
		Total				1322,80
	T ₂	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	864,00	U	1,20	1036,80
		Total				1322,80
	T ₃	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	972,00	U	1,60	1555,20
		Total				1840,92
Tomate	T ₁	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	504,00	U	0,20	100,80
		Total				386,52
	T ₂	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	648,00	U	0,20	129,60
		Total				415,32
	T ₃	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	720,00	U	0,35	252,00
		Total				537,72
Pepino	T ₁	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	216,00	U	0,25	54,00
		Total				339,72
	T ₂	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	360,00	U	0,25	135,00
		Total				375,72
	T ₃	Peces prod. Tanque 1	29,76	lb	4,50	133,93
		Peces prod. Tanque 2	33,73	lb	4,50	151,79
		Hortalizas prod.	288,00	U	0,35	100,80
		Total				386,52