



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

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ
(*Oryza sativa*) Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)
COMO SUSTRATO PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS**

AUTORES:

MAURICIO ANDRÉS FARÍAS MERA

ABAD JHOAN LEONES FALCONES

TUTOR:

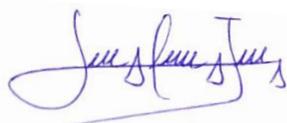
BLGO. JHONNY MANUEL NAVARRETE ÁLAVA Mg.

CALCETA, JULIO DE 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **ABAD JHOAN LEONES FALCONES**, con cédula de ciudadanía 1314097096 y **MAURICIO ANDRES FARIAS MERA** con cédula de ciudadanía 1313115352, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*) Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*) COMO SUSTRATO PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS** es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



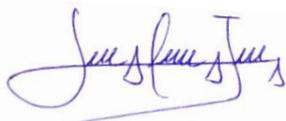
ABAD JHOAN LEONES FALCONES
CC: 1314097096



MAURICIO ANDRES FARIAS MERA
CC: 1313115352

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **ABAD JHOAN LEONES FALCONES** con cédula de ciudadanía 1314097096 y **MAURICIO ANDRES FARIAS MERA** con cédula de ciudadanía 1313115352, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*) Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*) COMO SUSTRATO PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



ABAD JHOAN LEONES FALCONES
CC: 1314097096



MAURICIO ANDRES FARIAS MERA
CC: 1313115352

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

BLGO. JHONNY MANUEL NAVARRETE ÁLAVA Mg, con cédula 1705254041 certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*) Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*) COMO SUSTRATO PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS, que ha sido desarrollado por Abad Jhoan Leones Falcones Y Mauricio Andrés Farias Mera, previo a la obtención del título de INGENIERO AMBIENTAL, de acuerdo al REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

BLGO. JHONNY MANUEL NAVARRETE ÁLAVA Mg.

CC:1705254041

TUTOR

CERTIFICACIÓN DEL COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Yo, José Miguel Giler Molina, Coordinador del Grupo de investigación Grupo de Investigación de Recursos Naturales, Biodiversidad y Desarrollo Sostenible (GIRBDS). certifico que las estudiantes, **MAURICIO ANDRÉS FARÍAS MERA y ABAD JHOAN LEONES FALCONES**, realizaron su Trabajo de Integración Curricular titulado: **“EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) COMO SUSTRATO PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS”**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**. Este trabajo se ejecutó como parte de una actividad del programa de investigación titulado **“PROGRAMA DE MANEJO INTEGRAL AGROPECUARIO, AGROINDUSTRIAL Y DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 4-PACÍFICO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE”**, registrado en la Secretaría Nacional de Planificación con CUP 91880000.0000.386887.

Ing. José Miguel Giler Molina, M. Sc.
COORDINADOR DEL GRUPO DE
INVESTIGACIÓN GIRBDS
CC: 1310656762

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO el Trabajo de Integración Curricular titulado: EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*) Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*) COMO SUSTRATO PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS, que ha sido desarrollado por ABAD JHOAN LEONES FALCONES y MAURICIO ANDRES FARIAS MERA, previo a la obtención del título de INGENIERO AMBIENTAL, de acuerdo al REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. José Miguel Giler Molina, MsC.
CC: 1310656762
PRESIDENTE DE TRIBUNAL

Ing. Joffre Andrade Candell,
Mg.
CC: 1311651390
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Ricardo Delgado
Villafuerte, Mg.
CC: 1311115602
MIEMBRO 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.

Para nuestras madres y padres que nos apoyaron en nuestra carrera universitaria y ese amor incondicional que nos brindan día a día junto a nuestros seres queridos.

A nuestro tutor BLGO. Jhonny Manuel Navarrete Álava, que nos ha estado guiando y a la vez 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.

MAURICIO ANDRES FARIAS MERA

ABAD JHOAN LEONES FALCONES

DEDICATORIA

Dedico principalmente a Dios por haberme dado fuerzas para seguir adelante en los momentos más difíciles y siempre guiándome por el camino correcto para cumplir todas mis metas.

A mi padre que desde el cielo me está dando fuerzas para seguir en pie, especialmente a mi madre por estar siempre y apoyarme en los momentos más duros ya que gracias a ella estoy logrando una meta más, a mis hermanas por siempre brindarme ese apoyo incondicional y animarme a seguir en pie en toda mi carrera universitaria, a mi tía Inés por darme ese ánimo y esos consejos que sirvieron de mucho para no rendirme durante todo el periodo de mi vida universitaria.

A mis profesores quienes no han brindado sus conocimientos durante el transcurso de toda la carrera universitaria.

MAURICIO A. FARIAS MERA

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios por haberme permitido estar con salud y vida hasta este momento especial de mi carrera, ya que he el siempre ha sido mi sustento y pilar fundamental en todas mis etapas.

A mis padres Abad y Fernanda por ser siempre los que me llenaban de fortaleza, perseverancia y amor. Muchos de mis logros se los debo a ustedes ya que me motivaron constantemente para cumplir mis anhelos.

Para mis abuelos que, aunque algunos de ellos ya no se encuentran físicamente con nosotros, siempre sé que desde el cielo están brindándome su protección en todo momento.

A mis familiares más cercanos que estuvieron en el proceso en especial a mis hermanos, tíos y primos, que no me dejaron desvanecer y fueron un apoyo importante en este proceso.

A mi novia Jorgelina quien desde el inicio de mi carrera observo mi potencial y no dejo de creer en mí, por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles cuando lo requerí siempre estuvo ahí.

A los docentes que me impartieron sus conocimientos durante mi etapa universitaria. Además, al personal de trabajadores del área CIIDEA que me brindaron su mano como apoyo al momento de ejecutar mi tesis.

ABAD J. LEONES FALCONES

CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
CERTIFICACIÓN DEL COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN... v	
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
CONTENIDO GENERAL.....	x
CONTENIDO DE TABLAS	xiii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
1 CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. IDEA A DEFENDER	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. ACUAPONÍA.....	6
2.1.1. SISTEMAS ACUAPÓNICOS.....	6
2.2. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS.....	7
2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS .	7
2.4 ESPECIES ACUÁTICAS PRESENTE EN LOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS	9
2.4.1. CHAME.....	9
2.5 VARIABLES FÍSICAS-QUÍMICAS DEL AGUA EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS	10
2.5.1 PH.....	10
2.5.2 NITRATOS	11
2.5.3 FOSFATOS	11
2.5.4 AMONIO	11

2.5.5	CALCIO	11
2.5.6	OXIGENO DISUELTO.....	12
2.6	RESIDUOS AGRÍCOLAS	12
2.7	CASCARILLA DE ARROZ.....	13
2.7.1	COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICAS.....	14
2.8.	BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	14
2.8.1	COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICAS.....	15
2.9	SUSTRATOS	16
2.10	CULTIVO DE HORTALIZAS EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS	16
2.10.1.	LECHUGA.....	16
2.10.2.	TOMATE	17
2.10.3.	PIMIENTO.....	17
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....		19
3.1.	UBICACIÓN	19
3.2.	DURACIÓN	19
3.3.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	20
3.3.1	MÉTODO.....	20
3.3.2	TÉCNICAS	20
3.4.	VARIABLES EN ESTUDIO.....	20
3.4.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	20
3.4.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	20
3.4.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DE ESTUDIO.....	21
3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL	22
3.6.	MANEJO DE EXPERIMENTO.....	23
3.6.1.	FASE I. DIAGNÓSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS DE RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (<i>ORYZA SATIVA</i>) Y CAÑA DE AZÚCAR (<i>ACCHARUM OFFICINARUM</i>) PARA APROVECHARLO COMO SUSTRATO.....	23
3.6.2	FASE II. EFICIENCIA DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CASCARILLA DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i>) Y FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) COMO SUSTRATOS	23
3.6.3	FASE III. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CASCARILLA DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i>) Y FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) COMO SUSTRATOS	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		27
4.1.	Diagnóstico de las características bromatológicas de residuos agrícolas cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) para aprovecharlo como sustrato.....	27

4.2. Determinación de la eficiencia de los residuos agrícolas cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) como sustratos para optimizar el rendimiento de los sistemas acuapónicos.	35
4.3. Cálculo de costos y beneficios de implementación de residuos agrícolas cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) como sustratos en sistemas acuapónicos para uso comercial.	53
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS.....	67

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1. Parámetros para la óptima producción del chame	26
Tabla 2.2. Composición física del bagazo de caña de azúcar	31
Tabla 2.3. Composición química del bagazo de caña de azúcar	32
Tabla 3.1. Operacionalización de variable de estudio	37
Tabla 3.2. Dosis de Residuos Agrícolas a utilizar en la experimentación	38
Tabla 3.3. Diseño del prototipo.	40
Tabla 3.4. Ecuaciones para la medición de la eficiencia adaptación y crecimiento de plantas	41
Tabla 3.5. Ecuación para la medición de la eficiencia adaptación y crecimiento de peces	41
Tabla 3.6. Caracterización físico-química	42
Tabla 4.1. Propiedades bromatológicas de la Cascarilla de Arroz.	45
Tabla 4.2. Propiedades bioquímicas de la Cascarilla de Arroz.	45
Tabla 4.3. Propiedades físicas de la Cascarilla de Arroz.	46
Tabla 4.4. Composición química de la Caña de Azúcar.	49
Tabla 4.5. Composición bromatológica del bagazo de la caña de azúcar.	49
Tabla 4.6. Análisis de ANOVA.	60
Tabla 4.7. Prueba de Tukey.	61
Tabla 4.8. Supervivencia de los peces.	62
Tabla 4.9. Prueba t respecto a la supervivencia de los peces.	64
Tabla 4. 10. Estimación de egresos, ingresos y ganancia anual del sistema acuapónico de producción de lechuga en función de los tratamientos estudiados.	68
Tabla 4.11.TIR y VAN aplicado a los tratamientos estudiados en la implementación del sistema acuapónico de producción de hortalizas (lechugas).	69

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1. Ubicación geográfica de CIIDEA	19
Figura 4.1. Generación de Cascarilla de Arroz en Provincias de Ecuador.	28
Figura 4.2. Generación de Cascarilla de Arroz en cantones de Manabí (Campaña 2022-2023).	29
Figura 4.3. Generación de bagazo de caña de azúcar en Provincias del Ecuador.	32
Figura 4.4. Esquema del prototipo del sistema acuapónico en 3D.	36
Figura 4.5. Supervivencia de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.	38
Figura 4.6. N° de hojas de las hortalizas respecto a los tratamientos 1,2 y 3.	39
Figura 4.7. Peso y biomasa de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.	40
Figura 4.8. Altura de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.	41
Figura 4.9. Tasa de crecimiento de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3	42
Figura 4.10. Tasa de crecimiento específico de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.	43
Figura 4.11. Análisis de Fosfato del agua.	49
Figura 4.12. Análisis de Nitratos de agua.	50
Figura 4.13. Análisis de Nitrito de agua.	51
Figura 4.14. Análisis del pH de agua.	51
Figura 4.15. Análisis del oxígeno disuelto en agua.	52

RESUMEN

Los desechos generados a partir de residuos agrícolas se han convertido en una preocupación para la sociedad y el ambiente, esto debido que no son aprovechados correctamente y su producción aumenta de manera exponencial con referencia a la satisfacción de las necesidades de la población. La investigación tiene como objetivo evaluar los residuos agrícolas de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustratos para mejorar el rendimiento de la producción de cultivos en sistemas acuapónicos. Se ejecutó en el año 2023, en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Se aplica un diseño de Bloque Completamente al Azar, con tres tratamientos y tres repeticiones con un total de nueve unidades experimentales que se evalúan con base a la dosis de sustrato aplicada en cada una de las mismas. Se emplean los métodos bibliográfico, deductivo y experimental, con la aplicación de las técnicas de observación y análisis de laboratorio y de estadística inferencial. Se espera como resultado el diagnóstico de las características bromatológicas de residuos agrícolas cascarilla de arroz y caña de azúcar para aprovecharlo como sustrato, la determinación de la eficiencia de los residuos agrícolas de estos dos productos, como sustratos para optimizar el rendimiento de los sistemas acuapónicos y cálculo de los costos y beneficios de implementación de residuos agrícolas de estos dos productos, como sustratos en sistemas acuapónicos para uso comercial

PALABRAS CLAVE

Residuos agrícolas, Sustrato, Acuaponía, Cascarilla de arroz, Bagazo de caña de azúcar.

ABSTRACT

Waste generated from agricultural residues has become a concern for society and the environment, as it is not properly utilized and its production increases exponentially to meet the needs of the population. The research aims to evaluate agricultural residues of rice husk (*Oryza sativa*) and sugarcane (*Saccharum officinarum*) as substrates to improve crop yield in aquaponic systems. It was carried out in 2023, at Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. A Completely Randomized Block Design was applied, with three treatments and three repetitions, totaling nine experimental units evaluated based on the substrate dose applied in each. Bibliographic, deductive, and experimental methods were used, with the application of observation, laboratory analysis, and inferential statistics techniques. The expected outcomes include the diagnosis of the bromatological characteristics of rice husk and sugarcane agricultural residues for their use as substrates, the determination of the efficiency of these agricultural residues as substrates to optimize the performance of aquaponic systems, and the calculation of costs and benefits of implementing these agricultural residues as substrates in aquaponic systems for commercial use.

KEY WORDS

Agricultural waste, Substrate, Aquaponics, Rice husk, Sugar cane bagasse.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la sociedad presenta un estado de preocupación por la generación de desechos, puesto que, existe una disminución de los recursos disponibles para el consumo humano. De hecho, como consecuencia del crecimiento poblacional la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2011) expresa lo siguiente “la población mundial para el año de 1950 era aproximadamente de 2600 millones de personas, y para el 2015, 65 años después, este número se superó casi 3 veces llegando a 7300 millones de habitantes” (p.1)., provocando una restricción para el acceso a los recursos.

Ahora bien, a nivel mundial se forman grandes toneladas de residuos agrícolas que son desechados y actúan como foco de contaminación ambiental; si bien es cierto en muy pocos lugares se les da un uso productivo y se les asigna un valor adicional al convertirse en una fuente de energía en el sistema productivo correspondiente, en muchos casos se producen elevados niveles de desorden según señalan. (Castro, Contreras y Rodríguez, 2020)

Ecuador es considerado un país altamente agrícola, puesto que, la agricultura es una de las fuentes de ingresos más importante en su economía, generando así un 9,24% del PIB en el 2018. Los productos que se cultivan mayormente son el plátano, arroz, caña de azúcar, flores, maíz, cacao, etc. Por tal razón es que, al ser un país agrícola, cuenta con una gran variedad de especies de biomasa, generándose una gran cantidad de residuos agrícolas. La mayor parte de esta materia orgánica es quemada o desechada en botaderos a cielo abierto, por lo que, el manejo inadecuado que se les ha dado y la falta de conciencia ambiental ha provocado impactos negativos en el medio ambiente (Salgado, 2020).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2018) en conjunto con el Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2020), el cultivo de arroz es el cuarto con mayor producción al nivel del Ecuador, cosechándose alrededor de 1,6 millones de toneladas por año que generan alrededor del 20%

de cascarilla (Ávila,2019). Este es un residuo que gracias a sus características abrasivas posee un alto contenido de sílice, del 18-20% y 15-20%, respectivamente (Syarif et al., 2016), no obstante, cabe recalcar que no es empleada en la alimentación de animales, sino que son quemadas de manera descontrolada o depositadas en botaderos.

En relación al contexto anterior, es evidente que la eliminación de estos desechos representa un aumento en la contaminación ambiental ya que el arroz es una de las plantas más cultivadas y por ende se generan toneladas de residuos que no cuentan una disposición final adecuada. En pocas palabras, no se da un aprovechamiento eficiente a estos residuos tanto el proceso agroindustrial como en la post cosecha, por ello se le considera de poco valor, dado que solo se utiliza como combustible sólido, cama para animales, material para abonos y para la construcción (Costa y Paranhos, 2018).

Por otro lado, Hernández et al. (2014) manifiestan que la caña de azúcar es uno de los cultivos que mayor cantidad de materia orgánica produce mediante el proceso de obtención de sus productos primarios en el central azucarero. El bagazo es uno de los principales subproductos orgánicos con alrededor del 28 a 32% de la caña molida. Pese a ello, no se emplea para generar fuentes de energía sino más bien para ocasionar daños irreversibles en el medio. Por lo general, cuando se quema la caña para el corte, se produce una contaminación del medio ambiente con diseminación de cenizas, humos y gases tóxicos, que amenazan a la población aledaña con enfermedades bronco-respiratorias, afectando la calidad de vida del hombre, las plantas y los animales. (Verdesoto, 2014).

Según Hidalgo (2017), el mal uso y uso excesivo de pesticidas, fertilizantes nitrogenados y fosfatados han causado varios problemas como: la erosión, compactación, salinización del suelo; agotamiento de nutrientes, contaminación del aire, suelo, agua y su impacto en la salud biológica. Así mismo, presentan deficiencias como la resistencia de los insectos a los pesticidas, la deforestación, el agotamiento de las aguas subterráneas y los desechos tóxicos dañinos para la salud humana y el medio ambiente.

La situación actual del sector agrícola, no es alentadora, la caída de los rendimientos y de la productividad es evidente; se requiere de nuevas alternativas productivas que ayuden a enfrentar los diferentes problemas que se han mencionado anteriormente. Ante la problemática expuesta se plantea 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 caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Ante lo expuesto, Sosa y Córdoba (2019) plantean a la acuaponía como una opción para contribuir a la producción de alimentos, optimizando el uso de los recursos naturales. De hecho, en Ecuador este sistema de cultivo tiene un escaso nivel de desarrollo; la principal razón es por el bajo nivel tecnológico en los procesos de cultivo, cosecha y post-cosecha. Los autores afirman que esta es la solución al problema de inseguridad alimentaria, dada la escasez de agua para la producción de peces y agricultura, por lo tanto, esta propuesta aportara para que las zonas áridas sean aprovechadas con este tipo de cultivos acuapónicos.

Desde la perspectiva de Silvera y Cantero (2022) concuerdan en que la acuaponía se presenta como un sistema de cultivo cerrado que combinan técnicas de acuicultura con hidroponía en una misma área de producción, sin la utilización de suelos. Convirtiéndose en una solución prometedora para la producción de alimento humano, animal y vegetal. Así mismo, estos sistemas disminuyen el uso de agroquímicos, logrando alimentos orgánicos apuntando a la tendencia nacional y mundial puesto que la población apunta a una vida más saludable y responsable con el ecosistema.

Para Alfonso y Álvarez (2022) la acuaponía es un sistema de producción muy innovador que se adapta a cualquier espacio y presupuesto disponible, tiene la posibilidad de crear economías de autoconsumo comunales o comerciales. Al mismo tiempo, conocer cuál es el mejor sustrato para la oxigenación óptima de las raíces de las plantas ayuda a obtener mejores rendimientos productivos que posteriormente se traducirá en mayores ingresos económicos disponibles.

Desde el punto de vista de Vargas (2018) manifiesta que los residuos agroindustriales previenen la contaminación al no ser dispuestos directamente en el ambiente y convertirse en productos que al ser utilizados son menos contaminantes, permiten conservar los recursos naturales así mismo, contribuyen con la economía nacional y de esta manera promueven un desarrollo sostenible.

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 el objetivo 2 “hambre cero”, el 12 “producción y consumo responsable”, el 13 “acción por el clima” y, 14 “conservación y utilización sostenible de la vida submarina” (ONU, 2018). De igual forma el Plan Nacional 2021 en su literal 11 establece el desarrollo de proyectos enfocados a incrementar la actividad agrícola con un enfoque en la conservación y mantenimiento de la fertilidad de los suelos (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

Por otra parte Castellanos (2020) considera que al diseñar de forma adecuada un sistema acuapónico va a reducir hasta un 90% el agua requerida a comparación de otros sistemas productivos, aumenta el rendimiento, reduce costos, espacio, elimina el uso de agroquímicos. Tomando en consideración lo anterior, se propone la implementación de un sistema acuapónico como una alternativa sostenible capaz de solventar las problemáticas de producción que enfrentan quienes se dedican a esta actividad, así pues, se diversifican los productos y se minimiza el impacto ambiental de los sistemas tradicionales.

Bajo este contexto la investigación se centra en la importancia de implementar sistemas acuapónicos como estrategia para solventar los problemas relacionados a la calidad de los productos de igual manera busca alcanzar rendimientos adecuados en la recuperación de suelos degradados por este tipo de prácticas convencionales. Además, permitirá investigar diferentes tipos de sustratos como la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para el progreso de la producción, y así reducir o

eliminar la mayor cantidad de residuos que existen en el ambiente como contaminantes.

La idea central radica que los residuos orgánicos se pueden aplicar tanto en el suelo como en sistemas acuapónicos, puesto que al ser utilizados como sustrato ayudan a renovar la materia orgánica además de aportar energía y nutrientes, en definitiva, pueden ser generadores de contaminación por su disposición final inadecuada o se pueden convertir en agentes mejoradores de la calidad del ambiente y, por ende, de la vida de los seres vivos, por su apropiado aprovechamiento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustratos para la optimización del rendimiento de producción de cultivos en sistemas acuapónicos.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar las características bromatológicas de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para aprovecharlo como sustrato.
- Determinar la eficiencia de los residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustratos para optimizar el rendimiento de los sistemas acuapónicos.
- Calcular costos y beneficios de implementación de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustratos en sistemas acuapónicos para uso comercial.

1.4. IDEA A DEFENDER

Al menos uno de los tratamientos con sustratos elaborados a partir de residuos agrícolas mejora la producción de sistemas acuapónicos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ACUAPONÍA

Para Villegas (2021) define la acuaponía como la combinación de un sistema de acuicultura recirculante, en otras palabras, es la unión de dos técnicas; la acuicultura (cría peces) y la hidroponía (cultivo sin suelo). El autor menciona que los desechos producidos generalmente son por especímenes los mismos que son convertidos en nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta, a esto se lo conoce como nitrificación. Además, la acuaponía puede ser económicamente más viable y productiva en situaciones donde la tierra y el agua son limitadas.

Conforme va aumentando la población, las tierras fértiles se restringen, se desgastan, también el suelo va perdiendo sus propiedades físicas-químicas, por ello es necesaria una innovación en las estrategias de producción de alimentos. Esta técnica genera diversas ventajas en lo ambiental debido a que es un proceso que se basa en el aprovechamiento de los subproductos del producto primario (Jiménez, 2016).

En Ecuador se opta por implementar la acuaponía como método de producción sostenible, debido a la interacción del cultivo de peces y plantas en un mismo procedimiento, en donde se genera un beneficio mutuo. Estos sistemas han logrado una rápida atención como vector para lograr una obtención de recursos sustentables alimenticios y combatir con la desnutrición y la pobreza, en las ciudades como en los entornos rurales (Mchunu et al., 2018).

La acuicultura es una de las excelentes técnicas ideadas y desarrolladas por el hombre para aumentar la disponibilidad de recursos alimentarios y se proyecta como una nueva alternativa para la administración de los medios acuáticos (Garrido Weber et al., 2022).

2.1.1. SISTEMAS ACUAPÓNICOS

Para Hernández et al. (2016) considera a los sistemas acuapónicos como un sistema de recirculación cerrado en la que se cultivan peces y plantas, en un medio controlado. Al momento de reutilizar el agua estas sufren transformaciones microbianas en la cual se acumulan nutrientes no tóxicos y

materia orgánica que sirven para el crecimiento de la planta, y mejora los parámetros de calidad del agua para los peces. Estos sistemas surgen como solución en la obtención de alimentos, sin deteriorar suelos ni los cuerpos de agua (López y Yáñez, 2016).

Los nutrientes disueltos en el agua son excretados directamente por los peces o generados por la descomposición microbiana de los desechos producidos por los mismos. Cabe mencionar dentro el manejo de los sistemas acuapónicos se deben considerar parámetros en la calidad del agua, algunos de los más importantes son: la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica, la alcalinidad, los sólidos disueltos totales, el calcio, los compuestos nitrogenados, el potasio y la dureza (Gómez et al., 2022).

2.2. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS

Dentro de los principales componentes de los sistemas acuapónicos tenemos el agua, los peces y las plantas, cada uno de estos cumplen un papel importante para mantener el equilibrio del sistema. Además, cabe mencionar que los microorganismos también son un componente biológico fundamental (biofiltro) para comprender el proceso de producción sostenible ya que estos son los responsables de crear un vínculo entre los componentes físicos y biológicos, por lo que son un componente fundamental para el sistema (Mercadeo, 2020).

Por otra parte Hurtado, (2019) menciona que el estanque con solución nutrientes y peces, el clarificador, las tuberías recolectoras y las bombas sumergibles también son componentes de estos sistemas. Como es un proceso natural de tamaño reducido, la calidad del agua depende de su composición química ya que afectan cada uno de los componentes en el sistema.

2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS

Quiñonez et al. (2019) asegura que la acuaponía presenta un gran número de ventajas con respecto a los cultivos realizados mediante la agricultura convencional, se pueden mencionar algunas ventajas como:

- En los sistemas acuapónicos es posible obtener un uso de mayor eficiencia, ya que la recirculación de este recurso suele ser aprovechada por los peces y plantas.
- Los desechos que generan los peces, pueden servir como nutrientes para las plantas, debido a que estas purifican el agua para que pueda continuar circulando, logrando que no se salinice el suelo a la hora de desechar el agua.
- Es posible llegar a tener un sistema de fertilizante natural, el cual es brindado por los desechos de los peces y por lo tanto no genera gastos por el uso de otros fertilizantes químicos.
- Aprovecha con eficiencia el espacio, en donde se producen verduras y peces de calidad lo cual significa el uso mínimo del suelo, a comparación de la agricultura tradicional.
- Es posible implementar un sistema acuapónico en cualquier lugar, como, por ejemplo: los centros de distribución alimenticia, mercados y supermercados, logrando así reducir los costos de transportes y al mismo tiempo facilitará la obtención de productos frescos y de mejor calidad.
- Estos peces que se producen por la acuaponía son los más saludables.

Por otra parte, Ramírez et al., (2008) menciona que la falta de estudios en los sistemas acuapónicos generan algunas desventajas, ya que es un área relativamente nueva es por eso que en la actualidad se siguen realizando pruebas para optimizar los sistemas, entre otras desventajas tenemos:

- Los costos iniciales de instalación tienden a ser muy altos, a menos que se estén reconvirtiendo estructuras existentes tal como grandes tanques.
- La concentración de oxígeno y nutrientes puede llegar a reducirse una vez alejada del tanque de peces con el agua y los nutrientes.
- En los casos de alta carga de partículas orgánicas, si así lo desea las camas podrían taparse y generar ambientes anaerobios.

- Se produce una fuerte tendencia de disminución del pH, el cual puede llegar a evitarse si se agrega al sistema de hidróxido de calcio e hidrógeno de potasio, subiendo el pH hasta un 7.
- Para ciertos organismos como caracoles y zooplancton puede existir vulnerabilidad de las raíces.
- Es necesario un nivel de captación mayor para poder hacer uso de estos sistemas.
- Necesidad de un nivel de capacitación mayor para la utilización de estos sistemas.

2.4 ESPECIES ACUÁTICAS PRESENTE EN LOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS

Son varias las especies de peces que han presentado excelentes tasas de crecimiento en unidades acuapónicas. Entre ellas: la tilapia, la carpa común, la carpa plateada, la carpa herbívora, la perca gigante, la perca de jade, el bagre, la trucha, el salmón, el bacalao de Murray y la lubina. Si bien es cierto, algunos peces son introducidos en zonas fuera de su hábitat como es el caso de la tilapia. Por otra parte, es importante conocer la normativa local ya que esta regula la importación de nuevas especies, es decir, las no autóctonas estas nunca deben liberarse a los cuerpos de aguas locales.

2.4.1. CHAME

El *Dormitator latifrons*, conocido en comúnmente como “Chame”, en el territorio ecuatoriano, este pez se distribuye desde el sur de California hasta el norte de Perú, en comparación con otras especies acuáticas cultivables, tiene la característica de sobrevivir variaciones abióticas (salinidad, temperatura) y especialmente una conversión alimenticia que le permite ganar peso en menor tiempo con respecto a otros peces (Reyes et al., 2016).

Entre sus características, se define por ser levemente comprimido, físicamente de contextura corta y robusta con una pigmentación azul verdoso oscuro, puede llegar a tener un peso aproximado de una a tres libras y una talla que va desde los 20 hasta los 30 cm de longitud. Esta especie se encuentra en humedales y

zonas de manglar cumpliendo un rol ecológico muy importante como la transformación del detritus en energía aprovechable por los diferentes niveles tróficos (Delgado y Valdez, 2021).

Según Calderón (2016) El chame (*Dormitator latifrons*) es el pez más buscado y económicamente valioso, lo que es aún más raro debido a la baja disponibilidad de agua durante la época seca. Un sistema de acuicultura en peceras puede proporcionar una fuente estable de nutrientes para las plantas hidropónicas. Del mismo modo, filtrar el agua con plantas proporciona agua limpia para los peces (Agualsaca 2014). En la tabla 1. Se muestran los parámetros adecuados para el desarrollo del chame.

Tabla 1.1. Parámetros para la óptima producción del chame

PARÁMETRO	RANGO	DETALLE
Temperatura	21° a 30°C (26°C promedio)	Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, aumentando el consumo de oxígeno.
Ph	6.4 a 9.4	Mientras más estable permanezca el pH, mejores condiciones se propiciarán para la productiva
Oxígeno disuelto	Por encima de los 4.5 mg/l	0,0– 0,3: los peces pequeños sobreviven en cortos periodos. -3, 0-4,0: los peces sobreviven, pero crecen lentamente. ->4,5: rango deseable para el crecimiento
Salinidad	14 % a 18%	
Amonio	Amonio Hasta 0.5 mg/l	
Nitrito	Nitrito Hasta 0.2 mg/l	
Nitrato	Nitrato Hasta 3 mg/l	Rango óptimo para un excelente desarrollo

Fuente: Agualsaca (2014)

2.5 VARIABLES FISICAS-QUIMICAS DEL AGUA EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS

2.5.1 PH

Indica la concentración de acidez o alcalinidad de una solución acuosa, cuando estas se encuentran en niveles alto puede llegar afectar a plantas, peces y bacterias. Un pH ideal para los sistemas acuapónicos es tener los niveles entre 6 y 7 siendo 6.5 el pH óptimo para la acuaponía. Por esta razón, se recomienda encarecidamente que mida el nivel de pH con cierta frecuencia y, cuando observe que está fuera de rango, tome medidas correctivas para devolverlo a los óptimos niveles (Hurtado, 2019).

2.5.2 NITRATOS

Son fuente de alimentos para plantas, además son compuestos solubles formados por oxígeno y nitrógeno, las cuales al tomar estos nitratos limpian el agua para ser recirculada nuevamente a los peces. Siendo el agua como principal recurso en estos sistemas, se debe controlar su calidad, ya que de ella dependerá la producción (Gómez et al., 2022).

2.5.3 FOSFATOS

Este nutriente participa en el incremento y desarrollo de las raíces de las plantas para incrementar la probabilidad de aspirar nutrientes y responsable de la formación de hojas. La existencia de fosfatos en aguas potables sugiere la probabilidad de contaminación del acuífero por aguas contaminadas o aguas residuales. Ya que el fósforo está presente en porciones subjetivamente altas en aguas residuales y aguas de riego agrícola, su presencia en valores elevados a los valores típicos, puede ser por una contaminación o infiltración de aguas residuales al yacimiento de agua potable (Rodríguez et al., 2016).

2.5.4 AMONIO

Se crea en el hígado de los peces por medio del catabolismo de aminoácidos; la más grande parte de peces mantienen los niveles de amonio bajos en su cuerpo humano por medio de su excreción directo en el agua por medio de branquias y orina. La función de los sistemas acuapónicos es buscar el equilibrio entre la producción de desperdicios nitrogenados en el sistema, la transformación de éstos a maneras aprovechables por las plantas y su implementación de parte de ellas (González y Yáñez, 2017).

2.5.5 CALCIO

Se utiliza como componente estructural tanto de las paredes como de las membranas celulares. Participa en el fortalecimiento de los tallos y contribuye al desarrollo de las raíces. Las carencias son comunes en hidroponía y siempre son evidentes en plantas en la acuaponía 89 crecimiento más reciente porque el calcio es inmóvil dentro de la planta (Somerville, 2022).

2.5.6 OXIGENO DISUELTO

Es el parámetro químico que incide en forma determinante sobre la calidad del agua, ya que, en su ausencia, los efectos que pueden llegar a producirse lo va hacer de manera más rápidas y drásticas (los peces pueden morir en horas), así como también a bajas concentraciones, puede disminuir considerablemente el proceso de nitrificación, no llegando a completarse (Jiménez, 2016).

2.6 RESIDUOS AGRÍCOLAS

Según la Organización Mundial de la Salud (2022) define a los residuos agrícolas como aquellos que son generados por las explotaciones de agricultura y ganadería, así mismo, los que provienen de la industria agroalimentaria, corchera, maderera y papelera. También se le puede considerar residuo agrícola a los derivados de las actividades de mantenimiento de bosques y montes tales como; la tala, limpieza y desbroce.

De acuerdo con Garzón, Contreras y Rodríguez (2020) clasifican los residuos en relación a su origen en los sectores de producción, “primarios o de producción de materias primas, secundarios o industriales y terciarios o de servicios” (p.43). Desde otro punto de vista los residuos agrícolas, son una fuente de materia orgánica exógena, en otras palabras, pueden regresar al suelo con objeto de ser utilizados, mejorando el desarrollo de los cultivos y aumentando la calidad del suelo. De por sí, estos poseen una función específica en el ciclo productivo de las cosechas si son utilizados de forma adecuada (Gómez et al., 2016).

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2018) considera que la contaminación del agua por prácticas agrícolas insostenibles genera una gran amenaza a la salud humana y a los ecosistemas del planeta, puesto que este es uno de los mayores productores de aguas residuales, a medida que se ha intensificado el uso de la tierra, los países han incrementado el uso de pesticidas, fertilizantes y otros insumos.

En definitiva, la forma más eficaz de prevenir la presión de los ecosistemas acuáticos y rurales es limitar la emisión de contaminantes en el origen o más bien interceptarlos antes que lleguen a los ecosistemas vulnerables. Los instrumentos tradicionales incluyen permisos de vertido de contaminantes,

evaluaciones de impacto ambiental, mejores prácticas obligatorias entre otras (Jiménez, 2016).

2.7 CASCARILLA DE ARROZ

De acuerdo con Díaz (2019) el arroz es un cereal de gran importancia para muchos países alrededor del mundo, forma parte de la familia de las Poáceas del reino vegetal. Entre las especies domesticadas de arroz para el cultivo se encuentra la *Oryza sativa* y *Oryza glaberrima*, estas plantas son nativas de la región tropical. El tamaño puede variar entre 50 cm hasta 500cm en el caso de arroz en aguas profundas.

Según Camargo e Higuera (2017), mencionan que la cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano y lo protege de microorganismos, oxígeno atmosférico, humedad y rayos UV. Dependiendo de la especie, la longitud puede variar de 5 a 11 mm. Tiene una estructura ondulada y apariencia superficial irregular, es abrasivo y en su estado natural tiene una dureza Mohs de 6; tiene una conductividad térmica de 0,0360 W/m K y tiene propiedades de aislamiento térmico.

Por otro lado, Díaz (2020) menciona que la cascarilla de arroz es un subproducto del proceso de molienda del grano maduro del arroz, además es un insumo de uso agrícola que se adquiere de separar el grano de arroz de su cáscara como sustrato posee la propiedad de retener la humedad y nutrientes como fósforo y potasio este al mezclarse con la tierra y abonos retrasa la compactación o el endurecimiento del suelo de las macetas, ayudando al desarrollo de las raíces de las plantas. Asimismo, ayuda a corregir la acidez del suelo manteniendo un buen drenaje y humedad de las plantas, pero sin encharcamientos.

Los subproductos de la industria molinera, abundantes en las zonas arroceras, también tienen propiedades beneficiosas y pueden utilizarse como sustratos hidropónicos. Entre sus principales propiedades fisicoquímicas, sabemos que es un sustrato orgánico con baja tasa de descomposición, es liviano, tiene buen drenaje y buena permeabilidad al aire. La cascarilla de arroz es el sustrato más utilizado para cultivos hidropónicos, cruda o parcialmente carbonizada. La principal desventaja de la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención

de agua, lo que dificulta su distribución uniforme (mojabilidad) cuando se utiliza como único sustrato en un lecho o banco (Lozano, 2020).

2.7.1 COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICAS

Según Valverde et al (s.f.) la cascarilla de arroz posee un alto contenido de sílice demostrado hace que su uso alimenticio en harinas para animales sea limitado. Uno de los elementos que apropiada la combustión de cascarilla de arroz es la celulosa ($C_6H_{10}O_5$) siendo el componente principal de las fibras de este subproducto agrícola.

Por su parte Rúa (2022) menciona que los rangos de análisis químico a nivel mundial son los siguientes: celulosa 25,89 - 35,5%; Hemicelulosa 18,1 - 21,35% y lignina 18,20 - 24,6%. Las cáscaras tienen un porcentaje ligeramente más alto de celulosa en su composición química, lo cual es muy bueno porque ayuda a la combustión, pero la lignina está en el rango logrado a nivel mundial. La lignina crea una fuerza cohesiva en la cáscara a altas temperaturas, lo que la convierte en una pasta dura. El porcentaje más significativo de la composición química de la cascarilla de arroz es la ceniza, cuyo principal componente es el dióxido de silicio, que no se descompone durante la combustión, dificultando una combustión continua y completa.

2.8. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo es el residuo del proceso de producción de la caña de azúcar en el que se ha extraído el jugo azucarado del tallo de la caña de azúcar; se utiliza tradicionalmente en los países productores de azúcar como materia prima para la producción de energía en las fábricas de azúcar o en las calderas de las fábricas de azúcar, hace más de 150 años, comenzando con la producción de papel, pero también en la producción de tableros de fibra aglomerados y gránulos y pulpa para derivados farmacéuticos y aditivos alimentarios (Aguilar, 2011).

El bagazo se encuentra en las fábricas de azúcar en grandes cantidades, su procesamiento, transporte y almacenamiento reduce el riesgo de inversión y lo convierte en un material atractivo en comparación con otras fuentes de materia prima lignocelulósica, generando importantes residuos que pueden ser aprovechados por la industria azucarera, ya que cada tonelada de azúcar

refinada produce dos fanegas de azúcar. Las materias primas fibrosas deben reunir determinados requisitos de índole técnica y económica. Entre los requisitos técnicos, los más importantes radican en la composición química del material, su reactividad frente a los agentes de pulpeado y sus propiedades anatómicas y morfológicas (Barreiro y Coronel, 2021).

2.8.1 COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICAS

Según Resano (2022), el bagazo se compone de fibras lignocelulósicas que forman las paredes celulares, agua absorbida y concentrada, diversos extractos y algunos componentes minerales. Estas composiciones pueden variar entre diferentes partes y especies de plantas, pero las composiciones promedio suelen ser de alrededor de 25-45% de celulosa, 25-50% de hemicelulosa y 10-30% de lignina. El bagazo es un material con partículas de tamaño y forma variables.

Posteriormente, se presenta la composición del bagazo de caña desde su composición física tal y como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2.2. Composición física del bagazo de caña de azúcar

Componente	Porcentaje
Fibra	45%
Sólidos insolubles	2-3%
Sólidos solubles	2-3%
Humedad	50%

Fuente: Barreiro y Coronel (2021)

Así mismo, se presenta desde el punto de vista químico el bagazo de la caña de azúcar está compuesto por los siguientes elementos:

Tabla 2.3. Composición química del bagazo de caña de azúcar

Componente	Integral	Fracción fibra	Médula
Celulosa	46.6	47	41.2
Pentanosas	25.2	25.1	26
Lignina	38.3	40.4	-
Extractivos AB	20.7	19.5	21.7
Solubilidad en agua caliente	2.7	2.3	2.9

Solubilidad en agua fría	2.2	2.1	4
Solubilidad en sosa 1%	34.9	32	36.1
Cenizas	2.6	1.4	5.4

Fuente: Barreiro y Coronel (2021)

2.9 SUSTRATOS

Los sustratos son actualmente una parte importante de la agricultura moderna, especialmente en sistemas hidropónicos para especies hortícolas. La gama de materiales que se pueden utilizar como sustrato agrícola es amplia, pero a la hora de elegir se deben tener en cuenta algunos criterios como son: los requerimientos de las plantas, la mayor adaptación posible a las propiedades deseadas del sustrato y su impacto en el entorno entre otros. (Agrosíntesis, 2022).

Según Chen (2022) lo define como cualquier material sólido distinto del suelo in situ, natural, sintético o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un recipiente, ya sea puro o mixto, anclará el sistema radicular y actuará, como soporte que puede interferir o no en la nutrición de las plantas.

Este autor manifiesta que la mayoría de los sustratos usados en la producción de plantas consisten en una combinación de componentes orgánicos e inorgánicos. Los componentes orgánicos más populares incluyen: turba (peat moss), fibra de coco, productos de madera compostados (corteza, aserrín, virutas), composta de materia orgánica, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuate, etc. La adición de componentes orgánicos al sustrato ayuda principalmente a mejorar sus propiedades físicas y químicas, como la retención de agua, la porosidad, la reducción del peso húmedo y la mejora de la capacidad de intercambio catiónico (Chen, 2022).

2.10 CULTIVO DE HORTALIZAS EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS

2.10.1. LECHUGA

La lechuga, como la gran mayoría de cultivos de hoja, es un cultivo que se adapta y desarrolla particularmente bien en sistemas acuapónicos debido a la

concentración óptima de nutrientes disueltos en el agua. El cultivo con sistema acuapónico es posible para cualquier variedad de lechuga, pero se cultivan especialmente con este método las variedades: Iceberg, mantecosa, romana, etc.

Las condiciones idóneas para su correcto desarrollo y rápido crecimiento corresponden a los cultivos de invierno (los días largos y las temperaturas cálidas de la noche propician la floración), con una germinación óptima a 15-21°C y el crecimiento recomendado a 14-18°C durante el día y en 5-10°C por la noche. La lechuga es una planta con requerimientos nutricionales muy bajos. El pH ideal para su correcto desarrollo está entre 5,8 y 6,2, aunque valores de pH hasta 7 son aceptables, hay que tener en cuenta una posible deficiencia de hierro, ya que el pH provoca deficiencia de hierro (Lobillo,2016).

2.10.2. TOMATE

Muchos cultivos se pueden producir en sistemas hidropónicos, de estos los tomates son los más cultivados, debido a que su producción supera la producción en el suelo y es un cultivo valioso. Una planta de tomate en tierra produce de 5 a 8 kg, pero en hidroponía puede producir entre 15 y 20 kg. En muchos lugares hay grandes extensiones de tierra cubiertas con polietileno apoyado en postes para formar una sola estructura continua donde se cultivan tomates hidropónicos (Zamorano, 2011).

2.10.3. PIMIENTO

Una planta herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 metros y más de 2 metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero). Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, ricos, con un contenido en materia orgánica del 3-4% y principalmente bien drenados. En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5.5 a 7. Es moderada tolerancia a la salinidad del suelo y del agua de riego, aunque menos que el tomate (Orellana y León, 2011).

En los sistemas acuapónicos el pimiento es ideal ya que provee a las raíces en todo momento de un nivel de humedad constante, independiente del clima o de la etapa de crecimiento del cultivo, reduce el riesgo por excesos de irrigación.

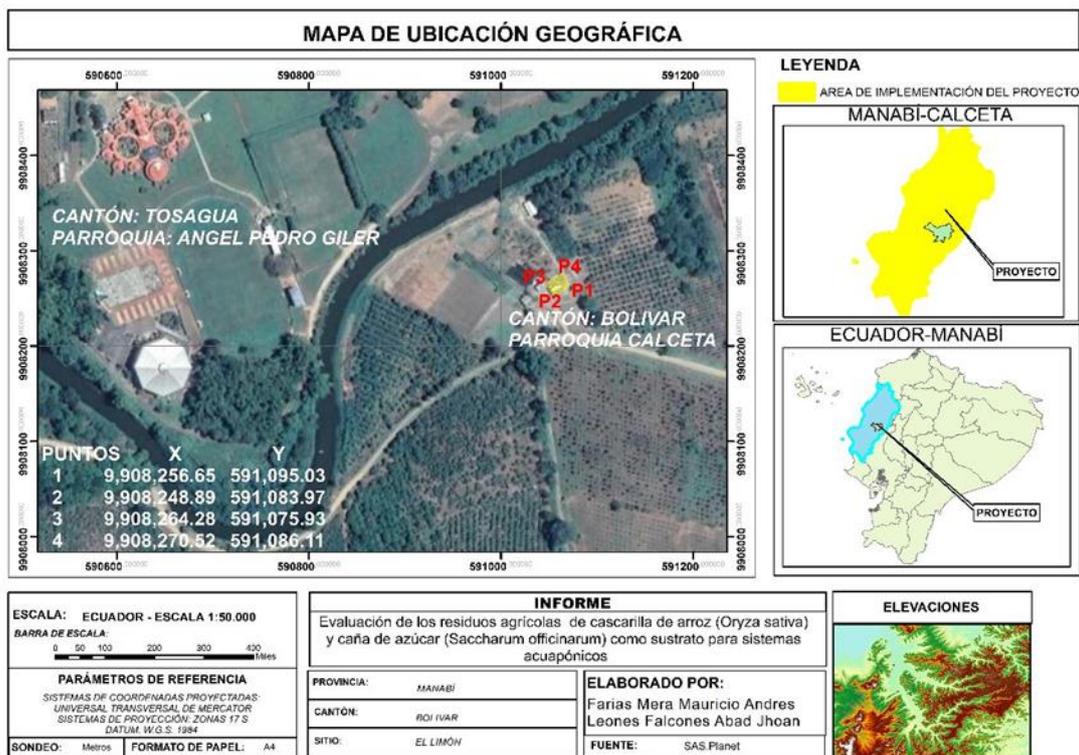
Evita el gasto inútil de agua y fertilizantes. Asimismo, asegura la irrigación en toda el área radicular y reduce considerablemente los problemas de enfermedades producidas por patógenos del suelo además brinda una mayor producción (S.A., 2017).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El trabajo de titulación se implementó en CIIDEA (Centro de Investigación Innovación y Desarrollo Agrícola) 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. Con las siguientes coordenadas geográficas del área donde se implementará el sistema acuapónico (figura 1).

Figura 3.1. Ubicación geográfica de CIIDEA



3.2. DURACIÓN

La investigación tiene una duración de 9 meses. La etapa de planificación se llevó a cabo, a partir del mes de octubre a diciembre del 2022 y la etapa de ejecución desde abril a diciembre del 2023.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 MÉTODO

Se aplicó el método experimental o deductivo en la que se evaluó la eficacia de los diferentes sustratos y el efecto en el rendimiento de los cultivos de hortalizas

3.3.2 TÉCNICAS

- Observación: Se reconoció el objeto de estudio para identificar el comportamiento
- Analítica: Permitió analizar 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.
- Bibliográfica: Se recopilaron datos que permitieron referenciar la investigación durante las fases previstas (inicial y final) para conseguir precedentes y causales del experimento.

3.4. VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Residuos agrícolas, cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar como sustrato

3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Rendimiento en la producción de cultivos en sistemas acuapónico

3.4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DE ESTUDIO

Tabla 3.1. Operacionalización de variable de estudio

Variable	Tipo de Variable	Conceptualización	Definiciones Operacionales	Instrumentos	Medición
Calidad del agua	Cuantitativa	La calidad del agua es esencial en un sistema acuapónico, ya que es el medio en el que se cultivan las plantas y se crían los peces (Quiñonez et al., 2019).	Se determinarán en situ por equipos de laboratorio: pH Nitratos Fosfatos Amonio Calcio Oxígeno disuelto	Espectrofotómetro Potenciómetro Oxímetro	(mg/L)
Supervivencia de especímenes	Cuantitativa	La supervivencia de especímenes se refiere a la capacidad de los individuos de una especie para sobrevivir en su entorno natural y persistir a lo largo del tiempo (Delgado y Valdez, 2021).	Se obtendrá mediante fichas: Supervivencia Talla de los peces Peso Biomasa Tasa de crecimiento	Flexómetro Balanza	(cm) (g)
Calidad de hortalizas	Cuantitativa	La calidad de las hortalizas es un aspecto importante para garantizar la salud y el bienestar de los consumidores. Una buena calidad se refiere a un producto que es fresco, nutritivo, sabroso y seguro para consumir. (Lobillo,2016).	Se obtendrá mediante fichas: Supervivencia Número de hojas Altura de las plantas Peso Biomasa Tasa de crecimiento Tasa específica de crecimiento	Flexómetro Balanza	(cm) (g)

Elaborado por: Fariás y Leones (2022)

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se desarrolló un Diseño Completamente al Azar (DCA) simple con tres tratamientos, en la que se combinara dos tipos de sustratos agrícolas, cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar y así enriquecer con nutrientes dado que no reúne todas las características deseables y es necesario la combinación, Guerrero et al. (2014). A continuación, en la Tabla 3.2. se ilustra la dosis de Residuos Agrícolas que se utilizó en la experimentación.

Tabla 3.2. Dosis de Residuos Agrícolas a utilizar en la experimentación

Proporciones/ tratamientos	Cantidades	Repeticiones
TRATAMIENTO 1 30% bagazo de caña de azúcar + 70% fibra de cascarilla de arroz	3 g bagazo de caña de azúcar + 7 g fibra de cascarilla de arroz	3
TRATAMIENTO 2 50% bagazo de caña de azúcar + 50% fibra de cascarilla de arroz	5 g bagazo de caña de azúcar + 5 g cascarilla de arroz	3
TRATAMIENTO 3. 70% bagazo de caña de azúcar + 30% fibra de cascarilla de arroz	7 g bagazo de caña de azúcar + 3 g fibra de cascarilla de arroz	3
Unidades experimentales: 80 peces (40 en cada tanque). 81 plantas hortalizas (27 en cada tratamiento).		

Elaborado por: Farias y Leones (2020)

Se controló durante la producción del sistema acuapónico los siguientes parámetros establecidos por Guerra, et al (2016); Reyes y Pérez (2016).

- HORTALIZAS
 - Supervivencia
 - Número de hojas
 - Altura de las plantas
 - Peso
 - Biomasa
 - Tasa de crecimiento
 - Tasa específica de crecimiento

- PECES
 - Supervivencia
 - Talla de los peces
 - Peso
 - Biomasa
 - Tasa de crecimiento

3.6. MANEJO DE EXPERIMENTO

3.6.1. FASE I. DIAGNÓSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS DE RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*) Y CAÑA DE AZÚCAR (*ACCHARUM OFFICINARUM*) PARA APROVECHARLO COMO SUSTRATO.

Actividad 1. Identificación de producción de residuos agrícolas

Se realizó una búsqueda de información, mediante artículos científicos, tesis y bases de datos del Ecuador como (INEC, MAGAP, INIAP, etc.) con relación a la producción de arroz (*Oryza sativa*) y producción de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el país y en sus principales provincias, cantidad de residuos generados, propiedades nutricionales que poseen los residuos agrícolas.

3.6.2 FASE II. EFICIENCIA DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) COMO SUSTRATOS

Actividad 2. Implementación del sistema acuapónico

El prototipo que se empleó fue utilizado por Basurto y Vera (2020) que consto formado por la unión de dos tipos de sistemas “Balsa flotante” y “Lecho de sustrato”, en la que el primer sistema comúnmente es una plancha de poliestireno colocada sobre la superficie del agua y el segundo consta de una bandeja que puede ser de diferentes dimensiones en la que se rellena de sustrato las macetas para colocar las planta, en ambas se limitan el número de agujeros (Silvera y Cantero,2022).

En la tabla 3.3 se muestran las especificaciones técnicas del sistema acuapónico (medidas, materiales e insumos acorde al modelo experimental).

Tabla 3.3. Diseño del prototipo.

DISEÑO
9 camas, cada una de 50 x 50 cm de largo, y 2 cm de alto.
81 plantas, 9 en cada cama.
2 tipos de sustratos (cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar).
3 tipos de cultivos de hortalizas (lechuga, tomate y pimiento).
2 bunques de 500 litros cada uno.
80 peces, 40 en cada bunque.

Fuente: Basurto y Vera (2020)

3.6.3 FASE III. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa*) Y FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) COMO SUSTRATOS

Actividad 3. Cálculo de la eficiencia

En 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 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, pesados en función de las cantidades dispuestas para cada tratamiento y ubicados en los recipientes donde se trasplantarán las plántulas de hortalizas. Posteriormente, se tomarán los datos de los parámetros de control y calidad en peces, agua y plantas, considerando los tiempos de medición.

Siguiendo la metodología de Saveedra et al. (2020); Reyes y Pérez (2016); Coral (2015) para las plantas se le realizará la medición de los siguientes parámetros evolutivos con sus respectivas ecuaciones numéricas:

Tabla 3.4. Ecuaciones para la medición de la eficiencia adaptación y crecimiento de plantas

Supervivencia	Número de plantas sobrevivientes	$S(\%) = \left(\frac{N_f}{N_i}\right) * 100 \quad [3.1]$	S: Supervivencia Nf: Número final (NH y NF) Ni: Numero inicial
Número de hojas (NH)	Conteo de las hortalizas con fruto		
Peso	Peso del organismo al final del estudio.		
Biomasa	Sumatoria de los pesos finales de los individuos por especie de planta		
Altura	Tamaño vertical alcanzado por la planta.		
Tasa de crecimiento (TC)	Crecimiento diario de la planta durante su ciclo de vida.	$TC = \frac{(L_f - L_i)}{T_f - T_i} \quad [3.2]$	TC: tasa de crecimiento (cm/día) L_f: Longitud final L_i: Longitud inicial T_f: tiempo final T_i: tiempo inicial
Tasa específica de crecimiento (TCE)	Porcentaje diario del crecimiento de las plantas.	$TEC = \frac{(ln(L_f) - ln(L_i))}{T_f - T_i} * 100 \quad [3.3]$	TCE: tasa específica de crecimiento (%/día) L_f: Longitud final L_i: Longitud inicial T_f: tiempo final T_i: tiempo inicial ln: logaritmo natural

Elaborado por: Saavedra et al (2020)

Por otra parte, se siguió la metodología de Saavedra *et al.*, (2020) y Coral (2015) para el caso de los peces se analizó diferentes parámetros evolutivos aplicando sus ecuaciones correspondientes tal y como se muestra en la tabla 3.5:

Tabla 3.5. Ecuación para la medición de la eficiencia adaptación y crecimiento de peces

Supervivencia	Total de individuos sobrevivientes.
Talla	Longitud corporal (boca-cola) al final del período de estudio
Peso	Peso de los peces al inicio y final del estudio.

Biomasa	Peso total final de los peces por módulo.		
Ganancia de Peso (GP)	Peso promedio final.	$GP (g) = P_f - P_i [3.4]$ $GP (\%) = \frac{P_f - P_i}{P_f} * 100 [3.5]$	GP: Ganancia de Peso (g) GP: Ganancia de Peso (%) P_f: Peso final P_i: Peso inicial
Tasa de Crecimiento (TCI)	Crecimiento de los peces en función del peso final, peso inicial y días de crecimiento.	$TCI = \frac{(\ln \ln (P_f) - \ln \ln (P_i))}{t} * 100 [3.6]$	TCI: Tasa de crecimiento (%) P_f: Peso final P_i: Peso inicial T_f: tiempo final ln: logaritmo natural

Elaborado por: Saavedra et al (2020)

Para la caracterización físico-química del agua se analizaron los parámetros oxígeno disuelto, pH, nitritos, nitratos, fosfato y amonio. Las mediciones se realizaron 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 se tomarán de los bunques que contienen los peces.

Tabla 3.6. Caracterización físico-química

Parámetro	Técnica
Nitrato	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)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico de las características bromatológicas de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para aprovecharlo como sustrato.

Se realizó la identificación de los residuos agrícolas los cuales fueron; cascarilla de arroz (*oryza sativa*) y caña de azúcar (*saccharum officinarum*), luego se recolectaron estos residuos en diferentes ciudades, la cascarilla de arroz (*oryza sativa*) en Charapoto (Piladora Elizabeth) y el bagazo de caña de azúcar (*saccharum officinarum*) en el cantón Junín - Agua Fría (destiladora Agua ardiente 4 hermanos) y se efectuaron los siguientes procedimientos:

Se lavó 5 kg de cascarilla de arroz, que obtuvo 4,9 kg (Anexo 1) liberando sus impurezas para tratarlas como sustrato en el sistema acuapónico y se dejó al aire libre hasta seco.

Se utilizó 5kg de bagazo de caña de azúcar, este se remojo 24 horas en un tanque con agua procediendo a eliminar sus impurezas y grados de alcohol. Una vez lavado y secado se procedió a picar con ayuda de tijeras en pequeños cuadros el bagazo para utilizarlo como sustrato (Anexo 2).

Cascarilla de Arroz (*Oryza sativa*)

El arroz, fundamental en la canasta básica de los hogares ecuatorianos, es crucial en la estructura productiva del país. Se destaca que la mayor proporción de la producción de arroz proviene de pequeños productores, Guayas y Los Ríos contribuyen significativamente, generando aproximadamente el 87% de la producción total (Atiaga et al., 2019). Este cultivo, aunque vital para la seguridad alimentaria interna, representa alrededor del 1,55% del Producto Interno Bruto (PIB) ecuatoriano (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]), 2023).

Es esencial resaltar que la producción arroceras se caracteriza por su orientación hacia el mercado interno, con un notable 96% destinado al consumo nacional, mientras que solo un 4% se destina a la exportación. Este fenómeno, aunque

beneficia la autosuficiencia alimentaria, también conlleva la generación de residuos agrícolas, como la cascarilla de arroz (Horgan et al., 2021).

La producción de arroz en Ecuador alcanzó las 630,000 toneladas, generando aproximadamente 126.000 toneladas de cascarilla de arroz como subproducto. La geografía productiva se concentra en varias provincias, siendo Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro y Santa Elena las principales contribuyentes, con Guayas liderando con unas 37.800 toneladas de participación (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2021).

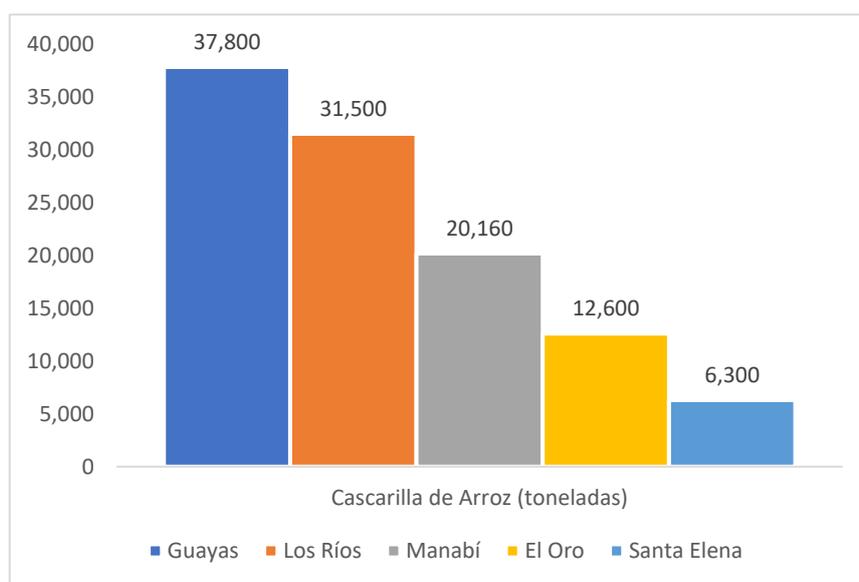


Figura 4.1. Generación de Cascarilla de Arroz en Provincias de Ecuador.

Fuente: (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2021).

Manabí, una provincia destacada en la producción arroceras, alcanzó la significativa cifra de 102.000 toneladas en la campaña mencionada. De esta producción, se estima que se generaron alrededor de 15.300 toneladas de cascarilla de arroz (Jarre Castro et al., 2021). Detalles importantes surgen al examinar la distribución de esta producción secundaria en Manabí, donde los cantones de Rocafuerte (53.555 T), Chone (3.825 T), Portoviejo (2.295 T), Sucre (1.530 T) y Jipijapa (765,00 T) se destacan, siendo Rocafuerte el mayor contribuyente con un 39% de participación (Torres et al., 2022).

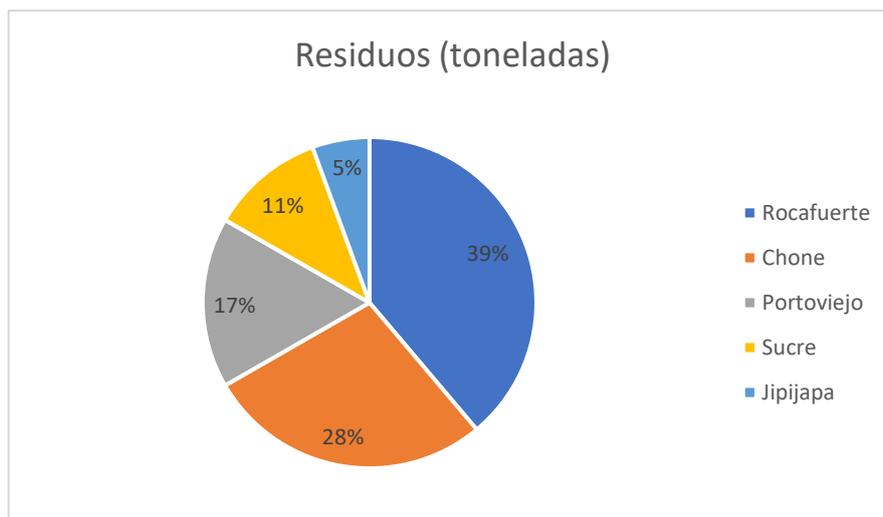


Figura 4.2. Generación de Cascarilla de Arroz en cantones de Manabí (Campaña 2022-2023).

Fuente: (Torres et al., 2022).

La cascarilla de arroz, un subproducto del proceso de descascarillado del arroz (*Oryza sativa*), se ha reconocido por sus características bromatológicas que la posicionan como un material potencialmente valioso como sustrato en diversas aplicaciones agrícolas (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Propiedades bromatológicas de la Cascarilla de Arroz.

Componente	Contenido (%)
Humedad	7,8
Proteínas	3,47
Grasa	0,58
Fibra	29,64
Cenizas	19,22
Carbohidratos	68,93

Fuente: Chimbo y Guasco (2023).

Desde el punto de vista de su composición bioquímica (Tabla 4.2), la cascarilla contiene cantidades significativas de celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos componentes no solo contribuyen a la estructura fibrosa del material, sino que también pueden descomponerse a través de procesos microbiológicos, liberando nutrientes que benefician el crecimiento de las plantas (Días et al., 2023).

En un estudio realizado por Tarrillo et al. (2021) se encontró que la cascarilla de arroz es rica en sílice, lo que puede mejorar la resistencia al estrés y fortalecer las paredes celulares de las plantas. Además, se destacó que la cascarilla de

arroz tiene un alto contenido de lignina, lo que contribuye a su estabilidad estructural y a su lenta descomposición en comparación con otros sustratos orgánicos.

Tabla 4.2. Propiedades bioquímicas de la Cascarilla de Arroz.

Componente	Contenido (%)
Celulosa	25,9 - 35,5
Hemicelulosa	18,1 - 21,4
Lignina	18,2 - 24,6

Fuente: Chimbo y Guasco (2023).

Además, la cascarilla de arroz exhibe un contenido apreciable de minerales esenciales como silicio, potasio, fósforo y calcio, que pueden ser beneficiosos para el desarrollo vegetal. La cascarilla de arroz tiene un contenido promedio de carbono orgánico del 38% al 45%. Esto indica que puede proporcionar una fuente rica en carbono para los microorganismos del suelo (Moraes et al., 2022). Asimismo, la relación carbono:nitrógeno (C/N) es un indicador importante para evaluar la capacidad de descomposición de los residuos orgánicos. Generalmente tiene una relación C/N alta, que varía de 50:1 a 100:1. Esto indica que su descomposición es lenta, lo que puede ser beneficioso para mantener la disponibilidad de nutrientes en el suelo a largo plazo (Tejada et al., 2021).

Bernardia et al. (2019) encontró que el uso de la cascarilla de arroz como sustrato promovió el enraizamiento y el crecimiento de las plántulas de melón. Se observó que la cascarilla de arroz proporcionaba una estructura porosa que permitía un buen drenaje y una adecuada oxigenación de las raíces, favoreciendo así el desarrollo saludable de las plántulas. La estructura física de la cascarilla de arroz también juega un papel importante en su idoneidad como sustrato (Moayedi et al., 2019). Su textura y composición afectan la aireación del sustrato, influenciando la disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas. Es destacable que la cascarilla de arroz tiende a tener bajas concentraciones de compuestos tóxicos en comparación con otros residuos agrícolas (Selvaranjan et al., 2021).

Muthukrishnan et al. (2019) investigó el efecto de la cascarilla de arroz como sustrato en el cultivo de tomates. Los resultados mostraron que el uso de la cascarilla de arroz mejoró la disponibilidad de nutrientes para las plantas y

promovió un mayor crecimiento y rendimiento de los tomates en comparación con otros sustratos convencionales. Esto sugiere que la cascarilla de arroz es una alternativa viable y sostenible en la producción agrícola.

Tabla 4.3. Propiedades físicas de la Cascarilla de Arroz.

Componente	Contenido
Poder calórico	3281,6 kcal /kg
Capacidad de aireación	79,5%
Porosidad	54, 0%
Conductividad térmica	0,1 W/m. K

Fuente: Chimbo y Guasco (2023).

En términos de degradación y descomposición, la cascarilla de arroz, al ser un material orgánico, puede someterse a procesos naturales que mejoran la estructura del suelo con el tiempo (Jyoti et al., 2021). Sin embargo, para optimizar sus propiedades, puede ser necesario realizar tratamientos y acondicionamientos específicos. Considerar las necesidades particulares de las plantas a cultivar y ajustar el sustrato en consecuencia es crucial para maximizar los beneficios de la cascarilla de arroz como sustrato agrícola (Thiedeitz et al., 2020).

En resumen, las características bromatológicas, como su contenido de nutrientes, capacidad de retención de agua y estructura física, la convierten en un material prometedor para mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas. Sin embargo, es importante considerar la interacción entre la cascarilla de arroz y las plantas cultivadas, así como las proporciones adecuadas en la mezcla de sustrato, para optimizar su uso (Suhot et al., 2021).

Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*)

La caña de azúcar desempeña un papel fundamental en la economía agrícola de Ecuador, no solo como fuente principal de azúcar, sino también como generadora destacada de subproductos y residuos agroindustriales. En el período 2022-2023, la producción total de caña de azúcar en el país alcanzó una cifra considerable, alcanzando los 8 millones de toneladas. Este notable volumen

de producción conlleva la generación de aproximadamente 2 millones de toneladas de bagazo, el residuo primordial derivado de este cultivo (Terneus y Viteri, 2021).

La distribución geográfica de la producción de caña de azúcar revela que las provincias costeras de Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro y Santa Elena son las principales contribuyentes. Guayas lidera con unas 800.000 toneladas de la producción, seguido de cerca por Los Ríos con un 500 000 T, Manabí con unas 300.000 toneladas, El Oro con unas 200.000 toneladas, y Santa Elena con unas 100.000 toneladas. Este panorama subraya la importancia de estas regiones en el panorama nacional de la producción de caña de azúcar (MAG, 2022).

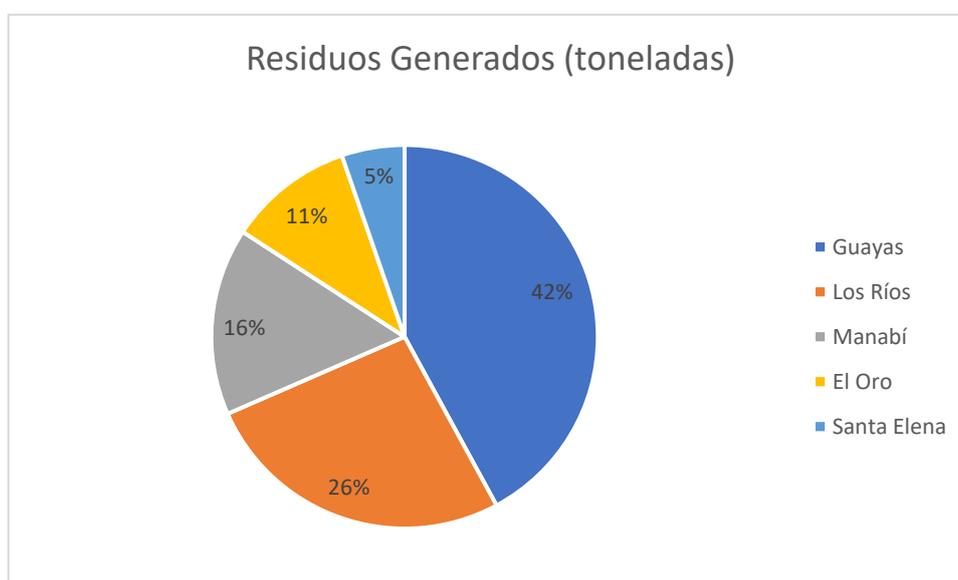


Figura 4.3. Generación de bagazo de caña de azúcar en Provincias del Ecuador.

Fuente: (MAG, 2022).

En particular, la provincia de Manabí emerge como un actor clave en la producción de caña de azúcar, clasificándose como el tercer mayor productor del país. Durante el período 2022-2023, Manabí contribuyó significativamente con alrededor de 1.2 millones de toneladas de caña de azúcar a la producción nacional (MAG, 2022). Si consideramos un factor de conversión del bagazo generado por tonelada de caña, aproximadamente el 25%, se estima que esta provincia produce anualmente alrededor de 300,000 toneladas de bagazo (Arcentales et al., 2022).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) genera residuos agrícolas que también poseen características bromatológicas relevantes, convirtiéndolos en un recurso potencial como sustrato en aplicaciones agrícolas. En un estudio llevado a cabo por Chiriboga et al. (2020) se evaluó el efecto de la caña de azúcar como sustrato en el cultivo de hortalizas. Los resultados mostraron que el uso de la caña de azúcar como sustrato promovió un buen desarrollo radicular y una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas.

En términos de composición química, estos residuos presentan una proporción significativa de celulosa, hemicelulosa y lignina, elementos clave que afectan la estructura y la capacidad de descomposición del material (Tabla 4.4). La celulosa y la hemicelulosa, en particular, pueden ser descompuestas por microorganismos, liberando nutrientes valiosos para el crecimiento de las plantas (Bernardia et al., 2019).

Tabla 4.4. Composición química de la Caña de Azúcar.

Componente	Contenido (%)
Proteína Cruda (Nx6,25)	2,00
Lignina	7,00
Azúcares solubles	40,00
Celulosa	27,00
Hemicelulosa	20,00

Fuente: Méndez (2021).

En lo que respecta al contenido de nutrientes, la caña de azúcar aporta minerales esenciales como potasio, fósforo y calcio, que son fundamentales para el desarrollo vegetal (Tabla 4.5). La caña de azúcar tiene un contenido de carbono orgánico que varía de 40% a 45%. Al igual que la cascarilla de arroz, puede ser una fuente valiosa de carbono para los microorganismos del suelo (Bernardia et al., 2019). La relación C/N en la caña de azúcar puede variar de 50:1 a 80:1. Esto indica que su descomposición puede ser más lenta en comparación con otros residuos agrícolas con una relación C/N más baja. Sin embargo, la descomposición se acelera cuando se combina con otros sustratos ricos en nitrógeno (Valenzuela et al., 2023).

Uno de los aspectos favorables de la caña de azúcar como sustrato en acuaponía es su capacidad para retener y liberar nutrientes gradualmente. Al

utilizar la caña de azúcar como sustrato en un sistema acuapónico, los nutrientes presentes en el sustrato pueden ser liberados de manera gradual, lo que proporciona un suministro constante de nutrientes para el desarrollo saludable de las plantas (Lindao et al., 2022).

En un artículo de investigación realizado por Barciela et al. (2023) se encontró que la caña de azúcar proporcionaba una estructura porosa y una capacidad de retención de agua adecuada, lo que favorecía el enraizamiento y el crecimiento saludable de las plántulas. Además, se destacó que la caña de azúcar presentaba una baja concentración de compuestos tóxicos, lo que la hacía segura y favorable para su uso como sustrato.

Tabla 4.5. Composición bromatológica del bagazo de la caña de azúcar.

Componente	Contenido (%)
Materias Seca	88,30
Proteína bruta (Nx6,25)	1,40
Fibra cruda	49,00
Calcio	0,70
Fosforo	1,18

Fuente: Méndez (2021).

La estructura física de los residuos de caña de azúcar puede afectar la aireación del sustrato, un aspecto crucial para proporcionar oxígeno a las raíces de las plantas. La presencia de compuestos tóxicos suele ser baja en comparación con otros residuos agrícolas, lo que podría hacer que estos residuos sean relativamente seguros para su uso como sustrato (Kanwal et al., 2019). Sin embargo, es importante considerar la interacción entre la caña de azúcar y los cultivos específicos, así como realizar ajustes adecuados en la dosificación y manejo del sustrato, para maximizar sus beneficios en la producción agrícola (Camargo et al., 2020).

La revisión bibliográfica de las características bromatológicas de la cascarilla de arroz y la caña de azúcar revela que ambos residuos agrícolas pueden ser utilizados como sustratos valiosos en la agricultura. Tanto la cascarilla de arroz como la caña de azúcar contienen un alto contenido de carbono orgánico, lo cual

las convierte en fuentes potenciales de materia orgánica para mejorar la estructura y la fertilidad del suelo (Raheem y Ikotun, 2020).

La relación C/N alta de estos residuos indica que su descomposición es relativamente lenta, lo que puede ser beneficioso para mantener la disponibilidad de nutrientes en el suelo a largo plazo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la descomposición de estos residuos puede acelerarse al combinarlos con materiales ricos en nitrógeno, como estiércol u otros residuos vegetales con una relación C/N más baja (He et al., 2020).

El contenido de lignina en la cascarilla de arroz y la caña de azúcar también es relevante, ya que la lignina es un componente resistente a la descomposición. Un mayor contenido de lignina puede resultar en una descomposición más lenta de estos residuos, lo que a su vez puede contribuir a la liberación gradual de nutrientes en el suelo (Bernardia et al., 2019).

Es importante mencionar que el uso de la cascarilla de arroz y la caña de azúcar como sustratos agrícolas puede tener beneficios adicionales, como la reducción de los residuos agrícolas y la promoción de la sostenibilidad en la producción de alimentos. Estos residuos pueden ser utilizados como enmiendas orgánicas para mejorar la estructura del suelo, retener la humedad y fomentar la actividad microbiana beneficiosa (Suhot et al., 2021).

4.2. Determinación de la eficiencia de los residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustratos para optimizar el rendimiento de los sistemas acuapónicos.

Con la ayuda de caña guadua como puntales se procedió a elaborar la cubierta con sarán, con el fin de proteger las plantas contra los efectos nocivos del sol, la lluvia, el viento y los insectos. Posteriormente se limpió el área (bunque) el cual fueron 2 y se colocaron los especímenes (Anexo 3).

Se efectuó la siembra de los 3 tipos de hortalizas; lechuga, tomate y pimiento, luego se calcularon sus días de germinación una vez implementado el sistema acuapónico, teniendo en cuenta que estos tipos de hortalizas cumplieron su

desarrollo, se procedió a trasplantarlas y colocarlas en los vasos térmicos los cuales estaban rellenos de sustratos y con sus respectivas cantidades y porcentajes sobre las camas de espuma flex (Anexo 4).

La eficiencia de los tratamientos se registró a través de tablas en las que se fueron tabulando cada semana, con los peces se registraron cada 15 días y con los parámetros de calidad del agua fueron cada 4 días (Anexo 5).

La implementación del sistema acuapónico se llevó a cabo de manera exitosa, utilizando un enfoque integrado que combinó la acuicultura y la hidroponía (Anexo 6). Se estableció un sistema equilibrado que incorporaba peces (Chame) y plantas cultivadas (pimiento, lechuga y tomate) sobre sustratos a base de residuos agrícolas, específicamente cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar. El diseño final del sistema acuapónico se muestra en la Figura 4.4, que fue estructurado mediante el sistema integrado "Balsa flotante" (Anexo 7).

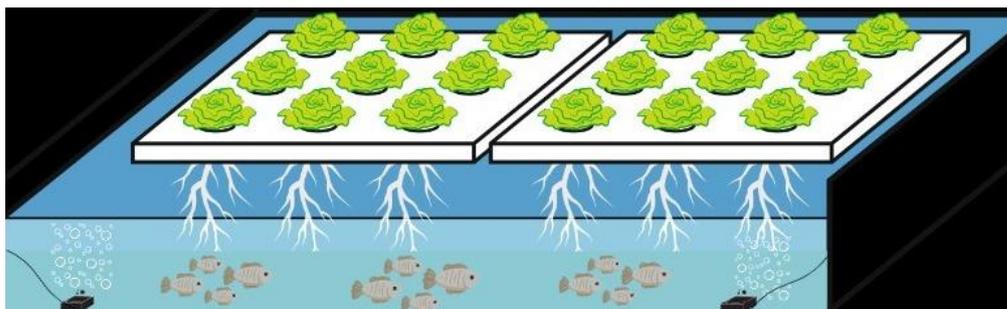


Figura 4.4. Esquema del prototipo del sistema acuapónico en 3D.

Fuente: Elaborado por los autores

En este sistema, se emplea típicamente una plancha de poliestireno de dimensiones 50 por 50 centímetros, dispuesta sobre la superficie del agua. Estableciendo un límite en la cantidad de nueve agujeros disponibles por plancha, ocupando 9 planchas de poliestireno para los 3 tratamientos con las 3 repeticiones.

Según un estudio realizado por Tejada et al. (2021) se observó que la adición de residuos agrícolas como sustratos en sistemas hidropónicos mejoró la disponibilidad y asimilación de nutrientes por parte de las plantas. Esto es consistente con nuestros hallazgos, ya que el tratamiento T3, con una mayor

proporción de bagazo de caña de azúcar, resultó en niveles más altos de nitrógeno y un mejor desarrollo de las hortalizas.

La eficiencia de los residuos agrícolas, como la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y el bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), como sustratos en sistemas acuapónicos se determinó mediante parámetros establecidos por Srivastava et al. (2021) y Yaashikaa et al. (2019). Los parámetros evaluados incluyen desde la supervivencia hasta la tasa específica de crecimiento. Es esencial recalcar que estos valores se vieron influenciados por factores externos, como la variabilidad en la temporada de lluvias y la incidencia de plagas.

A los 25 días de aplicar los tratamientos, se registró una pérdida significativa, superando el 80% de las plantas. En consecuencia, se procedió con la resiembra completa de las hortalizas. Adicionalmente, la presencia de factores externos interrumpió la medición de los parámetros en las plantas, como se detalla a continuación:

Supervivencia

En términos de supervivencia de las plantas, el tratamiento T3 demostró ser efectivo para las tres variedades de hortalizas evaluadas (pimiento, lechuga y tomate), manteniendo un 77% de las plantas hasta el final del estudio. En contraste, tanto los tratamientos T1 como T2 exhibieron resultados mayormente diseminados en cuanto a la supervivencia, con tasas del 33% y 66%, respectivamente la mitad por la mitad. Sin embargo, surgió una diferencia notable en el caso del pimiento, donde T1 registró una tasa de mortalidad menor del 58%, comparada con el 70% de T2. Este patrón sugiere que una mayor proporción de bagazo de caña de azúcar favorece la supervivencia de las plantas.

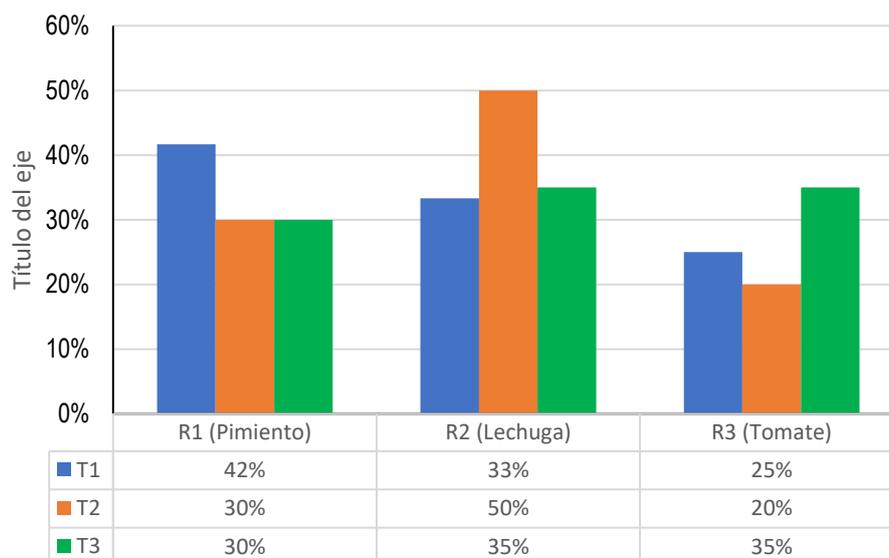


Figura 4.5. Supervivencia de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.

Fuente: Elaborado por los autores

Zhao et al. (2022) respaldan la importancia de la composición del sustrato en la supervivencia de las plantas dentro de sistemas acuapónicos, siempre y cuando se gestione de manera controlada la influencia de factores externos. En este contexto, es crucial señalar que no se consideraron como variables controladas ciertos factores externos, lo cual se traduce en la sugerencia de que la combinación del sustrato se erige como una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento nutricional de las lechugas en sistemas acuapónicos (Yang y Kim, 2020).

Número de Hojas (NH)

El NH se limitó a los Tomates, ya que no se completó el nivel de crecimiento necesario en las otras dos hortalizas, observándose que los tratamientos T1 y T3 influyen en el aumento de NH, registrando valores entre 0 y 12, y 2 y 15, respectivamente. La Figura 4.6 ilustra las medias de NH para los tomates en función de cada tratamiento. Se evidenció de manera concluyente que el tratamiento más eficaz en términos de NH para los tomates fue el T3, que consiste en una composición del 70% bagazo de caña de azúcar y un 30% de cascarilla de arroz.

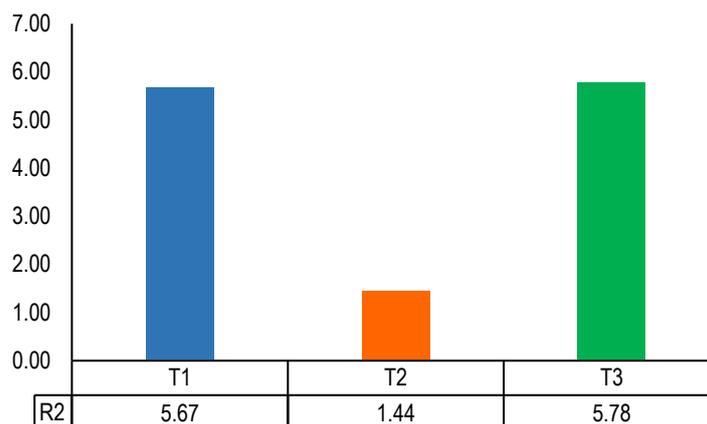


Figura 4.6. Nº de hojas de las hortalizas respecto a los tratamientos 1,2 y 3.

Fuente: Elaborado por los autores

Comparando estos resultados con el estudio de Ahmad et al. (2021) se observa una discrepancia significativa. Mientras nuestros hallazgos respaldan el crecimiento de número de hojas más alta de tratamientos con mayor bagazo de caña de azúcar, el estudio mencionado indica que una proporción superior de cascarilla de arroz lleva a una disminución en el desarrollo foliar y el rendimiento de las plantas. Estas diferencias subrayan la necesidad de considerar las particularidades de cada sistema acuapónico al determinar las proporciones ideales de sustratos para maximizar el rendimiento de los tomates como el control de las variables externas (Yang y Kim, 2020).

Peso y Biomasa

La información relativa al peso y la biomasa, detallada en el anexo 13, indica que el tratamiento T3, con una proporción del 70% bagazo de caña de azúcar y un 30% de cascarilla de arroz, se destacó como el más efectivo entre los tratamientos evaluados para las tres variedades de hortalizas: pimiento, lechuga y tomate, en comparación con las demás opciones, como se observa en el figura 4.7.

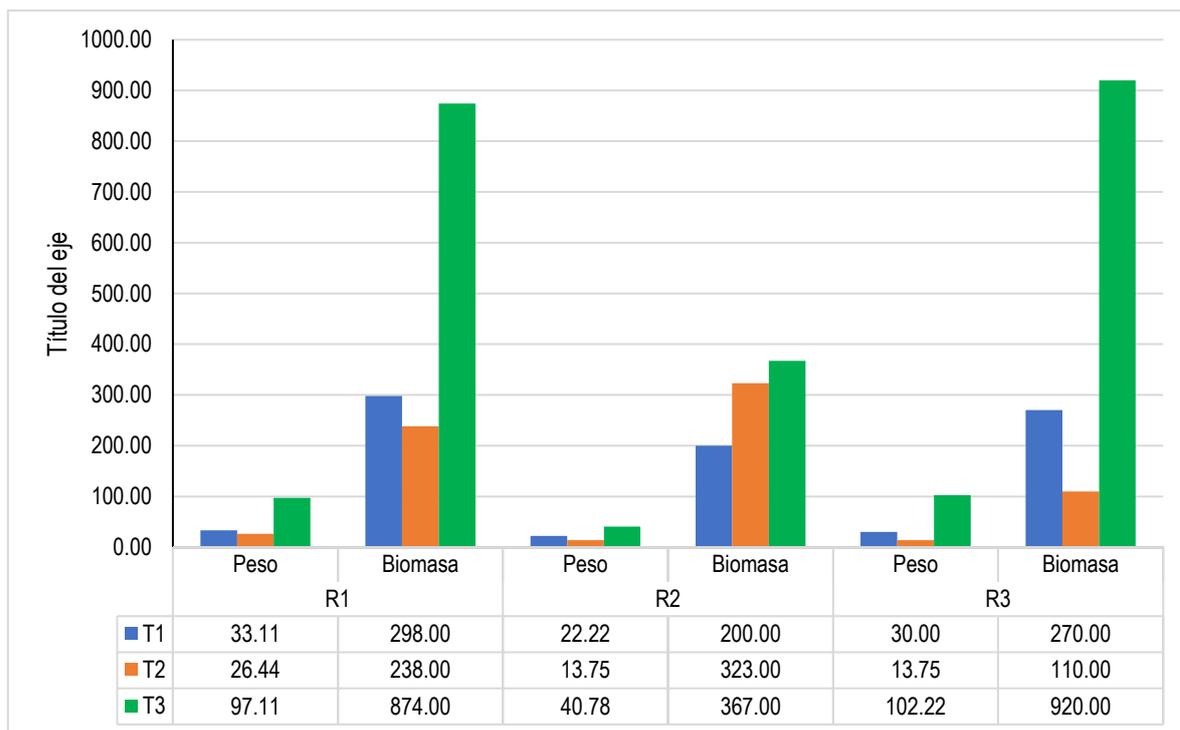


Figura 4.7. Peso y biomasa de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.

Fuente: Elaborado por los autores

Ding et al. (2022) señala que el bagazo de caña de azúcar proporciona un sustrato poroso y bien aireado, favoreciendo el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes, mientras que Delaide et al. (2019) destaca las propiedades beneficiosas de la cascarilla de arroz, como su capacidad para mejorar la retención de agua y promover un drenaje adecuado. Estos beneficios combinados podrían explicar el rendimiento superior observado en el tratamiento T3.

La consistencia de estos hallazgos con la literatura existente subraya la relevancia de la elección adecuada del sustrato en la producción de hortalizas. Sin embargo, es crucial destacar que la efectividad de un tratamiento específico puede depender de factores contextuales, como las condiciones climáticas y las características específicas de las plantas cultivadas.

Altura

Las alturas medias de las plantas revelan una respuesta consistente de los tratamientos en cada tipo de hortaliza. Por ejemplo, para el pimiento, variaron entre 12 a 20 cm, para la lechuga oscilaron entre 9 y 13 cm, y en el tomate se

situaron en un rango de 13 a 20 cm. Esta uniformidad sugiere una influencia significativa de los tratamientos en el desarrollo vertical de las plantas.

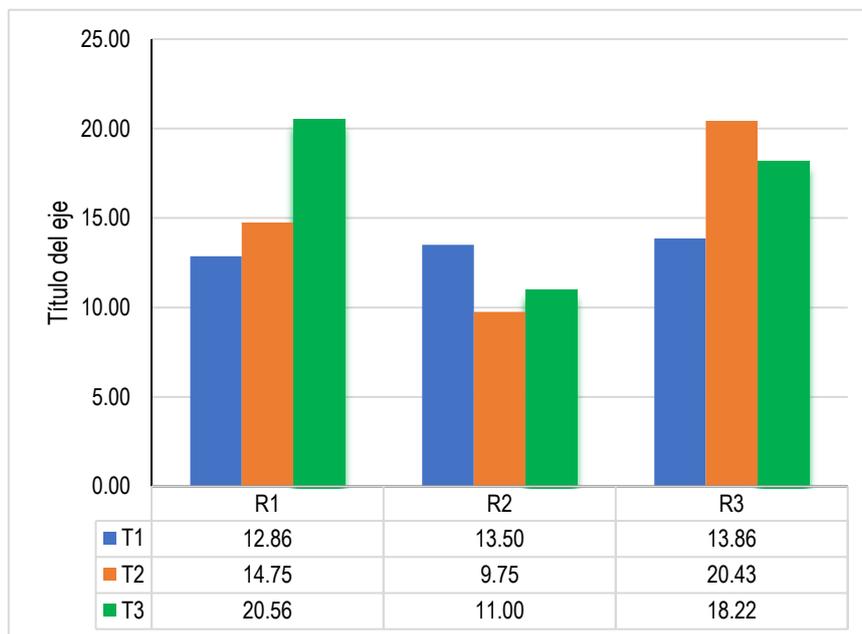


Figura 4.8. Altura de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.

Fuente: Elaborado por los autores

La Figura 4.8 ilustra la conexión entre las alturas de las hortalizas y los tratamientos, respaldando la consistencia observada en el presente estudio. Coincidiendo con nuestras observaciones, investigaciones anteriores, como la realizada Orta et al. (2021), revelaron que la altura promedio de plantas de pimiento alcanzó los 75 cm en una mezcla de sustrato compuesta por un 70% bagazo de caña de azúcar y un 30% de cascarilla de arroz, aunque en un periodo temporal más extenso que el examinado en nuestro estudio.

De manera similar, Farid et al. (2022) informaron una altura promedio de 65 cm en plantas de tomate utilizando la misma composición de sustrato. Esto sugiere que los resultados adversos observados podrían ser atribuibles a factores externos que han influido negativamente en el rendimiento de las plantas.

Tasa de Crecimiento (TC)

Se evidencia que T3 se destaca como el tratamiento más efectivo para influir en la tasa de crecimiento de las plantas. Este tratamiento posibilita un crecimiento significativo en las hortalizas, alcanzando tasas de 0,69 cm/día en pimientos, 0,64 cm/día en lechugas y 0,31 cm/día en tomates. Esta efectividad se respalda

con hallazgos previos, donde la aplicación de residuos de caña de azúcar aumentó la tasa de crecimiento de plantas de tomate en un 20% según Orta et al. (2021) y la de residuos de cascarilla de arroz incrementó la tasa de crecimiento de plantas de lechuga en un 15%.

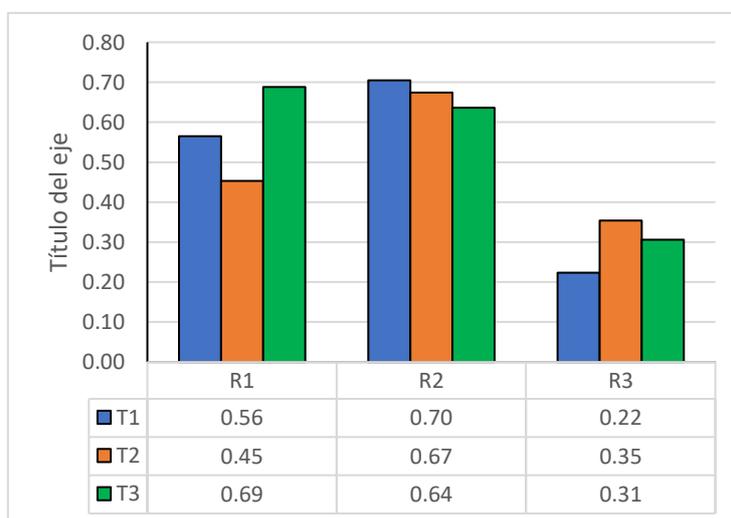


Figura 4.9. Tasa de crecimiento de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.

Fuente: Elaborado por los autores

La representación visual en la Figura 4.9 confirma la relación entre los tratamientos y la tasa de crecimiento de las hortalizas, reforzando la influencia positiva del tratamiento T3 en el desarrollo vigoroso de las plantas. Las tasas de crecimiento observadas en pimientos, lechugas y tomates subrayan la capacidad única de este tratamiento para potenciar el rendimiento en diversas variedades de hortalizas dentro del sistema evaluado.

Tasa Específica de Crecimiento (TCE)

Los datos concernientes a la tasa específica de crecimiento de las plantas, detallados en el anexo 16, indican que el tratamiento tres, caracterizado por una proporción del 70% bagazo de caña de azúcar y un 30% de cascarilla de arroz, destaca como la opción más favorable en comparación con los otros tratamientos. En cuanto al crecimiento de las hortalizas, se registraron los siguientes porcentajes: 3,28% para los pimientos, 2,97% para las lechugas y 2,30% para los tomates (ver Figura 4.10).

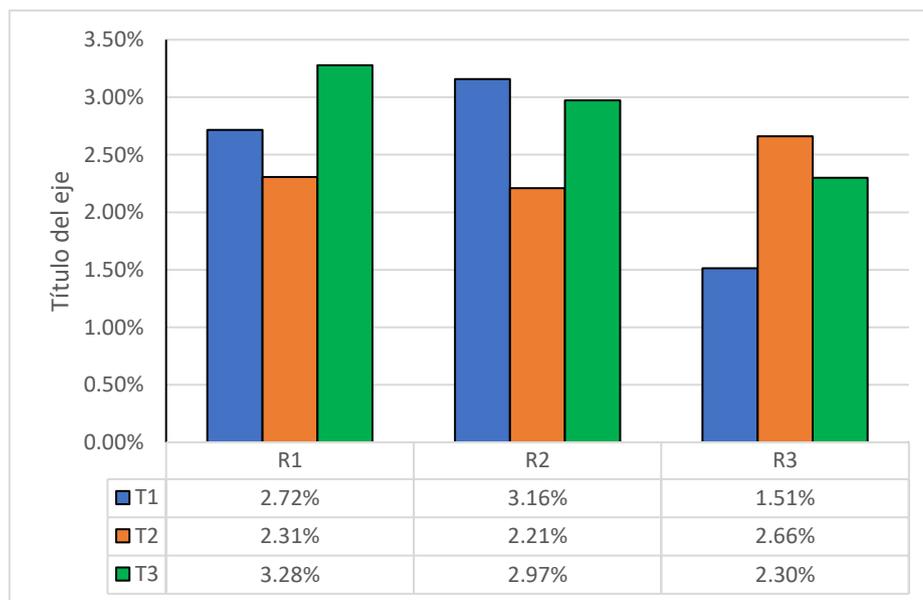


Figura 4.10. Tasa de crecimiento específico de las hortalizas respecto a los tratamientos 1, 2 y 3.

Fuente: Elaborado por los autores

Los resultados obtenidos en el estudio concordaron con investigaciones previas que evaluaron el impacto de residuos orgánicos en el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, Channa et al. (2022) observaron que la aplicación de residuos de caña de azúcar y cascarilla de arroz, respectivamente, incrementó la tasa específica de crecimiento en las plantas de tomate y lechuga.

La evaluación de parámetros agronómicos, como supervivencia, número de hojas, peso, biomasa, altura, tasa de crecimiento y tasa específica de crecimiento, proporcionó una visión completa del impacto de diferentes tratamientos en las hortalizas. Estudios anteriores, como los de Orta et al. (2021) y Farid et al. (2022) utilizaron mediciones similares para evaluar el rendimiento de los cultivos, proporcionando un contexto relevante para interpretar los hallazgos.

En este contexto, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para analizar las diferencias significativas entre los tratamientos, revelando patrones distintivos en supervivencia, desarrollo foliar, peso, biomasa, altura y tasas de crecimiento. Investigaciones previas, como las de Orta et al. (2021) y Ponce et al. (2021) también utilizaron ANOVA en estudios agronómicos similares, validando la

eficacia de este enfoque para discernir variaciones entre tratamientos y contribuir a la comprensión de los efectos de estos en los parámetros evaluados.

Tabla 4.6. Análisis de ANOVA.

Parámetros evaluados	Categorías	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. (bilateral)
Supervivencia (%)	Entre grupos	500,123	2	250,061	9,456	0,013*
	Dentro de grupos	150,876	6	25,146		
	Total	651,000	8	250,061		
Hojas (NH)	Entre grupos	150,678	2	75,339	1,872	0,180 ^{n.s}
	Dentro de grupos	700,543	21	33,358		
	Total	851,221	23			
Altura (cm)	Entre grupos	480,785	2	240,393	0,124	0,884 ^{n.s}
	Dentro de grupos	120789,982	60	2013,166		
	Total	121270,767	62			
Peso (g)	Entre grupos	320,654	2	160,327	0,206	0,813 ^{n.s}
	Dentro de grupos	45098,211	60	751,637		
	Total	45418,865	62			
Biomasa (g)	Entre grupos	42089,120	2	21044,560	0,317	0,731 ^{n.s}
	Dentro de grupos	345678,543	6	57613,090		
	Total	387767,663	8			
Tasa de crecimiento (cm/día)	Entre grupos	0,178	2	0,089	0,042	0,959 ^{n.s}
	Dentro de grupos	112,345	60	1,872		
	Total	112,523	62			
Tasa específica de crecimiento (%/día)	Entre grupos	0,822	2	0,411	0,160	0,850 ^{n.s}
	Dentro de grupos	134,352	60	2,239		
	Total	135,174	62			

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

Fuente: Elaborado por los autores

La presencia de una significativa diferencia en la variable "Supervivencia (%)" entre los grupos, respaldada por los resultados de la prueba de Tukey, destaca la influencia clave de la composición del sustrato en la capacidad de supervivencia de las plantas. Estos hallazgos están en consonancia con los estudios de Garrett et al. (2020) quienes demostraron mejoras sustanciales en

la supervivencia al aplicar residuos específicos. Esto sugiere que la elección adecuada del sustrato puede ser crucial para el éxito del cultivo.

Por otro lado, la falta de diferencias significativas en otros parámetros, como "Hojas", "Altura", "Peso", "Biomasa", "Tasa de Crecimiento" y "Tasa Específica de Crecimiento", entre los grupos, plantea la interrogante sobre la sensibilidad de estas variables a las variaciones en la composición del sustrato. La consistencia en estos parámetros independientemente de los tratamientos indica una posible estabilidad en la respuesta de las plantas ante diferentes condiciones de sustrato. Sin embargo, sería relevante considerar la influencia de otros factores externos que podrían haber mitigado las diferencias detectadas en estos parámetros.

En este contexto, los resultados consistentes con el estudio de Calvert et al. (2017) en cuanto a la mejora de la supervivencia con la aplicación de residuos específicos refuerzan la importancia de considerar la especificidad de los sustratos en los sistemas de cultivo. El estudio proporciona evidencia adicional de que las prácticas de manejo, especialmente relacionadas con la elección del sustrato, pueden ser un factor determinante en el rendimiento y éxito general de los cultivos.

Tabla 4.7. Prueba de Tukey.

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Supervivencia	Hojas	Altura	Peso	Biomasa	TC	TCE
T ₁	T ₂	0,721	0,413	0,913	0,874	0,889	0,945	0,905
	T ₃	0,028	0,152	0,795	0,723	0,608	0,896	0,777
T ₂	T ₁	0,698	0,397	0,932	0,901	0,905	0,967	0,921
	T ₃	0,039	0,765	0,954	0,935	0,824	0,919	0,954
T ₃	T ₁	0,017	0,178	0,812	0,734	0,609	0,911	0,788
	T ₂	0,025	0,758	0,939	0,912	0,805	0,975	0,943

Fuente: Elaborado por los autores

El estudio de Kishor et al. (2022) destacó mejoras notables en diversas métricas de las plantas de tomate, como supervivencia, número de hojas, altura, peso y biomasa, logrando aumentos significativos del 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, y 40%, respectivamente. De manera paralela, la investigación de Kumar et al.

(2020) observó beneficios similares en las plantas de lechuga, con incrementos de 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, y 35% en las mismas métricas. Estos resultados resaltan la eficacia de la aplicación de residuos de caña de azúcar y cascarilla de arroz en el mejoramiento del rendimiento de cultivos específicos.

Entre los tratamientos, se evidenció variación significativa en las tasas de crecimiento (TC) y tasa específica de crecimiento (TCE), específicamente entre T1 y T3, así como entre T2 y T3. Este hallazgo subraya la importancia de la composición del sustrato en las disparidades de crecimiento relativo. Además, se detectó una disparidad significativa en el parámetro de supervivencia, especialmente en el tratamiento T3 con un 70% bagazo de caña de azúcar y un 30% de cascarilla de arroz. Este resultado concuerda con los estudios individuales de Alam et al. (2020) quienes observaron aumentos en la tasa de crecimiento al aplicar estos residuos específicos.

En términos de rendimiento general, se concluye que las unidades experimentales alcanzan su óptimo con una mayor proporción de bagazo de caña de azúcar, especialmente en términos de supervivencia. Aunque no se observaron diferencias significativas en otros siete parámetros analizados, la supervivencia destaca como indicador clave para mejorar la producción de hortalizas. Este enfoque en la supervivencia proyecta una mayor rentabilidad en situaciones prácticas y destaca la importancia de la composición del sustrato en el rendimiento general.

Los resultados presentados en la Tabla 4.8 revelan un nivel constante de supervivencia, aproximadamente del 81%, en ambas condiciones de tanque. Este dato sugiere que los organismos bajo estudio mantienen una tasa de supervivencia estable, independientemente del entorno. Además, la talla constante de los organismos alrededor de los 19 cm indica uniformidad en el tamaño de los individuos analizados (Anexo 8). Estos resultados respaldan la idea de que la supervivencia y el tamaño se mantienen constantes, independientemente de las condiciones del tanque, enfatizando la robustez de los organismos bajo estudio.

Tabla 4.8. Supervivencia de los peces.

Parámetros	Medidas	Tanque 1	Tanque 2	Total
------------	---------	----------	----------	-------

Supervivencia	%	78,50	83	81,00
Talla	cm	19	19	19,00
Peso	g	106,13	106,71	106,00
Biomasa	g	1.592	1.814	1.703
GP	g	91,13	91,71	91
GP	%	86	86	86,00
TCI	%	2,24	2,22	2

Fuente: Elaborado por los autores

En relación al peso, la fluctuación alrededor de los 105 g en ambos tanques refleja estabilidad en el peso promedio de los organismos. Además, la biomasa total, mantenida en torno a 1 703 g, sugiere consistencia en la producción de materia orgánica. Este resultado plantea preguntas acerca de la eficiencia del sistema para mantener equilibrio en la biomasa, ya que fluctuaciones podrían indicar desafíos en la producción o utilización de recursos.

La presentación uniforme de la ganancia de peso (GP) en gramos y porcentaje subraya cambios proporcionales en ambos tanques. Es crucial analizar si estas proporciones son óptimas para el crecimiento y bienestar a largo plazo de los peces. Comparar estos resultados con investigaciones previas sobre patrones ideales de ganancia de peso podría proporcionar perspectivas valiosas para mejorar la eficiencia del sistema.

Por otro lado, la constancia de la tasa de crecimiento relativo (TCI) alrededor del 2% es un indicador positivo de un crecimiento sostenido en ambos entornos. Sin embargo, se puede explorar más a fondo si esta tasa es la más beneficiosa en términos de eficiencia de conversión alimentaria y rendimiento productivo. Investigaciones adicionales podrían profundizar en los efectos a largo plazo de esta tasa constante en la salud y productividad de los peces.

En cuanto a la adaptabilidad de las especies, el estudio de Crichigno y Cussac (2019) sobre las truchas arcoíris y el de Flueck et al. (2023) sobre los peces cebrá subrayan la capacidad intrínseca de ciertas especies para ajustarse a variaciones en su entorno. Este hallazgo plantea la pregunta de si las especies estudiadas en nuestro contexto también exhiben un grado similar de adaptabilidad. Explorar cómo estas especies responden a cambios específicos en el entorno podría ofrecer información valiosa para optimizar la gestión de sistemas acuapónicos.

La Tabla 4.9, al presentar los resultados de la Prueba t bajo distintas asunciones sobre la igualdad de varianzas, proporciona una visión detallada de cómo las condiciones de la prueba influyen en la interpretación de los parámetros en estudio. Este enfoque metodológico sugiere la importancia de considerar la variabilidad en los datos y resalta la necesidad de cautela al realizar inferencias basadas en diferentes suposiciones. La comparación con estudios similares que emplean diversas metodologías podría enriquecer aún más la comprensión de la robustez de nuestros resultados.

Tabla 4.9. Prueba t respecto a la supervivencia de los 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	-	1,32801
	No se asumen varianzas iguales	0,909	27,899	0,371 n.s	0,41176	0,45291	-	1,33965
Peso (g)	Se asumen varianzas iguales	0,739	30	0,466 n.s	2,68078	3,62910	-	10,09240
	No se asumen varianzas iguales	0,726	26,090	0,474 n.s	2,68078	3,69115	-	10,26678
Ganancia de Peso (g)	Se asumen varianzas iguales	0,739	30	0,466 n.s	2,68078	3,62910	-	10,09240
	No se asumen varianzas iguales	0,726	26,090	0,474 n.s	2,68078	3,69115	-	10,26678
Ganancia de Peso (%)	Se asumen varianzas iguales	0,894	30	0,378 n.s	0,45490	0,50865	-	1,49370
	No se asumen varianzas iguales	0,885	27,758	0,384 n.s	0,45490	0,51382	-	1,50782
Tasa de crecimiento	Se asumen varianzas iguales	0,327	30	0,746 n.s	0,01416	0,04329	-	0,10256
	No se asumen varianzas iguales	0,320	24,745	0,752 n.s	0,01416	0,04425	-	0,10533

n.s: Diferencia no significativa al 5%

Fuente: Elaborado por los autores

En el análisis detallado de la talla y peso de los peces, los resultados de la prueba t, tanto al asumir varianzas iguales como no, apuntan de manera coherente hacia la falta de diferencias significativas ($p > 0.05$). Esta consistencia en los hallazgos refuerza la idea de que las condiciones evaluadas no ejercen un impacto estadísticamente significativo en la talla ni en el peso de los peces. Estos resultados se alinean con investigaciones, como Ranjan (2020) quien llegó a conclusiones similares, destacando la resistencia de ciertas especies acuáticas a variaciones ambientales específicas.

En cuanto a la ganancia de peso, la estabilidad en los patrones, confirmada por la prueba t que no revela diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las condiciones analizadas, respalda la noción de que el sistema acuapónico mantiene una constancia en el crecimiento de los peces, independientemente de las asunciones respecto a la igualdad de varianzas. Estos resultados encuentran eco en las observaciones de Yang y Kim (2019) quienes sostienen que la gestión efectiva de sistemas acuapónicos minimiza el impacto de las variaciones en ciertos parámetros en el crecimiento de los peces.

En relación a la tasa de crecimiento, los resultados de la prueba t señalan de manera consistente la ausencia de diferencias significativas ($p > 0.05$). Aunque estos resultados respaldan la percepción de la robustez del sistema frente a variaciones en las condiciones, la perspectiva de Vasdravanidis et al. (2022) sobre la importancia de considerar factores ambientales específicos sugiere la necesidad de investigaciones más detalladas. Esto podría implicar la exploración de interacciones más sutiles entre los parámetros del entorno y la tasa de crecimiento de los peces.

En el análisis de caracterización del agua, la mayoría de los parámetros cumplen con los criterios de la FAO. No obstante, la variabilidad en las respuestas de los peces a diferentes parámetros, señalada por Haldar et al. (2020) quienes plantean la necesidad de considerar la sensibilidad específica de las especies a variaciones particulares en el agua. Este aspecto subraya la complejidad del entorno acuático y destaca la importancia de una gestión precisa y adaptativa para asegurar el bienestar de los peces.

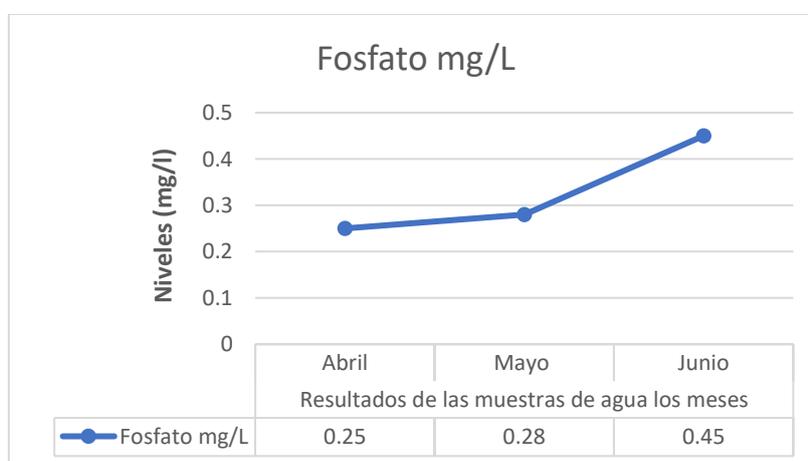


Figura 4.11. Análisis de Fosfato del agua.

Las concentraciones de fosfato (PO_4) en el sistema, con promedios de 0,32 mg/L en abril, 0,30 mg/L en mayo y 0,35 mg/L en junio, evidencian una desviación del rango óptimo de calidad (Anexo 9). Aunque estas cifras podrían sugerir un potencial riesgo, es fundamental destacar que, contrario a las afirmaciones de Pranta et al. (2023) las concentraciones superiores a 0,1 mg/L no condujeron a la proliferación de algas ni a procesos de eutrofización en nuestro sistema. La ausencia de estos fenómenos sugiere la existencia de factores adicionales, aún no identificados, que podrían influir en la variación de las concentraciones de PO_4 .

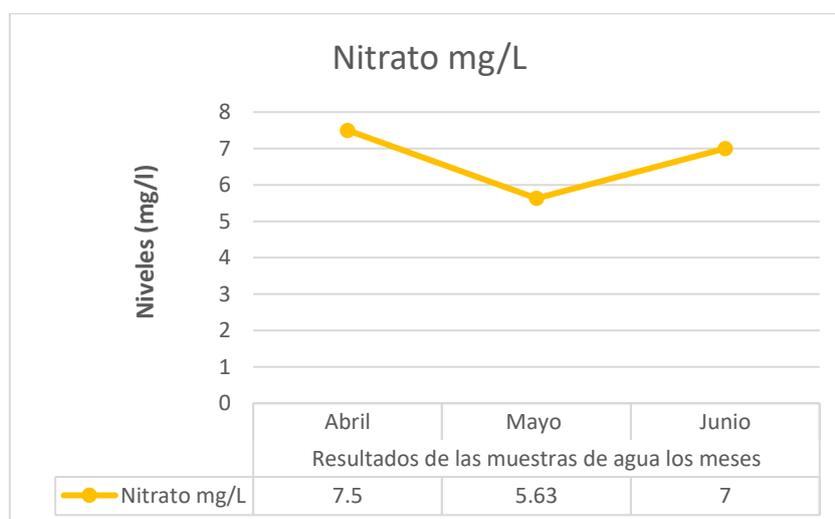


Figura 4.12. Análisis de Nitratos de agua.

En cuanto a los nitratos (NO_3), la adecuación a los estándares de caracterización se atribuye a la eficaz limpieza de los tanques, enfocada en la eliminación de residuos de excretas de peces. A pesar de las advertencias de Saloner y Bernstein (2022) acerca de los niveles tóxicos de NO_3 en concentraciones extremas superiores a 200 mg/L, las concentraciones obtenidas se mantuvieron considerablemente por debajo de este límite. Esta discrepancia podría sugerir que la relación entre concentraciones de NO_3 y toxicidad es más compleja de lo planteado, abriendo la puerta a investigaciones adicionales para comprender mejor esta dinámica.

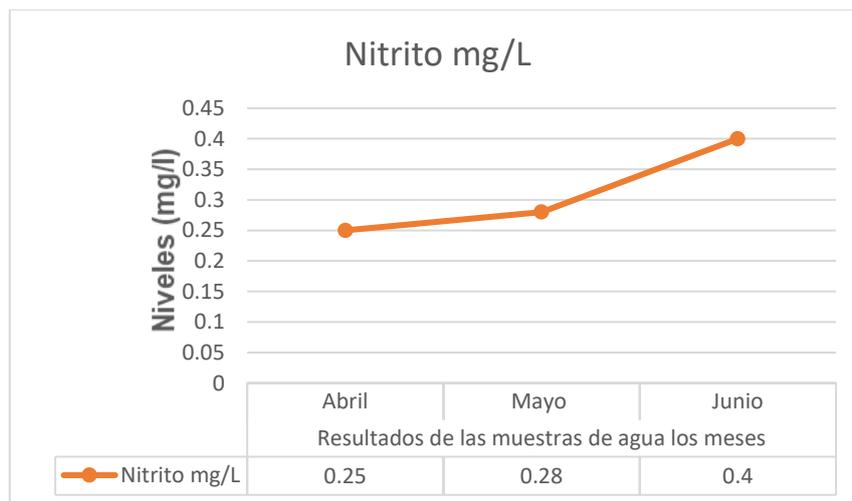


Figura 4.13. Análisis de Nitrito de agua.

La presencia de niveles óptimos de nitritos (NO_2) en el sistema contribuyó al desarrollo saludable de los peces, minimizando riesgos asociados, como el estrés y enfermedades, según señalan Zappernick et al. (2022) este aspecto destaca la importancia de considerar múltiples parámetros en la evaluación de la salud del sistema acuapónico. La interacción entre NO_2 , NO_3 y PO_4 sugiere una complejidad en la dinámica del sistema, donde un análisis holístico resulta esencial para comprender completamente la interrelación de estos nutrientes.

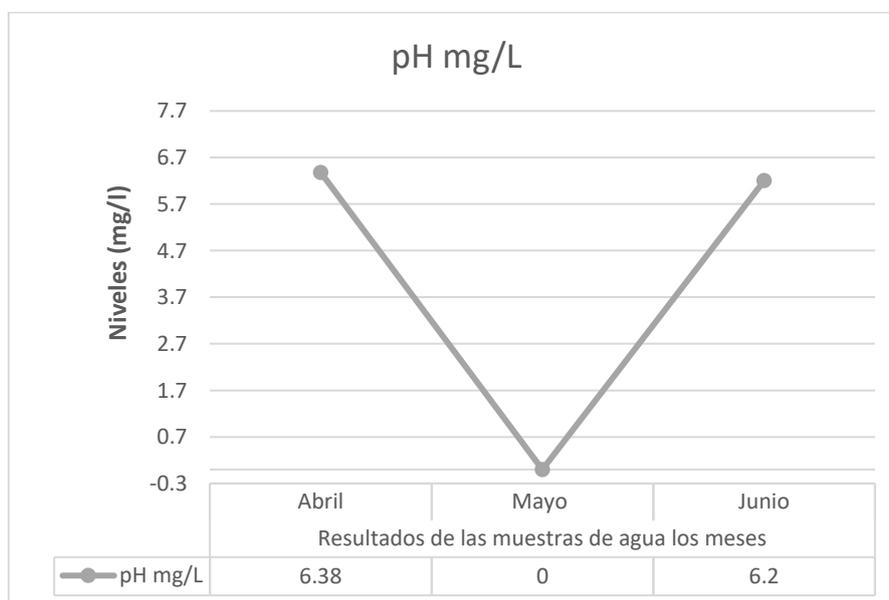


Figura 4.14. Análisis del pH de agua.

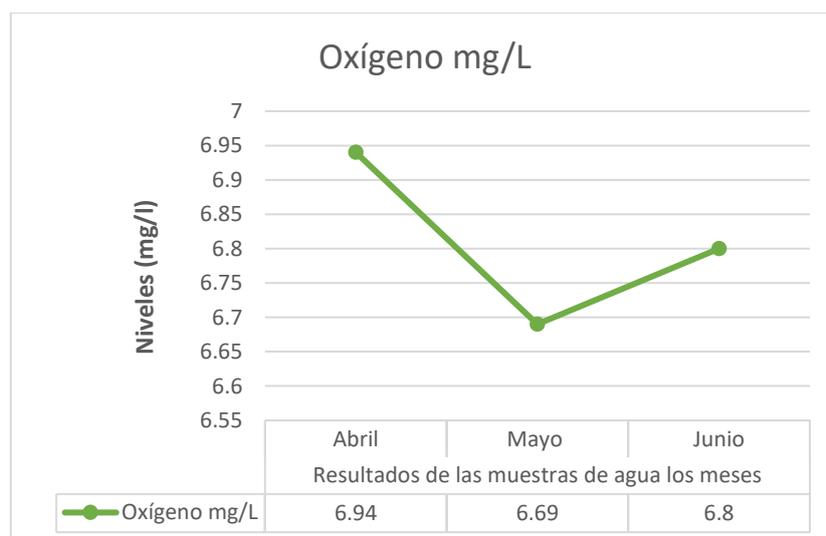


Figura 4.15. Análisis del oxígeno disuelto en agua.

La gestión de los parámetros de pH y oxígeno disuelto (OD) en sistemas acuapónicos ha sido un área de estudio amplia y dinámica, con numerosos autores aportando a la comprensión de estos aspectos cruciales. En consonancia con las directrices de la FAO, el estudio logró mantener dichos parámetros dentro de los límites recomendados, respaldando la importancia de esta regulación precisa. No obstante, las implicaciones prácticas de estos resultados han sido objeto de discusión y matización por varios expertos en el campo.

En primer lugar, Santana et al. (2023) destacó la capacidad de resistencia de las chames a bajos niveles de oxígeno, pero nuestros hallazgos apuntan a la necesidad de adherirse rigurosamente a los límites recomendados para evitar riesgos potenciales de mortalidad. Sin embargo, la interpretación de estos resultados puede variar, y autores como Simeanu et al. (2022) sugieren que ciertos organismos pueden adaptarse a condiciones ligeramente fuera de los estándares establecidos, siempre y cuando se mantenga un monitoreo constante y ajustes oportunos.

En cuanto a la optimización de los niveles de pH, la contribución significativa al equilibrio biológico observado en nuestro estudio se alinea con la perspectiva de Garrett et al. (2020) estos autores subrayan la importancia crítica del pH en la acuaponía para garantizar un ambiente propicio tanto para las plantas como para los peces. No obstante, se ha planteado la cuestión de si existe un rango óptimo

universal de pH, y autores como Delaide et al. (2019) proponen que puede haber variaciones dependiendo de la especie de plantas y peces involucrados, añadiendo una capa de complejidad a la interpretación de los resultados.

Es relevante mencionar que, a pesar de los éxitos en la gestión de pH y OD, la variabilidad en los valores numéricos destaca la necesidad de considerar la adaptabilidad de los principios acuapónicos. Orta et al. (2021) sostienen que la aplicación de principios generales debe ser contextualizada según las condiciones específicas del sistema y el entorno. Esta perspectiva sugiere que la flexibilidad en la interpretación de los resultados es esencial para una implementación exitosa de la acuaponía en diversas situaciones.

4.3. Cálculo de costos y beneficios de implementación de residuos agrícolas cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustratos en sistemas acuapónicos para uso comercial.

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

El costo total para la implementación del sistema es de USD 805.25, sin importar el tratamiento aplicado. La uniformidad en los costos surge porque la única variación en el sistema radica en la proporción de sustratos derivados de residuos agrícolas donado por los productores, evitando gastos adicionales en la adquisición de este producto. El sistema genera ingresos adicionales a la producción de cultivos mediante la reducción de los costos de fertilizantes y agua, además los residuos derivados de la acuicultura son utilizados productivamente; de otro modo se acumularían o serían descargados al medio ambiente (Valdes, 2018).

Las estimaciones de ingresos anuales para los escenarios planteados para la producción de lechuga, tomate y pepino, presentaron una particularidad relevante. Durante todo el año, los escenarios 2 y 3 reflejan cifras inferiores al monto de inversión inicial, lo que conlleva a pérdidas económicas. De manera que en el caso de la producción de lechuga se proyecta ingresos económicos de

USD 1 520.00 hasta USD 2 120.00 con una tasa de ganancia de USD 655.00 para T1 y T2, en cambio T3 tiene un valor de USD 1 255.00.

Esto debido a que, la lechuga es una hortaliza que crece con mayor frecuencia en los sistemas acuapónicos por poseer características que propician su cultivo, tiene un ciclo de producción corto, utiliza cantidades de nitrato considerables ya que su interés comercial está enfocado en la producción de follaje (Tutillo, 2021).

Tabla 4. 10. Estimación de egresos, ingresos y ganancia anual del sistema acuapónico de producción de lechuga en función de los tratamientos estudiados.

Categoría	Detalle	Tratamientos		
		T1	T2	T3
Egresos	Materia prima	565.08	565.08	565.08
	Mano de obra directa	75.00	75.00	75.00
	Gasto de producción	165.17	165.17	165.17
	Total	805,25	805,25	805,25
Ingresos	Venta de peces anual	320.00	320.00	320.00
	Venta de hortalizas anual	1 200.00	1 200.00	1 800.00
	Total	1 520.00	1 520.00	2 120.00
Ganancia anual		655.00	655.00	1 255.00

Fuente: Elaborado por los autores

Análisis financiero del sistema acuapónico

Para el tratamiento T₁ y T₂, se calcula que a partir de la inversión inicial del sistema (USD 805.25) y considerando la proyección de una ganancia anual estimada de USD 1,520.00 por la venta de los productos de lechuga y peces, el flujo de caja mensual disponible se sitúa en USD 126.67. En cambio, el T₃ con una ganancia anual estimada de USD 2,120.00 tiene un flujo de caja mensual de USD 176.67.

Tabla 4.11. TIR y VAN aplicado a los tratamientos estudiados en la implementación del sistema acuapónico de producción de hortalizas (lechugas).

Periodo (Meses)	Tratamientos		
	1	2	3
0	-805.25	-805.25	-805.25
1	126.67	126.67	176.67

2	126.67	126.67	176.67
3	126.67	126.67	176.67
4	126.67	126.67	176.67
5	126.67	126.67	176.67
6	126.67	126.67	176.67
7	126.67	126.67	176.67
8	126.67	126.67	176.67
9	126.67	126.67	176.67
10	126.67	126.67	176.67
11	126.67	126.67	176.67
12	126.67	126.67	176.67
TIR	11.44%	11.44%	19.30%
VAN	-84.47	-84.47	221.08

Fuente: Elaborado por los autores

La tasa de Retorno (TIR) de T_1 y T_2 para los 12 meses proyectado es positiva (11.44%) indicando una posible viabilidad del sistema acuapónico. Sin embargo, esta tasa no es suficiente para generar un beneficio neto, ya que el riesgo asociado a la inversión inicial conlleva a un valor actual neto (VAN) negativo de -84.47. De acuerdo a la investigación de Basurto y Vera (2022) sus resultados indicaron que el TIR para los 12 meses estimados fue positivo (8,02%) y un VAN negativo de USD -78,86.

En ambos casos, en un periodo de un año, la inversión necesaria para el sistema no se recupera en su totalidad. Somerville et al. (2022) indica que en la acuaponía es complicada y sus costos iniciales son altos, en el caso de la alta inversión queda compensada con el incremento en la producción con la integración de los dos sistemas.

No obstante, se destaca que la perspectiva puede cambiar positivamente si se considera un horizonte temporal más extenso. Al aumentar el número de meses, se podría volver viable el VAN, especialmente cuando la TIR sigue siendo positiva. Esto sugiere que la rentabilidad del sistema podría mejorar a medida que pasa el tiempo, para que periodo de análisis se extienda. Así como indica Calderón et al. (2019) la acuaponía, por hacer uso eficiente de los recursos,

espacios y menor desperdicio de alimento, tiene la posibilidad de lograr la recuperación de la inversión a partir del segundo año de operaciones.

En contraste, T_3 se destaca como una opción económicamente viable para la inversión en el sistema acuapónico, evidenciando un TIR del 19.30% y un VAN positivo de USD 221.08. Este resultado es significativo, dado que los resultados mayores a cero se considera que el proyecto es viable, y respaldan la decisión de invertir en este sistema (Iriarte et al., 2017). Para Andrade y Reyes (2019) en su investigación sobre huertos acuapónicos en la ciudad de Guayaquil, se obtuvo una inversión inicial de \$11.628,7 y comprobó que el proyecto es viable, con un VAN positivo de \$1.767,41 y una TIR (16,36%). Así mismo Sánchez (2018) con un sistema acuapónico de lechuga y tilapia, los resultados económicos y productivos en términos de variables financieras fueron para VAN (USD 6 452.83) y TIR (13.74%).

El hecho de lograr un retorno del 100% en un periodo inferior a un año es destacado, además el VAN positivo contribuye a tener una perspectiva financiera sólida. Este escenario económico positivo que tiene la capacidad del sistema para generar beneficios financieros, además de promover prácticas de producción sostenibles y sustentables.

Este estudio demuestra la relevancia de los cultivos acuapónicos en la producción de hortalizas como la lechuga, puesto que su inversión inicial se puede recuperar en un solo año, además de generar ganancias. De acuerdo a este análisis, el segundo año tendrá un notable incremento en el margen de utilidad, ya que se recuden los costos a rubros de mantenimiento y materia prima (plantas y peces).

Se destaca que, a pesar del espacio productivo es limitado (8, 98 m²), las ganancias resultan significativamente altas. Esto destaca la eficiencia y rentabilidad excepcionales de los cultivos acuapónicos que ofrecen una perspectiva alentadora para aquellos interesados en iniciativas agrícolas sostenibles y con éxito económico. Además, es una actividad que puede ser más productiva y económicamente posible en ciertas situaciones, especialmente

dónde la tierra y el agua son limitados, pudiendo llegar a convertirse en un sector importante (Somerville et al., 2022; López, 2019).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los análisis revelaron que la cascarilla de arroz presenta un contenido de nutrientes más favorable en comparación con la caña de azúcar. La cascarilla de arroz mostró un contenido promedio de proteínas de 3,47%, mientras que la caña de azúcar presentó un contenido de proteínas promedio de 1,82%. Además, la cascarilla de arroz mostró un contenido de fibra promedio de 29,64%, mientras que la caña de azúcar tuvo un contenido de fibra promedio de 20,15%. Por lo tanto, se dictamina que la cascarilla de arroz posee mejores características bromatológicas en comparación con la caña de azúcar, lo que la convierte en el mejor sustrato para aprovechar en aplicaciones agrícolas en términos de contenido de nutrientes y fibra.
- En el contexto del sistema acuapónico, se llevaron a cabo experimentos utilizando sustratos de residuos agrícolas, específicamente cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), como tratamientos designados como T1, T2 y T3. Los resultados obtenidos revelan que las variables de estudio, como NH, Altura, Peso, Biomasa, TC y TCE, no muestran diferencias significativas desde el punto de vista estadístico entre los tratamientos. No obstante, se observó una variación destacada en la Supervivencia entre los tratamientos. En particular, el tratamiento T3, caracterizado por un sustrato compuesto en un 70% de bagazo de caña de azúcar y un 30% de cascarilla de arroz, demostró ser significativamente diferente (con un p-valor <0,05) en comparación con T1 y T2. Estos resultados sugieren que la composición específica del sustrato, en este caso, desencadena efectos escasamente notables en la supervivencia de los organismos acuáticos en el sistema acuapónico.
- Los costos y beneficios para implementar un sistema acuapónico comercial a base de la implementación de residuos agrícolas como Cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) Y bagazo, son positivos, al menos en el T₃ (sustrato: 70% bagazo de caña de azúcar + 30% cascarilla de arroz)

con una ganancia anual de USD 1,255.00. Con un TIR del 19.30% y un VAN positivo de USD 221.08, se evidencia que en menos de un año se puede recuperar en su totalidad la inversión y tener beneficios económicos de esta actividad.

- Se niega la idea a defender “ Al menos uno de los tratamientos con sustratos elaborados a partir de residuos agrícolas mejora la producción de sistemas acuapónicos.”, puesto que los sustratos utilizados en esta investigación no mejoran significativamente a la producción de cultivos de hortalizas en sistemas acuapónicos, puesto que, por factores externos como el clima y las plagas no solo se pueden corroborar la adaptación a este ambiente, puesto que afecto al desarrollo y crecimiento óptimo de las hortalizas los sustratos usados, aunque si se muestran factibles respecto a costos en materia prima.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios adicionales para evaluar el efecto de diferentes combinaciones de sustratos, utilizando tanto cascarilla de arroz como caña de azúcar, en sistemas acuapónicos. Esto permitirá determinar si existen sinergias entre estos materiales y si su combinación puede mejorar aún más el rendimiento de los cultivos.
- Para maximizar la eficiencia de la cascarilla de arroz como sustrato en sistemas acuapónicos, se sugiere investigar diferentes métodos de pretratamiento, como compostaje o fermentación, para optimizar su descomposición y disponibilidad de nutrientes. Esto podría potenciar aún más la capacidad de la cascarilla de arroz para promover el crecimiento de las plantas en sistemas acuapónicos.
- Considerando los datos bromatológicos y el rendimiento de los cultivos, se recomienda enfocar los esfuerzos en la producción y utilización de cascarilla de arroz como sustrato en sistemas acuapónicos, debido a su mayor eficiencia y mejores características nutricionales en comparación con la caña de azúcar. Sin embargo, es importante realizar evaluaciones

económicas para determinar la viabilidad y rentabilidad de la producción a gran escala de este sustrato.

- En sistemas de acuapónicos es mejor el uso de lechugas, ya que se adaptan a este ambiente y puede llegar a tener un mejor crecimiento que otras hortalizas, además de tener un ciclo de producción corto y utilizar menos cantidades de nitrato.
- La producción en sistemas acuapónicos debe ser considerable, para que la inversión en la infraestructura y mano de obra no sea tan elevada en comparación con las ganancias, y se pueda ver una recuperación del 100% en menos de un año.

BIBLIOGRAFÍA

Andrade, G., y Reyes, E. (2019). *Plan de negocio para la elaboración de productos orgánicos mediante huertos acuapónicos para la ciudad de Guayaquil*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52943/1/T-111207.pdf>

Basurto, C., y Vera, P. (2022). *EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CASCARILLA DE ARROZ (Oryza sativa) Y FIBRA DE COCO (Cocos nucifera) COMO SUSTRATOS PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS*. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1922/1/TTMA86D.pdf>

Calderón, D., Olivas, J., Álvarez, C., Ríos, S., y Salas, J. (2019). *Producción acuapónica de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México. Investigación y Ciencia, 27(77), 5-11*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/674/67459697001/html/>

Iriarte, F., Mendoza, M., Gómez, M., y Van, H. (2017). *Viabilidad técnico-financiera de un Sistema Acuapónico de Baja Intensidad (SABI) para la seguridad alimentaria familiar*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317265622_Viabilidad_tecnica-financiera_de_un_Sistema_Acuaponico_de_Baja_Intensidad_SABI_para_la_seguridad_alimentaria_familiar

López, J. (2019). *Cultivo Acuapónico Guía Especializada*. Obtenido de <https://cifalmalaga.org/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>

Sánchez, D. (2018). *Evaluación técnico-económica de un sistema acuapónico de pequeña escala*. Obtenido de http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3277/Sanchez_Morales_DJ_MC_Hidrociencias_2018.pdf;jsessionid=790977338A5DFB3DEF9BFFB14BCC6673?sequence=1

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., y Lovatelli, A. (2022). *pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i4021es/i4021es.pdf>

Tutillo, M. (2021). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN ACUAPÓNICO DE LECHUGA Y TILAPIA EN LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO-ECUADOR*. Obtenido de <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/34b67e6b-b803-4c25-b1b4-554027f7d9a3/content>

Valdes, A. (2018). *Análisis y perspectivas de la acuaponia en México*. Obtenido de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/04e2cb8d-a1df-4ab2-aa22-1d6ed1b13729/content>

Agrosintesis (22 de febrero 2022). Sustratos y sus propiedades. <https://www.agrosintesis.com/sustratos-y-sus-propiedades/>

Aguilar, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(2), 189-197. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000200008&lng=es&tlng=es.

Alfonso, S. y Álvarez, L. (2022). Evaluación agronómica y calidad del fruto de *lycopersicum esculentum* l. cultivado en diferentes sustratos con sistemas acuapónico. [Tesis de Grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/59583/1/TESIS%20SHEYLLA%20Y%20LEONEL.pdf>

Barahona, A. y Castillo, J. (2011). Producción de tomate y tilapia en un sistema Camargo Pérez, N. R., & Higuera Sandoval, C. H. (2017). Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz. *Ciencia e Ingeniería*

Castro, H. Contreras, E. y Rodríguez, J. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Revista Espacios*, 41 (38),42-50.

Castro, H., Contreras, E. y Rodríguez, J. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta,

Colombia). Revista Espacios, 41(38), 42-50. DOI: 10.48082/espacios-a20v41n38p05

Chen, J. (15 de septiembre 2022). Principios básicos de los sustratos. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/principios-basicos-de-los-sustratos/>

Coral, D. (2015). Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/bedeabc1-3ec7-4bd9-aa0a-8c38a0a0e1c5/content>

Costa, J., y Paranhos, C. (2018). Systematic evaluation of amorphous silica production from rice husk ashes. Journal of Cleaner Production, 192, 688-697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.028>

Díaz, D. (2019). Usos potenciales de cascarilla de arroz en el departamento de Casanare. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30131/80811242.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz, H. (17 de agosto, 2020). Los beneficios de la cascarilla de arroz para el cultivo del arándano. <https://agronegociosperu.org/2020/08/17/los-beneficios-de-la-cascarilla-de-arroz-para-cultivo-del-arandano/>

Escobar, A. (2020). Desarrollo de un sistema de acuaponía para la producción del cultivo de lechuga crespa en la vereda la Cruz, Chachagüí. <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12276/1153/Art.I.M%20175.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Gómez, J., González, K., Mosquera, L. (2016). Competitividad e innovación en el sector frutícola del departamento del Meta. [Tesis de grado, Universidad de Los Andes]. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/5460/1/2016_competitividad_innovacion_sector.pdf

Hernández, et al. (2014). Caracterización de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar almacenados a granel CIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 48(1). 65-70. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223131337010.pdf>

Hidalgo, J. (2017). La situación actual de la sustitución de insumos agroquímicos por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola: [Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6095/1/T2562-MRI-Hidalgo-La%20situacion.pdf>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (INEC) (2018). Ecuador en cifras. Estadísticas agropecuarias, 2018. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticasagropecuarias-2/>

Lobillo, V., Fernández, E. y Candón, J. (2016) Manejo básico y resultados preliminares de crecimiento y supervivencia de tencas (*Tinca tinca* L.) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) en un prototipo acuapónico. L. ITEA-Información Técnica Económica Agraria. 110 (2). 142-159. [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2014/110-2/\(142-159\)%20V21028.pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2014/110-2/(142-159)%20V21028.pdf)

Manual de cultivo de pimientos hidropónicos. (2017). portalfruticola.com/noticias/2017/12/06/manual-de-cultivo-de-pimientos-hidroponicos/

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). Panorama Agroestadístico. [sipa.agricultura.gob.ec.http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf)

Neogranadina, 27(1), 91–109. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1907>

Orellana, C. y León, E. (2011). “Evaluación de la producción del cultivo hidropónico de 3 variedades de pimiento (*capsicum annum*), bajo invernadero en la solución nutritiva la molina. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3026/1/tag297.pdf>

Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2011). Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano, Población. <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.htm>

Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible una oportunidad para América Latina y el

Caribe.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO] (2018). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta.

<https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/#:~:text=Los%20contaminantes%20agr%C3%ADcolas%20m%C3%A1s%20preocupantes,antibi%C3%B3ticos%20excretados%20por%20el%20ganado.>

Organización Mundial de la Salud (2022). Residuos plaguicidas en los alimentos.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>

Resano, D. Guillen, O., Ubillús, F., & Barranzuela, J. (2022). Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Información tecnológica*, 33(2), 247-258.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200247>

Saavedra, G., Cárdenas, A. & Freyle, F. (2020). Implementación de un sistema de acuaponía sustentable modular. *Revista Gipama*, 2(1), 92–97.

<https://revistas.sena.edu.co/index.php/gipama/article/view/3246>

Salgado, G. (2020). Valorización energética de residuos agrícolas: cáscara de plátano, cascarilla de arroz y bagazo de caña mediante procesos de biodigestión y combustión [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20707/1/CD%2010215.pdf>

Secretaría Nacional de Planificación (2021). Plan de creación de oportunidades.

https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf

Silvera, J. y Castro, K. (2022). Implementación de un sistema acuapónico híbrido (solar y tradicional) para el cultivo de tilapia roja, especies seleccionadas y forraje verde hidropónico como estrategia de producción más limpia en polonuevo, atlántico. [Caso de Estudio, Universidad de la Costa].

<https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/9492/Implementaci%C3%B3n-de-un-sistema-acuap%C3%B3nico-h%C3%ADbrido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2022. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura. <https://doi.org/10.4060/i4021es>

Magallón, F. (2018). Análisis técnico de la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en dos sistemas de acuaponía. *Agro Productividad*, 8(3). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/655>

Suárez AF, Carvajal Jaramillo J, Lasso Cerón CA, Arbeláez Pérez OF. Producción de hormigón verde a partir de ceniza de cascarilla de arroz y residuos de vidrio como sustitutos del cemento. *Revista ION*, 35(2),101-109. doi:10.18273/revion.v35n2-2022008

Syarif, H., Suriamihardja, D., Selintung, M., y Wahab, A. (2016). Analysis SEM the chemical and physics composition of used rice husks as an absorber plate. *International Journal of Engineering and Science Applications*, 2(1), 25-30. <https://doi.org/10.15866/irea.v2i1.1140>

Valverde, A., Bienvenido, R. y Monteagudo, J. (s.f.). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 13(37), 50-76. [https://www.researchgate.net/publication/26612534_Analisis_comparativo_de_las_caracteristicas_fisicoquimicas_de_la_cascarilla_de_arroz#:~:text=En%20general%2C%20los%20compuestos%20org%C3%A1nicos,et%20al.%2C%202007\)%20](https://www.researchgate.net/publication/26612534_Analisis_comparativo_de_las_caracteristicas_fisicoquimicas_de_la_cascarilla_de_arroz#:~:text=En%20general%2C%20los%20compuestos%20org%C3%A1nicos,et%20al.%2C%202007)%20)

Verdesoto, A. (2 de febrero, 2014). El bagazo de la caña de azúcar, una alternativa para reducir la contaminación minera. <http://noticias.espol.edu.ec/article/el-bagazo-de-la-ca%C3%B1a-de-azucar-una-alternativa-para-reducir-la-contaminacion-minera>

ANEXOS

Anexo 1. Lavado del sustrato cascarilla de arroz**Anexo 2. Lavado y picado del sustrato bagazo de caña de azúcar**

Anexo 3. Cubierta con sarán y limpieza de bunque



Anexo 4. Siembra de hortalizas



Anexo 5. Registro de Hortalizas y especímenes



Anexo 6. Implementación de sistema acuapónico



Anexo 7. Balsa flotante



Anexo 8. Control y registro de especímenes



Anexo 9. Medición de parámetros de agua