



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en condiciones hidropónicas con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis Azolla-Anabaena y lixiviado de raquis de banano.

Trabajo de Titulación Previo a la
Obtención del Título de Magíster en
Agroecología y Desarrollo Sostenible

AUTOR:

Harry Anderson Ortiz Villavicencio

DIRECTOR:

Edison Ramiro Vásquez, PhD.

Loja- Ecuador

2023

Certificación

Loja, 14 de julio de 2023

Edison Ramiro Vásquez, PhD.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en condiciones hidropónicas con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla Anabaena* y lixiviado de raquis de banano**, de autoría del estudiante **Harry Anderson Ortiz Villavicencio**, previa a la obtención del título de **Magister en Agroecología**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**EDISON RAMIRO
VASQUEZ .**

Edison Ramiro Vásquez, PhD.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Harry Anderson Ortiz Villavicencio**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí del Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Harry Anderson Ortiz Villavicencio.
C.I 1105236630

Harry Anderson Ortiz Villavicencio

Cédula de Identidad: 1105236630

Fecha: 17 de julio del 2023

Correo electrónico: harry.ortiz@unl.edu.ec

Teléfono Celular: 0984380926

Carta de autorización por parte del autor para consultar, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Harry Anderson Ortiz Villavicencio** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en condiciones hidropónicas con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla Anabaena* y lixiviado de raquis de banano**, como requisito para optar el título de **Magister en Agroecología** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de julio del dos mil veintitrés

Firma:



Firmado en: harryortiz@unl.edu.ec
**HARRY ANDERSON
ORTIZ
VILLAVICENCIO**

Harry Anderson Ortiz Villavicencio.
C.I 1105236630

Autor: Harry Anderson Ortiz Villavicencio

Cédula: 1105236630

Dirección: Palanda-Zamora Ch.

Correo electrónico: harry.ortiz@unl.edu.ec

Teléfono Celular: 0984380926

DATOS COPLEMENTARIOS:

Director de Titulación: Edison Ramiro Vásquez, PhD.

Dedicatoria

A mis queridos padres, desde el inicio de mi formación, ustedes han sido mis pilares inquebrantables. Gracias por su amor incondicional, por su apoyo inquebrantable y por siempre creer en mí. Han sido mi fuente de inspiración y fortaleza durante los momentos difíciles. A mi adorada hija, eres mi mayor motivación y el motivo por el cual me esfuerzo cada día.

A mi estimado director del Trabajo de Titulación, su guía y apoyo durante todo este proceso han sido invaluable. Gracias por su dedicación, paciencia y sabiduría, que han sido fundamentales para el éxito de esta investigación. Su experiencia y asesoramiento constante han sido un faro en momentos de incertidumbre.

Y cada una de las personas cercanas a mí, les dedico este trabajo de investigación como un símbolo de agradecimiento y reconocimiento. Han sido parte fundamental de mi trayectoria académica y personal, y este logro no habría sido posible sin su apoyo y orientación.

Harry Anderson Ortiz Villavicencio

Agradecimiento

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas personas que ha hecho posible esta culminación a la Universidad y docentes por la educación invaluable, conocimientos, recursos y oportunidades han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional. Gracias a todos por guiarme en este camino de aprendizaje y por contribuir a mi éxito.

Harry Anderson Ortiz Villavicencio

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas	x
Índice de figura	xi
Índice de Anexos	xii
1. Título:	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	9
4.1. Agroecología	9
4.2. Helecho de agua (<i>Azolla</i> sp.) asociado con <i>Anabaena</i> sp.....	10
4.2.1. Clasificación taxonómica de la <i>Azolla</i>	11
4.2.2. Características de <i>Azolla</i>	11
4.2.3. <i>Azolla</i> en la agricultura.....	13
4.3. Lixiviado de raquis de plátano.....	14
4.4. Nitrógeno.....	15
4.4.1. Ciclo del nitrógeno	15
4.4.3. Nitrógeno en la Agricultura.....	16
4.4.4. Fijación biológica del nitrógeno	17

4.4.5. Mineralización del nitrógeno.....	17
4.5. Agricultura Biogenética, NitrAgua.....	18
4.5.1. Lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>)	19
4.5.2. Descripción botánica.....	20
4.5.3. Clasificación taxonómica de la lechuga.....	20
4.5.4. Morfología de la Lechuga.....	21
4.6. Plagas y enfermedades.....	22
4.7. Requerimientos nutricionales para la lechuga hidropónica.....	23
4.8. Hidroponía.....	23
4.8.1. Ventajas de los cultivos por hidroponía	24
4.8.2. Técnicas Hidropónicas.....	24
4.8.3. Sistema NFT (<i>Nutrient Film Technique</i>).....	25
4.9. Sustratos para cultivos hidropónicos	26
4.10. Preparación del sustrato.....	26
4.10.1. Reutilización del sustrato	26
4.10.2. Limpieza y desinfección del sustrato	27
4.10.3. Sustratos utilizados.....	27
5. Metodología	29
5.1. Ubicación de estudio	29
5.1.1 Metodología para el primer objetivo específico	30
5.1.2. Contenido de nitrógeno en el azollario.....	31
5.1.3. Metodología para el segundo objetivo	31
Modelo estadístico	31
6. Resultados	35
6.1. Producción de nitrógeno a partir de la simbiosis <i>Azolla-anabaena</i> en condiciones accesibles para los agricultores del cantón Palanda.	35
6.1.2 Desarrollo del cultivo de <i>Azolla filiculoides</i>	35

6.1.3. Análisis químico de NitrAgua.....	37
6.2. Efecto del biofertilizante resultado de la simbiosis <i>Azolla-Anabaena</i> y lixiviado del raquis del banano en el cultivo hidropónico de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	39
7. Discusión	46
8. Conclusiones	49
9. Recomendaciones	50
10. Bibliografía.....	51
11. Anexos	59

Índice de tablas

Tabla 1.	Taxonomía de la Azolla	11
Tabla 2.	Clasificación taxonómica de la lechuga	20
Tabla 3.	Solución química nutritiva para lechuga, en un litro de agua	23
Tabla 4.	Esquema de los tratamientos	32
Tabla 5.	Solución nutritiva química utilizada	33
Tabla 6.	Análisis Químico de Nutrientes disponibles en el BIOL-RAQUIS	34
Tabla 7.	Análisis químico de nutrientes disponibles en el extracto de Azolla Anabaena ...	34
Tabla 8.	Solución nutritiva química utilizada	34
Tabla 9.	Propiedades químicas del agua durante el experimento.....	35
Tabla 10.	Diferencia de altura entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (Lactuca sativa L.).....	39
Tabla 11.	Valores promedio y la comparación estadística entre los tratamientos	40
Tabla 12.	Diferencia de número de hojas entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (Lactuca sativa L.).....	41
Tabla 13.	Diferencia de largo de raíz entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (Lactuca sativa L.).....	42
Tabla 14.	Diferencia de peso entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (Lactuca sativa L.).....	44

Índice de figura

Figura 1. Alga Azolla.....	13
Figura 2. Filamentos de Anabaena.....	13
Figura 3. Ubicación del estudio	29
Figura 4. Esquema de los azollarios.....	30
Figura 5. Crecimiento de Azolla filiculoides	36
Figura 6. Aumento de la biomasa de Azolla filiculoides	36
Figura 7. Contenido de Nitrógeno y Fósforo presente en la NitrAgua	37
Figura 8. Variación del pH en la NitrAgua	38
Figura 9. Variación de la C.E. en la NitrAgua	39
Figura 10. Diferencia de altura entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (Lactuca sativa L.).....	40
Figura 11. Diferencia de numero de hojas entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (Lactuca sativa L.).....	42
Figura 12. Diferencia de largo de raíz entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (Lactuca sativa L.).....	43
Figura 13. Peso del Cultivo promedio al día de cosecha en gramos según cada tratamiento ..	44

Índice de Anexos

Anexo 1. Construcción de los Azollarios.....	59
Anexo 2. Obtención del Lixiado de Raquis, Vines	59
Anexo 3. Siembra de Azolla con área específica 0.0625m ²	60
Anexo 4. Progreso de Crecimiento de cobertura en azollario Canopeo	60
Anexo 5. Establecimiento De Los Tratamientos.....	61
Anexo 6. Toma de datos	61
Anexo 7. Toma muestras de agua y datos azollarios	62
Anexo 8. Equipo de trabajo.....	63
Anexo 9. Certificación de Traducción	63

1. Título:

Producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en condiciones hidropónicas con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis Azolla-Anabaena y lixiviado del raquis de banano

2. Resumen

La investigación se realizó en las instalaciones de la Unidad Educativa “Oriente Ecuatoriano”, donde se sometió a estudio al helecho flotante de agua dulce *Azolla filiculoides*, capaz de fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con la bacteria *Anabaena* y convertirlo en formas asimilables para las plantas. Esta labor se dividió en dos partes; producción de nitrógeno mediante azollarios, obteniendo un aumento de 180 % en la disponibilidad de Nitrógeno y 57 % de fósforo, desde el muestreo inicial hasta que la *Azolla filiculoides* cubrió el 65 % del Azollario, a los 20 días; y posteriormente la evaluación de su uso como biofertilizante en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en condiciones hidropónicas. En un diseño experimental de bloque al azar y en un sistema hidropónico tipo NFT, donde se probaron cuatro tratamientos: Solución **química** completa, **Biomasa de Azolla y Raquis de banano**, Raquis de banano y **Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno**; se recopilaron datos de altura de planta, número de hojas, longitud de la raíz y peso a los 7, 14, 21, 28 y 38 días. Los mejores resultados se obtuvieron a los 38 días con la Solución completa; sin embargo, no hubo diferencia significativa con el rendimiento obtenido con el tratamiento Extracto de Azolla más Lixiviado del Raquis de Banano.

Palabras clave: Fijación de nitrógeno, NFT, NitrAgua, Azollario.

2.1 Abstract

The research was carried out in the facilities of the "Oriente Ecuatoriano" High School, where it was subjected to the study to the floating fern of freshwater *Azolla filiculoides*, which is able to set atmospheric nitrogen in symbiosis with the *Anabaena* bacterium and turn it into assimilable forms for the plants. This work was divided into two parts; nitrogen production by means of azollarios, obtaining an increase of 180% in nitrogen availability and 57% of phosphorus, from initial sampling until *Azolla filiculoides* covered 65% of the azollario, to the 20 days; and later the evaluation of its use as biofertilizer in the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic conditions. In an experimental design of random block and in a hydroponic system type NFT it was tested four treatments: Complete chemical solution, *Azolla* Biomass and Banana Rachis, banana Rachis and *Azolla* Biomass and solution without Nitrogen; the data collected was of plant height, number of leaves, root length and weight at 7,14,21,28 and 38 days. The best results were obtained at 38 days with the complete Solution; however, there wasn't significant difference with the performance obtained with the *Azolla* extract plus leached of banana rachis treatment. The characteristics of the water in the azollario were: pH average of 7 and 130mg/L.

Keywords: Nitrogen fixation, NFT, NitrAgua, Azollario.

3. Introducción

Gutiérrez (2008) propone que la agroecología propone conseguir la sustentabilidad en los agroecosistemas, la preservación de la agro biodiversidad, el reutilizamiento de nutrientes, la conservación del suelo, entre otros. Pero la mayor limitante de la agricultura ecológica es la evaluación de su eficiencia en sus tres dimensiones principales: económica, ecológica y sociocultural.

En 1994 se marcó un hito en la historia, se extendió un acuerdo general en las comunidades científicas agrícolas, propone que la agricultura se enfrenta a una crisis ambiental. La raíz de esta crisis radica en el uso de prácticas agrícolas intensivas basadas en uso de insumos que conducen a la degradación de los recursos naturales a través de procesos como la erosión del suelo, la salinización, la contaminación por pesticidas, la desertificación y la pérdida de fitomasa llegando a la disminución gradual de la productividad (Altieri, 1994).

El impacto ambiental de la agricultura es el efecto que las diferentes prácticas agrícolas tienen sobre el medio ambiente, basadas en el uso excesivo de agroquímicos, generando problemas como el desgaste y la contaminación de los suelos agrícolas. Por esta razón, es necesario buscar alternativas ecológicas y lograr una agricultura sostenible a lo largo del tiempo y de igual manera abaratar costos a los productores y complementario a esto una cadena alimenticia más saludable al consumidor final (Suárez, 2022).

El uso excesivo de fertilizantes sintéticos de base nitrogenada en la producción agrícola, no afecta solamente a la economía desde el punto de vista de adquisición de los mismos, sino también, un problema que pueden ser asociado a desequilibrios en el suelo que perjudiquen su fertilidad y sostenibilidad a lo largo del tiempo (Gavilanes, 2018).

La agricultura convencional promueve el uso de fertilizantes minerales solubles con el objetivo de maximizar la rentabilidad de los cultivos. Sin embargo, la amplia aplicación de estos fertilizantes conlleva una serie de consecuencias negativas, como la eutrofización, la generación de aguas tóxicas, la contaminación de las aguas subterráneas, la contaminación del aire, la degradación de la estructura del suelo y la disminución de la biodiversidad microbiana. Es importante destacar que las plantas solo pueden absorber entre un 30 % y un 50 % de los fertilizantes químicos aplicados, lo que implica que el resto se pierde en el suelo (Ulibarry, 2019).

La urea, fertilizante de amplio uso libera amoníaco en su proceso de descomposición, una parte de este amoníaco pasa a la atmósfera contribuyendo a la lluvia ácida y otra parte contamina el agua subterránea y los compuestos como nitratos permanecen en ella por mucho tiempo. Y lejos de aminorar, son problemas que se verán aumentados en las próximas décadas (Calderón, 2004).

La contaminación del agua por nitrógeno tiene efectos graves y perniciosos sobre la salud humana. Se ha relacionado con cáncer gástrico, bocio, malformaciones de nacimiento, hipertensión y cáncer de testículo. Aunque el efecto mejor conocido es la metahemoglobinemia, o trastorno sanguíneo por el cual se produce una cantidad anormal de metahemoglobina, una forma de hemoglobina que tiene una enorme afinidad por el oxígeno y que no lo cede en los tejidos. La hemoglobina es la proteína de los glóbulos rojos que transporta y distribuye el oxígeno al cuerpo (Martínez, 2019).

Según la FAO (2020), el agua es un recurso que termina afectado por los fertilizantes químicos cuyos compuestos sintéticos producen eutrofización y contienen concentración de nitritos, lo que limita el uso de este recurso para el consumo humano y animal afectando negativamente la salud por el consumo excesivo de nitratos; además por la alta contaminación limita realizar otras alternativas de producción como la hidroponía que requiere para su producción agua de calidad.

Sumado a esto, la crisis actual de energía y el alto costo de los fertilizantes, se ha brindado considerable interés al uso de alternativas nutricionales más económicas, ya que los precios de referencia internacionales de los fertilizantes (Nitrógeno, urea) han ido aumentando a lo largo del 2021 y muchas cotizaciones han alcanzado sus máximos históricos (Morales, 2021).

En la agricultura de Ecuador, uno de los problemas más comunes y críticos es la escasez de fuentes nitrogenadas alternativas a la urea, así como de materia orgánica eficiente para su aplicación en sistemas de producción agrícola. Aunque el uso generalizado de la urea mantiene la actividad agrícola, también ocasiona problemas en el suelo, como la acidificación, cambios en la actividad microbiológica y química, y la consiguiente contaminación del agua. Esta situación se vuelve aún más preocupante debido a las preferencias actuales del mercado, que se inclinan hacia productos agrícolas orgánicos y naturales (Mariano, 2010).

El uso excesivo de fertilizantes sintéticos de base nitrogenada en la producción agrícola, no afecta solamente a la economía, sino también, un problema que pueden ser asociados a

desequilibrios en el suelo que perjudican la fertilidad y sostenibilidad a lo largo del tiempo (Gavilanes, 2018).

Azolla filiculoides es una planta acuática flotante que ha sido reconocida por su potencial como biofertilizante y su capacidad para reducir la contaminación del agua en sistemas agrícolas; La utilización como biofertilizante ha sido promovida en la Agroecología debido a que es una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos. Según González *et al.* (2017), la aplicación de *Azolla* en los cultivos puede mejorar la calidad del suelo, aumentar la producción de biomasa y reducir la contaminación del agua. Además, se ha demostrado que *Azolla filiculoides* puede ser utilizada como un biocontrolador natural de plagas, lo que reduce la necesidad de pesticidas sintéticos en los cultivos (Gao *et al.*, 2018).

Azolla filiculoides, también ha demostrado su utilidad en sistemas de cultivo hidropónico, donde las plantas se cultivan en soluciones acuosas en lugar de suelo, en estas condiciones puede desempeñar un papel importante como biofiltro y bioabsorbente de nutrientes. Según Gupta *et al.* (2016), la *Azolla filiculoides* puede ser utilizada en sistemas hidropónicos para eliminar y reciclar los excesos de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, presentes en el agua de cultivo, su capacidad para capturar y absorber nutrientes la convierte en una opción prometedora para la mejora de la calidad del agua en sistemas hidropónicos (Nguyen *et al.*, 2019); además, puede proporcionar una fuente adicional de nutrientes para las plantas cultivadas en hidroponía, ya que contiene altos niveles de nutrientes y minerales (Lei *et al.*, 2020).

Azolla filiculoides ofrece una alternativa prometedora para reemplazar la urea, que es una fuente de nitrógeno ampliamente utilizada. Esta planta acuática puede ser utilizada como biofertilizante, lo que la convierte en una opción para mejorar la calidad del suelo, contiene aproximadamente de 4 a 5 % de nitrógeno en peso seco y de 0,2 a 0,4 % de nitrógeno en peso húmedo. Una de las principales ventajas de utilizar *Azolla filiculoides* como biofertilizante es su rápida descomposición en el suelo, lo que facilita la liberación de nitrógeno de manera eficiente. Además, aporta otros nutrientes esenciales como fósforo, potasio, azufre, zinc, hierro, manganeso y otros micronutrientes valiosos para el crecimiento de las plantas (Aldás, 2016)

Si bien es cierto que se han realizado numerosas investigaciones sobre el uso de *Azolla filiculoides* en la producción orgánica, hasta el momento no se ha realizado un análisis exhaustivo de su aplicabilidad en sistemas hidropónicos. Este tipo de investigación sería especialmente relevante para aquellas familias que no tienen acceso a tierras cultivables, pero

que desean participar en la producción orgánica de alimentos. Un estudio que evalúe el rendimiento y los beneficios de *Azolla filiculoides* en condiciones hidropónicas podría proporcionar conocimientos adecuados y prácticos para estos hogares interesados en la agricultura orgánica.

En la Agroecología, el uso de residuos orgánicos como fertilizantes es una práctica común y recomendada debido a su capacidad para mejorar la calidad del suelo y la productividad agrícola, al mismo tiempo que reduce la dependencia de los fertilizantes químicos sintéticos (Gomiero *et al.*, 2011). En este sentido, el lixiviado del raquis de banano, como residuo orgánico puede ser utilizado como fuente de nutrientes para los cultivos, lo que lo convierte en un biofertilizante potencialmente valioso en la agricultura sostenible. Además, el uso de residuos orgánicos como el raquis de banano puede contribuir a la reducción de la contaminación ambiental asociada con la eliminación inadecuada de estos materiales (Moura *et al.*, 2020). Se han demostrado que la aplicación de lixiviado del raquis de banano como biofertilizante puede mejorar la calidad del suelo y aumentar la producción de cultivos como la lechuga, el maíz y el tomate (Temesgen *et al.*, 2018).

En el cantón Palanda los suelos por su origen, ubicación geográfica y altas precipitaciones son altamente ácidos con pH de 5,0 a 5,5 (Ayala, 2016), con deficiente contenido de nutrientes que afectan la producción, por tal razón se vuelve indispensable buscar alternativas que permitan hacer frente a las condiciones del medio y así mejorar la producción local, , la alternativa es cultivos hidropónicos, considerando esta como una de las alternativas más eficientes para desarrollar en la zona, ya que tiene una alternativa de producción de cultivos, donde los mismos obtienen los macro y micro nutrientes de fuentes no sintéticas, sino de agradados en una solución de origen orgánico, que puedan cubrir las necesidades nutricionales de los cultivos.

Considerando que, actualmente se busca alternativas que sean amigables con el ambiente y a la vez orgánicas, se utilizó la planta acuática *Azolla filiculoides* que es conocida por su destacada capacidad de fijación de nitrógeno en el agua. Esta planta alberga en sus tejidos una simbiosis única con la cianobacteria *Anabaena azollae*. Esta simbiosis permite la fijación de nitrógeno atmosférico (N_2) en forma de amonio (NH_4^+), convirtiéndolo en una fuente utilizable por otras plantas, de bajo costo y de rápida propagación en las condiciones y ecosistemas acuáticos, el cultivo de este helecho se realiza en reservorios, donde se acumula nitrógeno en el agua; por tal razón, a este elemento se denomina NitrAgua; el cual se distribuyó

a través del sistema hidropónico tipo NFT, para fertilizar el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) disminuyendo el excesivo, impropio y perjudicial uso de nitrógeno sintético a partir de la urea y demás agroquímicos, por conocerse que ésta repercute en la salud del suelo, del agua y de los seres vivos.

Para llevar a cabo la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general.

- Contribuir a la producción agroecológica de hortalizas en condiciones hidropónicas con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla-Anabaena* y lixiviado de raquis de banano.

Objetivos específicos.

- Producir nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla-Anabaena* en condiciones accesibles para los agricultores del Cantón Palanda.
- Evaluar el efecto de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla-Anabaena* y lixiviado de raquis de banano en el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

4. Marco Teórico

4.1 Agroecología

La agroecología se define como un enfoque holístico y sostenible para la agricultura, que busca integrar los principios ecológicos con las prácticas agrícolas (Gliessman, 2014). Según Altieri (2002), la agroecología se basa en la comprensión de los procesos ecológicos y promueve la diversificación de los sistemas agrícolas, la conservación de la biodiversidad y la reducción de la dependencia de insumos externos. La agroecología también se centra en el fortalecimiento de la participación de los agricultores en la toma de decisiones y en la promoción de sistemas alimentarios justos y equitativos (Wezel *et al.*, 2009)

La agroecología en Ecuador ha ganado reconocimiento y relevancia como enfoque para promover sistemas agrícolas sostenibles y resilientes. El país ha experimentado un crecimiento significativo en la adopción de prácticas agroecológicas y la promoción de políticas agrícolas basadas en principios agroecológicos (Gortaire, 2017).

Según Pacheco *et al.* (2019), la agroecología en Ecuador se ha visto impulsada por diversos factores, como la búsqueda de la soberanía alimentaria, la conservación de la biodiversidad y los conocimientos tradicionales de las comunidades locales; además, se han implementado políticas y programas que respaldan la transición hacia la agroecología, como la creación del Plan Nacional de Agroecología y Buen Vivir.

La agroecología ha demostrado su capacidad para mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a los desafíos climáticos y ambientales; al respecto Tacuri *et al.* (2018), en la región andina de Ecuador mostró que los sistemas agroecológicos presentan mayor diversidad de cultivos, mejor conservación del suelo y mayor eficiencia en el uso del agua en comparación con los sistemas convencionales.

La agroecología en Ecuador ha sido valorada por su enfoque participativo y su contribución a la revitalización de las prácticas agrícolas tradicionales y los conocimientos locales. Salcedo *et al.* (2017) destacó la importancia de la agroecología para promover la seguridad alimentaria y la equidad social, al fomentar la participación activa de las comunidades en la toma de decisiones y la gestión de los recursos naturales.

Según Rajendran *et al.* (2020), la agroecología y los biofertilizantes están estrechamente relacionados, ya que comparten el objetivo de promover prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el ambiente. Los biofertilizantes son productos derivados de fuentes biológicas

que contienen microorganismos beneficiosos y sustancias orgánicas que mejoran la fertilidad del suelo y promueven un crecimiento saludable de las plantas. La utilización de biofertilizantes en sistemas agroecológicos ha demostrado ser efectiva para aumentar la disponibilidad de nutrientes, mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos. Además, los biofertilizantes contribuyen a la conservación de la biodiversidad microbiana del suelo, favoreciendo la interacción entre microorganismos y plantas, y promoviendo la ciclización de nutrientes de manera natural (Vyas *et al.*, 2016). La agroecología, por su parte, busca integrar los principios ecológicos en la producción agrícola, fomentando la diversificación de cultivos, la conservación de recursos naturales y la participación activa de los agricultores en la toma de decisiones (Gliessman, 2014). En conjunto, la agroecología y los biofertilizantes ofrecen una alternativa sostenible y viable para promover sistemas agrícolas resilientes, mejorar la salud del suelo y reducir los impactos negativos de la agricultura convencional en el medio ambiente.

4.2 Helecho de agua (*Azolla* sp.) asociado con *Anabaena* sp.

“Debido a su alta capacidad de fijación de nitrógeno, *Azolla* sp. y *Cyanobacterium anabaena* sp. en los últimos años se ha vuelto muy importante para la agricultura” (Montaño, 2009, p.20)

La *Azolla* sp. es un helecho acuático que alberga en sus cavidades basales de la fronda una cianobacteria del género *Anabaena* sp. En el ámbito ecológico, *Azolla* es responsable del aumento sustancial de N del ambiente puesto que durante su vida fija nitrógeno y al morir el nitrógeno fijado puede ser utilizado por las plantas a su alrededor. La asociación de *Azolla-Anabaena* tiene un alto potencial como abono verde en cultivos de arroz en las zonas tropicales, con una fijación aproximada de 600 kg de N/ha/año en condiciones óptimas de luz, y composición química del sustrato (Petters, 1985, p.121).

Históricamente, se tiene información que en China y Vietnam se cultiva *Azolla* comercialmente, en donde se la ha utilizado por años como abono verde en sembríos de arroz por inundación. En China su uso se remonta al menos a la época de la dinastía Ming mientras que los registros de Vietnam datan del siglo XI. En el Ecuador, algunos trabajos preliminares establecen la presencia de *Azolla* nativa en la costa y sus bondades como abono verde sobre los campos de arroz (Ramírez, 1986, p.96).

4.2.1 Clasificación taxonómica de la Azolla

La Azolla, llamada comúnmente helecho de agua, es una planta de fácil propagación que se adaptan a diferentes climas y lugares. Son de color verde oscuro, que flotan de forma individual o en grupo. Se describe la taxonómicamente según Ramirez,1986; de la siguiente manera;

Tabla 1. Taxonomía de la Azolla

Reino	Plantae
División	Pteridophyta
Clase	Pteridopsida
Orden	Salvanialess
Familia	Azollaceae/Salviniaceae
Género	Azolla
Especie	<i>Azolla filiculoides</i>

Fuente: Ramírez (1986, p.97).

4.2.2 Características de Azolla

Son plantas acuáticas flotantes, poseen hojas pequeñas y raíces cortas; Las frondas divididas y el color oscilan entre rojo y púrpura a pleno sol y de verde pálido a verde azulado cuando está sombra; Se propaga muy rápido, es ideal para cubrir la superficie. También ayuda a controlar el desarrollo de las algas al limitar la disponibilidad de la luz. No toleran el agua salada (Espinoza y Gutiérrez, 2004).

Estas flotan en la superficie del agua por medio de pequeñas y estrechamente sobrepuestas escamas como hojas en gran número, con sus raíces colgando en el agua. Forman relaciones simbióticas con la cianobacteria (*Anabaena Azolla*), proveyendo a la planta la capacidad de fijar nitrógeno del aire (Espinoza y Gutiérrez, 2004).

Se la encuentra en toda América, en África, India, Japón, Australia, Nueva Zelanda y Hawai *Azolla* se reproduce asexualmente por gajos, más tarde cada rama rota formará una nueva planta, y puede reproducirse sexualmente como todos los helechos, *Azolla* produce esporas. En sentido opuesto de la mayoría de los helechos, *Azolla* da dos tipos de esporas, durante los meses veraniegos, numerosas estructuras esféricas denominadas esporocarpos se forman en los enveses de las ramas. El esporocarpo llamado macho es verdoso o rojizo, luce como una masa de huevos de un insecto, son de 2 mm de diámetro, y dentro hay numerosos esporangios macho. Las esporas macho (microesporas) son extremadamente diminutas y se producen dentro de cada micro esporangio. Un detalle llamativo de las microesporas es que tienden a pegarse juntas en pequeñas islas o masas llamadas mássulas. (Quintero, 1995, p.22).

Refiriéndonos a los esporocarpos femeninos. “Estos son mucho más pequeños, y sólo contienen un esporangio y una espora funcional. Cuando una espora individual femenina es considerablemente más grande que la espora masculina, se la llama mega espora (Quintero, 1995, p.23).

Azolla tiene gametocitos machos y hembras microscópicos los cuales se desarrollan dentro de las esporas macho y hembra. El gametocito femenino proviene del mega espora y sostiene de uno a varios arquegonios, cada uno conteniendo un solo huevo. El micro espora forma un gametofito femenino con un solo anteridio que producirá ocho espermios nadantes. El gloquidio barbado en los clusters de esporos masculinos presumiblemente les causa que se fijen a las mega esporas femeninas, logrando así la fertilización. (Quintero, 1995, p.24).

La *Azolla* es un pequeño helecho que flota, mismo que contiene un simbiote en la cavidad del lóbulo dorsal de las hojas. En esta cavidad existe la presencia de la cianobacteria filamentosa *Anabeana Azollae*, convirtiendo a esta asociación simbiótica helecho-cianobacteria en un fenómeno muy interesante en la agricultura por las entradas de N que esta planta pudiera proveer en los campos de arroz inundables. (Carrapíco et al, 2001).

La *Azolla* tiene un amplio intervalo de distribución de pisos altitudinales, puede desarrollarse desde cerca del nivel del mar hasta 5 000 msnm. Pero generalmente, *Azolla* prefiere condiciones frías y semisombreadas y se desarrolla mejor en contenidos altos de fósforo, tanto en el agua como en el suelo (Carrapíco et al, 2001).

Con estudios que se han realizado. “Se han identificado siete especies de *Azolla* ampliamente distribuidas mundialmente, siendo fuertemente influenciada por el hombre, por la introducción indiscriminada del helecho de un área a otra. En Venezuela se ha señalado la presencia de *A. filiculoides*, *A. mycrophylla*” (Espinoza y Gutiérrez, 2004, p.13).

El esporofito de *Azolla* tiene hojas muy pequeñas, alternas, bilobuladas y que se sobreponen unas a otras (Figura 1). Las raíces de la planta son simples de 1 a 2,5 cm de largo. La cianobacteria (Figura 2) es un organismo fotosintético y se encuentra permanentemente asociado con las plantas de *Azolla*, tanto en la fase sexual como en la fase asexual del helecho (Peters, 1985).



Figura 1. Alga Azolla

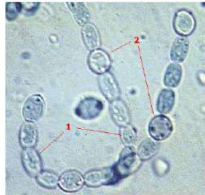


Figura 2. Filamentos de Anabaena

4.2.3 Azolla en la agricultura

La Azolla es un potencial fijador de nitrógeno, además de una gran fuente de N para algunos sistemas agrícolas. El nitrógeno que se produce por la fijación simbiótica, puede ser disponible para la planta de arroz y otros cultivos, ya sea por descomposición del helecho *Azolla*, o por excreción del nitrógeno al ambiente. (Baca, 2006, p.168)

4.2.3.1 Azolla en el Ecuador

En Ecuador, la Azolla se ha utilizado ampliamente como fertilizante debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y proporcionar nutrientes esenciales a los cultivos. Según un estudio realizado por Mena et al. (2017), la Azolla se ha convertido en una alternativa prometedora en la agricultura orgánica y sostenible en el país. Esta planta acuática flotante tiene la capacidad de formar una asociación simbiótica con la cianobacteria *Anabaena azollae*, que permite la fijación de nitrógeno y la liberación de compuestos orgánicos nitrogenados en el suelo.

La utilización de la Azolla como fertilizante en Ecuador ha demostrado beneficios significativos. Un estudio de Cárdenas et al. (2019) encontró que la aplicación de Azolla en el cultivo de arroz mejoró la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y aumentó la productividad del cultivo. Además, se observó una reducción en la aplicación de fertilizantes químicos sintéticos, lo que resultó en un menor impacto ambiental.

Otro estudio realizado por Mena et al. (2018) destacó que la Azolla no solo aporta nitrógeno al suelo, sino que también mejora la estructura del suelo, incrementa la capacidad de retención de agua y promueve la actividad biológica del

suelo. Estos beneficios contribuyen a la sustentabilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas.

La incorporación de *Azolla* al cultivo de arroz proporciona 50 % del N necesario para producir 5t. A pesar de las grandes cantidades de N que la asociación simbiótica *Azolla Anabaena* aporta para el cultivo de arroz, algunos experimentos realizados en África han demostrado que la mejor producción del cultivo (2 835 kg/ha) se obtiene cuando *Azolla* se utiliza en mezcla con urea a una proporción de 7 000 kg *Azolla*/ha + 43,5 kg N/ha, comparado con fertilizante químico donde se obtuvo una producción de arroz de 3 158 kg/ha. (Carrapico et al., 2001).

La *Azolla* es agregada al suelo, estos nutrientes pueden ser liberados en la medida que avance la mineralización de la materia orgánica del suelo. La liberación de fósforo en la descomposición de *Azolla* es un criterio importante de considerar cuando la utilización de esta simbiosis está dirigida hacia suelos con carencias en la disponibilidad de este elemento (Espinoza, 2004, p.65).

La utilización de organismos que fijan nitrógeno como *Azolla* puede ayudar a mejorar una agricultura más sustentable, por una disminución del riesgo de problemas asociados con los efectos contrarios sobre la fertilidad del suelo que causa el uso por largos periodos de tiempo de fertilizantes químicos. No obstante, es necesario evaluar el impacto de aplicación de grandes cantidades del helecho sobre la emanación de gases invernadero como CO_2 y N_2O , que se producen como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica y la desnitrificación del NO_3 como consecuencia de la descomposición, condiciones anaeróbicas y C presente (Espinoza, 2004).

4.2.3.2 Siembra y cosecha de azolla

Limas (2021) considera que este helecho, al igual que el resto de las plantas acuáticas, tiene un ciclo de cosecha de 21 días y recomienda dejar en el estanque el 25 % como semilla para el próximo cultivo

4.3 Lixiviado de raquis de plátano

El plátano (*Musa* spp.) es una fruta que se puede cultivar en cualquier región del mundo que presente clima cálido-húmedo, su consumo es mundial debido a su disponibilidad, valor nutritivo y bajo costo. Es rico en vitaminas B6, C y A, tiene alto contenido de potasio, magnesio, calcio y fibra dietética; es bajo en sodio, no contiene grasas ni colesterol (FAO, 2010).

El plátano es uno de los frutos más consumidos en todo el mundo. Además de su sabor y potencial nutritivo puede ser fácilmente transportado y almacenado, el proceso productivo del plátano ocasiona desechos como la fruta de rechazo, los pseudotallos, la hojarasca y principalmente los raquis. A pesar de algunas propuestas de reciclado de los raquis, como es el caso de obtención de papel, estos no son aprovechados adecuadamente. Los lixiviados de raquis, al ser un producto de la misma planta, poseen nutrimentos esenciales que pueden reutilizarse para el propio cultivo, los lixiviados de raquis contribuyen a la nutrición de las propias parcelas de plátano, esencialmente en el gran aporte de potasio, nutriente más importante e indispensable para el desarrollo de frutos. Complementariamente, pequeñas cantidades de estos lixiviados podrán aportar, una mayor diversidad de nutrientes (N, Fe, Mn, Na, Cu) al suelo con el fin de obtener un buen desarrollo del cultivo (Chávez et al, 2017).

4.4 Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento crucial en la agricultura que desempeña un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se considera uno de los nutrientes esenciales más importantes para los cultivos debido a su participación en la formación de proteínas, enzimas y ácidos nucleicos, así como en diversos procesos metabólicos. Según Marschner (2012), el nitrógeno es esencial para el desarrollo de la biomasa vegetal y juega un papel clave en la síntesis de clorofila, lo que influye directamente en la fotosíntesis y, por lo tanto, en la producción de energía para las plantas.

El nitrógeno en la agricultura puede provenir de diversas fuentes, como fertilizantes químicos, fuentes orgánicas (como estiércol, compost o residuos de cultivos) y la fijación biológica del nitrógeno atmosférico. Estas fuentes de nitrógeno deben ser adecuadamente manejadas para evitar problemas como la pérdida de nutrientes por lixiviación o la volatilización de amoníaco, lo que puede tener impactos negativos en el medio ambiente (Galloway et al., 2008).

4.4.1 Ciclo del nitrógeno

Los átomos de nitrógeno están en constante movimiento, formando un ciclo cerrado denominado ciclo del nitrógeno. La inestabilidad del nitrógeno dificulta su combinación con otros elementos, siendo difícil de asimilar por los organismos, los cuales lo toman directamente del aire, originando compuestos capaces de incorporarse a las plantas, dando inicio al ciclo del nitrógeno. El ciclo es continuado por los animales herbívoros que sintetizan las proteínas absorbidas, posteriormente, mediante los excrementos o la descomposición de los cadáveres el

nitrógeno nuevamente se incorpore al suelo. Los animales forman iones amonio, que tienen alta toxicidad y deben ser eliminados (amoníaco, urea o ácido úrico). El ciclo llega a su fin cuando intervienen bacterias desnitrificantes, las cuales devuelven gran cantidad de nitrógeno inorgánico del suelo hacia la atmósfera (Calvo, 2011).

4.4.3 Nitrógeno en la Agricultura

En la agricultura, el nitrógeno desempeña un papel esencial en el crecimiento vegetal y la productividad de los cultivos. Según (Mengel, 2015), la absorción de nitrógeno ocurre principalmente durante el desarrollo foliar y la floración de las plantas. La disponibilidad adecuada de este nutriente es crucial, ya que los suelos deficientes en nitrógeno pueden resultar en rendimientos bajos de los cultivos. Una planta que carece de nitrógeno muestra síntomas de clorosis, como amarilleamiento en tallos y hojas, así como un desarrollo deficiente y debilidad. Por otro lado, cuando las plantas tienen acceso suficiente a nitrógeno, sus hojas y tallos experimentan un crecimiento rápido.

(Pérez, 2017) destaca que, a pesar de las múltiples entradas y salidas de nitrógeno en el ciclo natural, el porcentaje total de nitrógeno disponible para las plantas es menor al 10%. En el suelo, las raíces de las plantas principalmente absorben iones disueltos de amonio (NH_4^+) provenientes de los microorganismos y algunos vegetales como el arroz y las azaleas. Además, también se encuentra el nitrato (NO_3^-), que se caracteriza por su movilidad en el suelo y su tendencia a ser perdido por lixiviación.

Montaño (2010) destaca que, en Ecuador, el nitrógeno desempeña un papel fundamental en la agricultura, la ganadería, la flora, la fauna y la población en general, ya que está estrechamente vinculado con los recursos naturales, el medio ambiente y la salud. Por otro lado, Yara (2018) señala que el nitrógeno es uno de los nutrientes más limitantes para la producción agrícola, junto con el potasio, debido a su alta demanda por parte de los cultivos en términos de materia seca. En el caso del café, el fruto (que incluye la almendra, la pulpa, el pergamino y el mucílago) contiene aproximadamente un 30,94% de nitrógeno, y la absorción en las plantas varía de 8,6 a 19 gramos por planta hasta 650 días después de la siembra.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la eficiencia en el uso de fertilizantes es limitada, con al menos un 50% de pérdidas debido a factores como la lixiviación, la desnitrificación, la erosión y la escorrentía. En el caso específico del café, se estima que las pérdidas de nitrógeno después de la aplicación de urea alcanzan un rango de 30% a 35% debido

a la volatilización, mientras que por percolación se pierde entre un 23% y un 42% (Payan et al., 2012).

4.4.4 Fijación biológica del nitrógeno

La fijación biológica del nitrógeno es un proceso fundamental en los sistemas agrícolas, ya que permite convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) en formas utilizables por las plantas. Según Hardy et al. (1968), la fijación biológica del nitrógeno es llevada a cabo por microorganismos llamados diazotrofos, que tienen la capacidad de convertir el nitrógeno molecular en amonio (NH_4^+), que luego puede ser utilizado por las plantas para su crecimiento y desarrollo. La fijación biológica del nitrógeno ocurre tanto en simbiosis con las plantas, como en forma libre en el suelo. En la simbiosis, las bacterias diazotrofas establecen una relación mutualista con las plantas, colonizando sus raíces y formando nódulos donde ocurre la fijación del nitrógeno. Un ejemplo conocido de esta simbiosis es la relación entre las leguminosas y las bacterias del género *Rhizobium* (Bergersen, 1980).

Además de la fijación simbiótica, existe también la fijación libre, donde las bacterias diazotrofas realizan la fijación del nitrógeno en el suelo sin establecer una relación simbiótica con las plantas. Estas bacterias pueden encontrarse en la rizosfera y en ambientes acuáticos, y contribuyen significativamente al suministro de nitrógeno disponible para las plantas (Bashan & de-Bashan, 2010).

4.4.5 Mineralización del nitrógeno

La mineralización del nitrógeno es un proceso clave en el ciclo del nitrógeno, donde los compuestos orgánicos nitrogenados presentes en el suelo son descompuestos y transformados en formas inorgánicas de nitrógeno que las plantas pueden absorber y utilizar. Según Schimel y Bennett (2004), la mineralización del nitrógeno es llevada a cabo principalmente por la actividad de los microorganismos descomponedores, como bacterias y hongos, que descomponen los restos orgánicos y liberan amonio (NH_4^+) al suelo.

Este proceso de mineralización está influenciado por una serie de factores, como la temperatura, la humedad del suelo, el pH y la calidad de los materiales orgánicos presentes. La temperatura óptima para la mineralización del nitrógeno suele estar entre 20°C y 30°C, mientras que la disponibilidad de agua es crucial para mantener una actividad microbiana adecuada. Además, el pH del suelo puede afectar la actividad de los microorganismos y la disponibilidad de diferentes formas de nitrógeno (Smith et al., 2002).

La mineralización del nitrógeno es un proceso dinámico y equilibrado, ya que la liberación de amonio es contrarrestada por la nitrificación, donde las bacterias convierten el amonio en nitrato (NO₃-), una forma más móvil y disponible para las plantas. Esta nitrificación puede ser inhibida por condiciones de acidez o anoxia en el suelo (Huang et al., 2014).

4.5 Agricultura Biogénica, NitrAgua

La agricultura biogénica es un enfoque agrícola que busca integrar los principios de la agroecología y la biología del suelo para promover sistemas de producción sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Según Altieri y Nicholls (2020), la agricultura biogénica se basa en la comprensión de los procesos biológicos que ocurren en el suelo y cómo pueden ser aprovechados para mejorar la salud de los ecosistemas agrícolas.

En este enfoque, se busca fomentar la diversidad biológica del suelo a través de prácticas como la rotación de cultivos, la incorporación de residuos orgánicos y el uso de abonos verdes. Estas prácticas promueven la actividad de microorganismos beneficiosos, como bacterias y hongos, que participan en la descomposición de materia orgánica y la liberación de nutrientes para las plantas (Altieri, 2004).

La agricultura biogénica también hace hincapié en la conservación y mejora de la estructura del suelo. La incorporación de materia orgánica aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes, mejora la infiltración y reduce la erosión del suelo (Lal, 2015). Además, la adopción de prácticas de labranza mínima o nula ayuda a preservar la estructura del suelo y promover la actividad de organismos beneficiosos (Pimentel et al., 2005).

Otro aspecto fundamental de la agricultura biogénica es la reducción del uso de agroquímicos. Se busca minimizar el uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos, favoreciendo en su lugar el uso de biofertilizantes, compost y otros insumos orgánicos que promuevan la salud del suelo y la resistencia de los cultivos a las enfermedades (Gomiero et al., 2011).

La Agricultura biogénica surge como una alternativa a las formas tradicionales de agricultura, y se basa en aprovechar las funciones naturales de la biología para producir nitrógeno de manera sostenible. Según (Montaño 2020), este enfoque se basa en la capacidad de la naturaleza para generar nitrógeno a partir de formas de vida, específicamente a través de la simbiosis entre la planta acuática Azolla y la bacteria Anabaena. En este modelo de agricultura, no solo se logra reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), sino que también se aumenta la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo. Montaño (2015) señala que este proceso de generación de nitrógeno a través de la simbiosis Azolla-Anabaena se denomina

"nitrógeno bien expresado" (Nbe), debido a su forma biológica de producción. Además, debido al alto contenido de nitrógeno presente en el agua, este enfoque se identifica como "NitrAgua".

El concepto de "nitrógeno bien expresado" destaca la eficiencia y la calidad del nitrógeno generado a través de este proceso biológico. A diferencia de los fertilizantes nitrogenados convencionales, que a menudo presentan pérdidas y baja disponibilidad para las plantas, el nitrógeno generado mediante la simbiosis Azolla-Anabaena se considera altamente expresado, lo que significa que está en una forma biodisponible y fácilmente utilizada por las plantas.

Este enfoque de generación de nitrógeno, a través de la simbiosis y la asociación biológica entre Azolla y Anabaena, tiene ventajas significativas en términos de sostenibilidad y conservación de recursos. Al aprovechar la capacidad natural de la planta y la bacteria para fijar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en una forma utilizable, se reduce la dependencia de los fertilizantes químicos, disminuyendo así los impactos ambientales asociados con su producción y uso.

Un postulado con base a las aseveraciones de autores como: Louis Pasteur (1854), "Los microorganismos patógenos son la causa de las enfermedades en el hombre"; Claude Bernard (1876) "La enfermedad en un desequilibrio, una desarmonía de la energía vital"; Dobson (1851), "Las enfermedades se deben al mal plegamiento de las proteínas", además señala "Todo elemento puede tener dos o más átomos diferentes" refutando la teoría del padre de la química Antoine-Laurent Lavoisier (1808) donde sugiere que todos los átomos en un elemento son idénticos; razón por la cual asegura que en la actualidad existen dos tipos de nitrógeno el mal expresado artificial y tóxico (Urea-nitratos) y el otro bien expresado natural y saludable producto de la simbiosis entre azolla y anabaena (Montaño, 2015).

4.5.1 Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

El origen de la lechuga es bastante antiguo; existen pinturas que representan esta hortaliza en una tumba de Egipto que data del año 4500 antes de Cristo. Es originaria de Asia Menor, de la costa sur del Mediterráneo, y fue domesticada, probablemente, en Egipto. Algunos autores creen que procede de la India. Su cultivo se remonta a una antigüedad de 2500 años y fue conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI. Heródoto hace constar que ya para el siglo V al siglo IV a.C los persas cultivaban la lechuga. También los griegos la cultivaban en esa misma época. Después del proceso de domesticación, la lechuga

se dispersó rápidamente por el Mediterráneo y posteriormente a Europa Occidental. El relato más antiguo de su cultivo en América es de 1494. Los italianos llevaron especies en proceso de domesticación y seleccionaron las de tipo romano que se caracterizan por tener hojas sueltas en forma de lanza; allí fue tan apreciada que su nombre proviene de un italiano ilustre llamado Lactuccini (Alleca, 2017).

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo, aunque su principal producción se concentra en zonas más templadas y subtropicales. En la actualidad se cultiva al aire libre e invernaderos, en suelo o en forma hidropónica; esta última evita las limitaciones que provocan las condiciones climáticas, luminosas y de suelo. La lechuga, después del choclo y el tomate, es la hortaliza de mayor superficie nacional, representando en promedio de los últimos 7 años el 9 % de la superficie total; lo que equivale, aproximadamente, a unas 6.900 hectáreas anuales, (Instituto de Desarrollo Agropecuario [INDAP], 2017).

4.5.2 Descripción botánica

La lechuga es una planta herbácea anual, dicotiledónea, autógama, perteneciente a la familia Asteraceae, cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa*, cuando está en etapa joven contiene en sus tejidos un jugo lechoso llamado látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta (Alleca, 2017).

4.5.3 Clasificación taxonómica de la lechuga

Lactuca sativa fue descrito por Carlos Linneo y publicados en *Species Plantarum* en 1753, la lechuga tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la lechuga

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Subfamilia	Cichorioideae
Tribu	Lactuceae
Genero	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Lactuca sativa</i> L.

4.5.4 Morfología de la Lechuga

Según Allcca (2017) y Muños (2018) definen la morfología de la Lechuga de la siguiente forma:

4.5.4.1 Raíz

La raíz principal es pivotante, corta, puede llegar a penetrar hasta 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones; crece muy rápido, con abundante látex, tiene numerosas raíces laterales de absorción, las cuales se desarrollan en la capa superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm.

4.5.4.2 Tallo

Es pequeño, muy corto, cilíndrico y no se ramifica cuando la planta está en el estado óptimo de cosecha; sin embargo, cuando finaliza la etapa comercial, el tallo se alarga hasta 1,2 m de longitud, con ramificación del extremo y presencia, en cada punta, de las ramillas terminales de una inflorescencia

4.5.4.3 Hojas

Por su forma son lanceoladas, oblongas o redondas. El borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, lo cual depende de la variedad. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar

4.5.4.4 Flores

Las flores están agrupadas en capítulos dispuestos en racimos o corimbos, compuestos por 10 a 25 floretes, con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas. Es considerada una planta de flores perfectas que se auto fecunda, en la cual solamente un 10% de la fecundación es cruzada; ésta se debe al transporte de polen de una planta a otra por los insectos.

4.5.4.5 Fruto

El fruto es un aquenio típico y la semilla es exalbuminosa, picuda y plana, la cual botánicamente es un fruto, tiene forma aovada, achatada, con tres a cinco costillas en cada cara, de color blanco,

amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 5 mm. En su base se encuentra el vilano o papus plumoso, que facilita la 11 diseminación por el viento; este se desprende fácilmente, con lo cual el aquenio de la semilla queda limpio.

4.6 Plagas y enfermedades

Estas ocasionan grandes pérdidas económicas en los cultivos y a continuación se detallan los problemas más frecuentes del cultivo mencionadas por (Godoy, 2018):

Trips (*Frankliniella pacispinosa*)

Se trata de una de las plagas que causa mayor daño al cultivo de la lechuga ya que roe el tejido de la hoja del haz y envés. Son transmisores de virus.

Minadores (*Liriomyza trifolii*): En el interior de la hoja de la lechuga la larva excava galerías mientras se alimenta del tejido parenquimatoso. Esta plaga afecta al inicio de la plantación lo que produce que se retrase el inicio de la maduración. **Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*):** Se alimenta de la savia de la planta, provocando amarillamiento de estas y su posterior debilitamiento general de la 14 planta. Además, la mosca blanca es que es portadora de virus que no tiene tratamiento y pueden llegar a acabar con el cultivo en un periodo corto de tiempo.

Pulgones (*Myzus persicae*, *Macrosiphum solani* y *Narsonoviaribisnigri*): El ataque suele ocurrir cuando el cultivo está próximo a la recolección, estas colonizan las raíces, aunque es nulo, los cogollos haciendo que se doble y atrofie, y a las hojas, afectando al desarrollo de las misma y haciéndose que se tornen amarillas y marchitas. Además, tienden a multiplicarse rápidamente, específicamente en periodos secos y hasta pueden ser transmisores de virus.

Botrytis (*Botrytis cinerea*): Los síntomas comienzan en las hojas más viejas con unas manchas de aspecto húmedo que se tornan amarillas, y seguidamente se cubren de moho gris que genera enorme cantidad de esporas. Si la humedad relativa aumenta las plantas quedan cubiertas por un micelio blanco; pero si el ambiente está seco se produce una putrefacción de color pardo o negro.

Mildiu veloso (*Bremia lactucae*): En el haz de las hojas aparecen anchas amarillas que alcanzan 1cm de diámetro, en cambio en el envés se forman áreas mohosas blanquecinas que se tornan oscuras. Se diferencian por presentar un color café grasoso, y la temperatura óptima para que se desarrolle es de 15 a 17 °C.

Moho blanco o Sclerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*): Los síntomas se manifiestan en el final del ciclo del cultivo, presentando marchitez en las hojas externas de la planta, con la presencia de crecimiento micelial algodonoso blanco hacia la parte basal o central del tallo, a partir del cual se forman unos cuerpos compactos, los esclerocios, estructuras de reposo compuestas por una porción interna de color claro llamada médula y una cubierta externa negra llamada corteza.

Alternaria (*Alternaria sp*): Sobre las hojas se forman unas manchas pequeñas o puntos necróticos de color café rodeados de un margen morado o rojo, la parte central de la mancha a veces se desprende (Grupo latino, 2010, p. 356). Virus del mosaico de la lechuga (LMV): Los síntomas producidos pueden empezar desde el semillero, presentando moteados y mosaicos verdosos que se van acentuando al crecer las plantas, dando lugar a una clorosis generalizada.

4.7 Requerimientos nutricionales para la lechuga hidropónica

Según Sánchez (2018), los requerimientos nutricionales para el cultivo de lechuga, tomando en cuenta que cada planta utilizara al menos un litro de agua, son los siguientes:

Tabla 3. Solución química nutritiva para lechuga, en un litro de agua

Requerimiento de nutrientes para lechuga hidropónica	
Solución nutritiva (mg L⁻¹)	
N	140
P 50	50
K	350
Ca	160
Mg	50
S	65

4.8 Hidroponía

Según Castillo (2009) la hidroponía es un método para cultivar alimentos utilizando soluciones de nutrientes minerales en agua sin suelo, por lo cual define la hidroponía como el cultivo de plantas en nutrientes enriquecidos agua, con o sin el soporte mecánico de un medio inerte como arena o grava. El término se deriva de las palabras griegas hidro y ponos, que se traduce como agua haciendo mano de obra u obras hidráulicas. El uso del agua como medio para el cultivo no es totalmente nuevo, pero la introducción comercial de la hidroponía surgió recientemente. Los investigadores de la Administración NASA han visto la hidroponía como

un método adecuado para cultivar alimentos en el espacio exterior. Han tenido éxito en la producción de verduras como cebollas, lechugas y rábanos Y sus ventajas son las siguientes:

4.8.1. Ventajas de los cultivos por hidroponía

Los cultivos hidropónicos en la actualidad han tomado mucha importancia, ya que tiene grandes ventajas como son:

1. Cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
2. Reducción de costos de producción.
3. Evita la contaminación de los recursos naturales.
4. Producir cosechas en contra estación y precocidad en los cultivos.
5. Ahorro de agua, fertilizantes, plaguicidas, entre otros.
6. Se evita la utilización de maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera).
7. Mayor limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
8. Alto porcentaje de automatización.
9. Se puede cultivar en lugares donde la agricultura es difícil.
10. Rápida recuperación de la inversión inicial.

4.8.2 Técnicas Hidropónicas

Briones (2004) menciona que en la actualidad existen algunas técnicas hidropónicas muy utilizadas en la producción de distintos productos agrícolas como son:

- **Cultivo en sustrato:** Permite cultivar cualquier tipo de hortalizas y se utiliza sustratos inertes como: perlita, roca fosfórica, arena, aserrín, tezontle, arena, grava, vermiculita, peat moss, etc, que le proporcionan a la planta las condiciones necesarias de oxígeno y humedad para su desarrollo.
- **Raíz flotante:** un sistema donde las raíces de las plantas están flotando sobre una mezcla de agua y una solución concentrada de nutrientes, la cual está sostenida por espuma Flex o láminas de “duoport”. Se pueden acelerar su tiempo de desarrollo y maximizar el espacio de la instalación, así mismo es importante tener precaución en el pH y la conductividad de la solución nutritiva.
- **Sistema NGS:** Es una tecnología de origen Europeo basada en la oxigenación de las raíces de manera constante, y re-circulación de la solución nutritiva. Se puede cultivar desde hierbas aromáticas, tomate cherry, lechugas, acelgas, perejil, geranios, plantas ornamentales, etc.

- **Sistema NFT:** En este sistema, las plantas crecen sobre una lámina de agua en continuo movimiento, y enriquecida con soluciones nutritiva. Para la recirculación del agua se utiliza una bomba sumergible que permite distribuir adecuadamente el flujo del agua a lo largo de tubos de PVC, este flujo debe ser constante sobre todo en periodos de mucho calor para evitar que las plantas o las raíces se dessequen.

4.8.3 Sistema NFT (Nutrient Film Technique)

Calderon (2004), indica que este sistema, fue desarrollado en la década de los sesenta por el Dr. Allan Cooper, en Inglaterra, y consiste en una técnica de la película de nutriente re-circulante, el cual es muy popular en el mundo, desde esa época y se utiliza principalmente en la producción de hortalizas de alta calidad tanto en invernaderos como campo abierto.

Garzón (2006) afirma que el principio fundamental de la técnica de NFT consiste en la re-circulación de la solución nutritiva a través de varios canales de tubos de PVC, ductos ABS o similares que llegan a un contenedor y que con la ayuda de una bomba la solución nutritiva regresa nuevamente. La recirculación suministrará los nutrientes necesarios a las plantas por medio de las raíces que cuelgan desde las canastillas del contenedor para que la planta se desarrolle y crezca adecuadamente. El sistema NFT ha sido utilizado en forma comercial en más de 68 países y es la más utilizada en países árabes, del Caribe y América latina para la producción hortalizas hidropónicas.

4.8.3.1 Ventajas y desventajas del NFT.

1. Ahorros significativos en solución nutritiva y en agua.
2. Máximo aprovechamiento de espacio ya que se puede cultivar en niveles.
3. Facilita la limpieza del sistema, a diferencia del cultivo en sustrato
4. Permite un control más preciso sobre la nutrición de la planta.
5. Simplifica los sistemas de riego y permite la automatización en su totalidad
6. Maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva, por lo que el crecimiento de los productos es acelerado siendo posible obtener en el año más producción.
7. Si se maneja de la forma correcta el sistema, permite cultivar hortalizas de consumo en fresco y de alta calidad.
8. Permite corregir deficiencias nutricionales.

Desventajas del NFT:

1. Este sistema requiere de un cuidado adecuado del estado de la solución nutritiva para rendir resultados.
2. Los costos iniciales son mayores que con otros sistemas.

4.9 Sustratos para cultivos hidropónicos

En la hidroponía se utilizan diferentes materiales para favorecer el crecimiento de las plantas. A esos materiales se les llama sustratos y su función principal es darles sostén a las plantas, retener el agua y los nutrimentos necesarios para el adecuado crecimiento de ellas, así como facilitar la aireación de las raíces (Portuguez, 2015).

Para que un material sea considerado como sustrato sólido hidropónico debe reunir las características siguientes:

- **Inerte:** No debe contener residuos de materia orgánica. Tampoco macro ni microorganismos. No debe reaccionar a la adición de la solución nutritiva.
- **Buen drenaje:** Debe retener la humedad de tal manera que las plantas crezcan bien y debe facilitar el paso del exceso de agua. De esa manera las plantas siempre dispondrán de la cantidad de agua necesaria para su normal crecimiento.
- **Buena aireación:** Debe facilitar la aireación de las raíces y el crecimiento de las mismas. Con ello se logra un buen desarrollo de las plantas.
- **Reutilizable:** Debe permitir su reutilización, una vez lavado y desinfectado, para disminuir los costos de producción.

4.10 Preparación del sustrato

Según Curay (2016), antes de utilizar cualquier sustrato es necesario lavarlo con agua limpia y desinfectarlo. Es necesario eliminar todos los residuos de materia orgánica como raíces, frutos, hojas, tallos, restos de animales y otros. También es necesario eliminar el suelo. Una vez que el sustrato está limpio, se deberá colocar en los recipientes o contenedores donde se va a realizar la siembra. Las plantas se podrán sembrar inmediatamente después de lavado y desinfectado el sustrato.

4.10.1 Reutilización del sustrato

Un aspecto importante a considerar en la elección del sustrato es que se pueda reutilizar tantas veces como sea posible. De esa manera se podrán reducir los costos de producción. Cada vez que se reutilice el sustrato, es estrictamente necesario eliminar todos los residuos de la cosecha anterior, así como lavarlo y desinfectarlo cuidadosamente, de tal manera

que se puedan sembrar otras plantas sin que haya riesgo de plagas o de intoxicación. Es deseable que cada vez que se reutilice un sustrato se cambie también la especie cultivada, a fin de favorecer el manejo integrado de las plagas (rotación de cultivos). Se recomienda mezclar bien el sustrato a reutilizar para favorecer su limpieza y aireación.

4.10.2 Limpieza y desinfección del sustrato

La desinfección se puede realizar con agua hirviendo o con una solución de hipoclorito de sodio al 0,5-1,0 %. En el primer caso el agua se agrega al sustrato hasta inundarlo y dejar que el agua se enfríe. En el segundo caso el sustrato se inunda con la solución y se deja en reposo por aproximadamente una hora, al cabo de la cual se procede a lavar el sustrato con abundante agua limpia para eliminar el exceso de cloro. En algunos casos basta con lavar bien el sustrato con abundante agua limpia. La limpieza y la desinfección del sustrato se realizan cada vez que se siembra un nuevo cultivo y se reutiliza tantas veces como sea posible.

4.10.3 Sustratos utilizados

Algunos sustratos utilizados en la producción hidropónica son los siguientes:

- **Agua:** Es un sustrato líquido. Debe ser limpia y de buena calidad.
- **Esponja:** Se refiere a un medio de cultivo utilizado para sostener las raíces de las plantas y proporcionar soporte físico y nutricional
- **Arena de río:** Debe lavarse bien antes de usarla para eliminar el suelo y otros contaminantes que pudiera tener.
- **Aserrín:** Debe desinfectarse muy bien antes de usarlo. Para ello se debe hervir en agua por 10-15 minutos y eliminar el líquido restante. Hay que considerar que algunas maderas tienen resinas tóxicas, dañinas para el crecimiento de las plantas. Además, la descomposición del aserrín genera problemas con el drenaje y la aireación.
- **Carbón vegetal:** Es una buena fuente de energía para el crecimiento de las plantas. Es liviano, alto en Boro y de lenta descomposición. Su desventaja estriba en que es caro.
- **Cascarilla (granza) de arroz:** Tiene alto contenido de Silicio y su descomposición es lenta. Es liviano, facilita la aireación y el drenaje. Tiene problemas para retener agua.
- **Fibra de coco:** Retiene la humedad y facilita la aireación. Es liviana y fácil de manejar. Permite un buen crecimiento de las raíces. Su descomposición es relativamente rápida, lo que desfavorece el drenaje y la aireación.

- **Piedra:** La piedra pequeña, así como la utilizada en construcción funciona bien como sustrato para el crecimiento de las plantas. Tiene la ventaja de que facilita la aireación de las raíces. La desventaja es que no retiene los nutrientes.

5. Metodología

5.1 Ubicación de estudio

El estudio se realizó en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Palanda, en la Unidad Educativa “Oriente Ecuatoriano”. La ubicación geográfica corresponde a las coordenadas 4° 39' 05,5" Sur 79° 07' 55.0" Oeste, la altitud oscila entre 1150 a 1 170 m s.n.m.

En el cantón Palanda, existen tres tipos de climas de acuerdo a la clasificación generada en el proyecto MAG-IICA-CLIRSEN (2002), los cuales son ecuatorial de alta montaña, ecuatorial mesotérmico–semihúmedo y tropical mega térmico húmedo. La temperatura media anual en el cantón Palanda está en el rango de 18 – 21 °C (Patiño, 2020).



Figura 3. Ubicación del estudio

En el marco de la presente investigación, se optó por utilizar el método inductivo-deductivo con el objetivo de obtener conclusiones y recomendaciones de manera sistemática. Para ello, se llevó a cabo la observación y la medición de distintas variables en el campo, lo que permitió determinar la reacción específica del cultivo de lechuga ante los diferentes tratamientos aplicados. Gracias a esta labor, se obtuvieron hallazgos significativos que resultan de gran interés para el ámbito agrícola.

La metodología empleada fue de tipo experimental y correlacional. El ensayo se llevó a cabo en un ambiente controlado, lo que permitió evaluar la influencia de las variaciones en el crecimiento vegetal de cada cultivo. La naturaleza correlacional del estudio se debe al análisis de múltiples variables que influyen en el desarrollo vegetativo. De esta manera, se examinó la

relación entre las diferentes variables y el crecimiento de las plantas. El uso de una metodología experimental y correlacional permitió obtener una comprensión más profunda de los factores que afectan el crecimiento vegetal y sus interacciones.

La investigación se llevó a cabo en la parte externa del invernadero de la Unidad Educativa Oriente Ecuatoriano, en una superficie de 40 m^2 , donde se construyeron azollarios utilizando ladrillos e impermeabilizados con cemento. Las cepas de *Azolla filiculoides* utilizadas fueron adquiridas en la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja. Posteriormente, se procedió a diseñar cuatro sistemas hidropónicos de tipo NFT utilizando tubos de PVC y madera, asignando un tratamiento específico a cada sistema. Para el suministro de agua se utilizó agua proveniente de una vertiente destinada al riego en la Unidad Educativa. Además, se empleó un fertilizante líquido a base de *Azolla filiculoides* y lixiviado del raquis del banano (RAQUIS-DIMITRIS), adquirido en el cantón Vinces, provincia de Los Ríos. Para la medición de las variables establecidas en el proyecto, se utilizó una balanza digital y un flexómetro. Durante la recolección de datos en el campo, se utilizó una libreta de apuntes y posteriormente se procesaron los datos. Se tomaron fotografías como evidencia (Anexo xx).

5.1.1 Metodología para el primer objetivo específico

Producir nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla-Anabaena* en condiciones accesibles para los agricultores del Cantón Palanda.

Se tomó una muestra de la vertiente de riego, para determinar el nitrógeno disponible y la calidad del agua. Se construyó los azollarios con las siguientes dimensiones: 3,0 m de largo; 1,5 m de ancho con una profundidad de 0,70 m (Figura 4). Se sembró 0,102 kg de biomasa de *Azolla* mismas que representan $0,0625\text{ m}^2$ de cobertura (Anexo 2), para determinar el crecimiento del helecho se registró cada día la cobertura total de cada azollario con la aplicación conopeo, que mide el porcentaje de cobertura (Anexo 3).

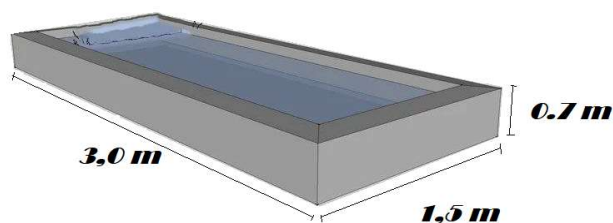


Figura 4. Esquema de los azollarios

5.1.2 Contenido de nitrógeno en el azollario

Para la determinación del nitrógeno en el agua (NitrAgua) se enviaron las muestras al Laboratorio de análisis agropecuarios de la Universidad de Machala (NEMALAB S.A.), se tomaron muestras al 0% de cobertura del azollarios, al 50% y al 100%, para determinar pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, calcio, magnesio y potasio (Anexo 3).

5.1.3 Metodología para el segundo objetivo

Evaluar el efecto de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla Anabaena* y lixiviado del raquis del banano en el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Se estableció un cultivo hidropónico de lechuga utilizando un diseño experimental al azar con cuatro tratamientos y 24 unidades experimentales. Este diseño se seleccionó debido a su amplia utilización en la experimentación agrícola y su capacidad para agrupar las unidades experimentales de manera lógica.

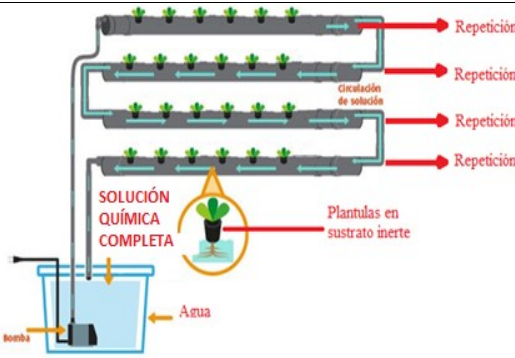
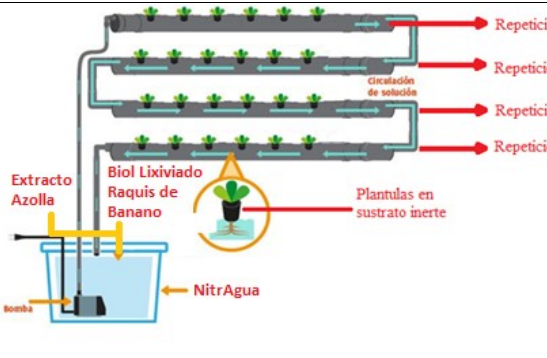
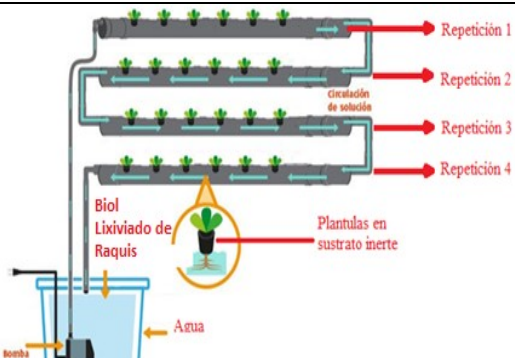
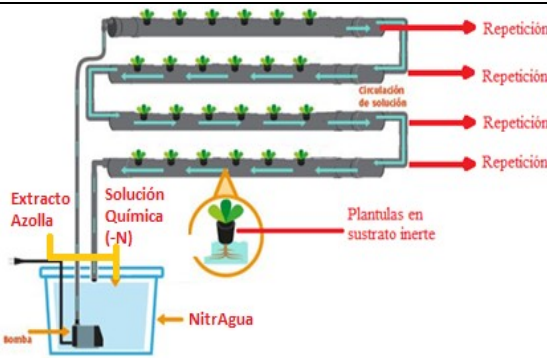
Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

- Y_{ij} : Observación en la unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento en la j-ésima réplica (i: 1,2,3,4; j: 1,2,3,4)
 μ : Efecto de la media general
 α_i : Efecto del i-ésimo tratamiento
bloque
 ε_{ij} : Efecto del error experimental (variable independiente, normalmente distribuida con media igual a cero y varianza homogénea).

Las dosis de los tratamientos para el cultivo de lechuga se determinaron considerando los requerimientos nutricionales específicos de la planta y la cantidad de nitrógeno producido en el azollario (Tabal 4).

Tabla 4. Esquema de los tratamientos

TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2
 <p>Solución química completa (Sánchez, 2018) disuelta en 24 L agua. Se usó como testigo</p>	 <p>Biomasa de Azolla y Raquis de banano 500 cm³, disuelto en 24 L de NitrAgua</p>
TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4
 <p>Raquis de banano, concentración 500 cm³ disuelto 24 L agua.</p>	 <p>Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno.</p>

T1: Solución química completa

T2: Biomasa de Azolla y Raquis de banano

T3: Raquis de banano

T4: Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno

Tratamiento T1: Solución química completa

En este tratamiento, se implementó una solución química completa que demostró ser altamente efectiva en términos de peso, altura y rendimiento general en el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.), como se observa en la Tabla 5 de la investigación realizada por (Sanchez, 2018), La solución química utilizada en este estudio se diseñó cuidadosamente para proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios en las cantidades adecuadas para su óptimo desarrollo. Se consideró los requerimientos específicos de la lechuga en términos de nutrientes como N, P, K y micronutrientes, así como otros factores clave como el pH y la conductividad eléctrica del agua de riego. Este tratamiento es como convencionalmente se realiza un cultivo hidropónico.

Tabla 5. Solución nutritiva química utilizada

Fertilizantes	Dosis mg L ⁻¹
Nitrato de Amonio (NH_4NO_3)	102
Nitrato de Potasio (KNO_3)	892
Fosfato mono potásico (KH_2PO_4)	217
Nitrato de Calcio ($Ca(NO_3)_2$)	842
Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$)	500
Micronutrientes Fertilizante Hidropónico Soluble	150

Fuente: Sánchez, 2018

Tratamiento 2: Biomasa de *Azolla* y Raquis de banano

Para obtener el extracto de *Azolla*, se procedió a licuar la biomasa fresca de *Azolla filiculoides* más NitrAgua en la siguiente concentración, 1 L de NitrAgua por 1 kg de biomasa fresca; además, se implementó 500 cm³ de lixiviado del raquis y todo esto se disolvió en 24 L de NitrAgua y se renovó cada 14 días hasta la cosecha.

Tratamiento 3: Raquis de Banano.

Se implementó el lixiviado del raquis de banano en una cantidad de 500 cm³ para reemplazar la solución química; se disolvió en 24 L de agua y se renovó cada 14 días hasta la cosecha del cultivo. Este enfoque fue utilizado para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Se calculó los requerimientos nutricionales basados en la Tabla 7 de nutrientes disponibles; además, se utilizó la dosificación empleada por (Pacheco, 2015) de 500 cm³ determinando que es la dosis adecuada para este cultivo.

Tabla 6. Análisis Químico de Nutrientes disponibles en el BIOL-RAQUIS

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
245	183	14 000	54	32	71	1,1	4,2	2,2	0,3

Tratamiento 4: Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno

Para obtener el extracto de Azolla, se procedió a licuar la biomasa fresca cosechada más NitrAgua en la siguiente concentración, 1L de NitrAgua por 1 kg de Azolla, con el objetivo de obtener una solución acuosa que pudiera circular por el sistema hidropónico. Antes de establecer la cantidad de extracto a utilizar, se realizó un análisis químico para determinar la concentración de nitrógeno disponible. Esta concentración se comparó con los requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga, lo que permitió establecer una cantidad base de extracto a aplicar.

Tabla 7. Análisis químico de nutrientes disponibles en el extracto de Azolla Anabaena

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Zn	Cu	Fe	Mn	Na
		g L ⁻¹					p.p.m.		
1,10	2,29	1,21	1,40	0,83	16,5	4,1	53,0	10,50	156,80

Fuente: NEMALAB S.A. (2023).

Además, se aplicó una solución química sin Nitrógeno detallada a continuación.

Tabla 8. Solución nutritiva química utilizada

Fertilizantes	Dosis mg L ⁻¹
Fosfato mono potásico (KH_2PO_4)	300
Nitrato de Calcio $Ca(NO_3)_2$	842
Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$)	500
Micronutrientes Fertilizante Hidropónico Soluble	150

6. Resultados

6.1 Producción de nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla-anabaena* en condiciones accesibles para los agricultores del cantón Palanda.

Las condiciones climáticas promedio de diciembre 2022 a febrero 2023, periodo de la investigación según el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Palanda son: temperatura promedio de 22 °C, humedad relativa de 73 % y precipitación media mensual de 200 mm.

A continuación, se muestra la variabilidad de las propiedades químicas del agua desde el inicio del experimento con 0 % de cobertura del azollario, hasta el final cuando la biomasa de *Azolla* cubrió el noventa por ciento del azollario.

Tabla 9. Propiedades químicas del agua durante el experimento

% Cobertura de biomasa de azolla	N	P	B	Ca	Mg	K	CE	pH	Dureza
		Mg L ⁻¹			Meq L ⁻¹		dS cm ⁻¹		
0	4,1	3,66	0,28	1,61	0,18	0,58	0,35	7,2	185,2
65	11,5	5,76	0,26	1,83	0,3	1,77	0,56	7,3	297,6
90	8,2	3,92	0,3	1,15	0,21	1,19	0,41	7,3	214,2

Fuente: NEMALAB S.A. (2023).

El pH del agua se mantuvo neutro durante todo el experimento, con valores “moderados” de conductividad eléctrica (CE), y agua “Muy Dura”; Así mismo se evidencia una variabilidad en la disponibilidad de algunos nutrientes como B, Ca, Mg y K y sobre todo en N y P.

6.1.2 Desarrollo del cultivo de *Azolla filiculoides*

Los resultados revelaron una relación lineal significativa entre el tiempo transcurrido expresado en días y el crecimiento de *Azolla filiculoides*. Según la ecuación de crecimiento obtenida ($y = 447,86x + 1\ 502,5$), se observó un aumento constante en la superficie cubierta por la planta, con un incremento promedio de 447,86 m² ha⁻¹ por cada día transcurrido, con una siembra inicial de 1 502,5 m² ha⁻¹, equivalente al 11,23 % de 1 ha (Figura 5.)

En la Figura 6, se expone el modelo de regresión lineal de producción de *Azolla filiculoides* desde 1,89 t ha⁻¹ iniciales y con incremento diario de 0,75 t ha⁻¹ de biomasa fresca (drenada por 24 horas).

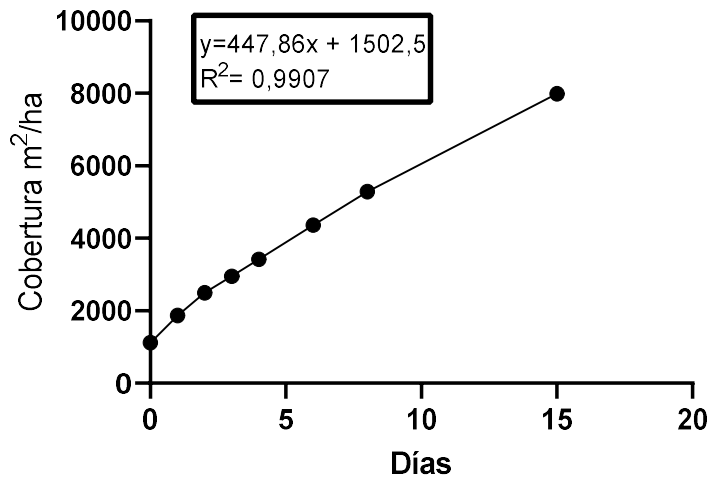


Figura 5. Crecimiento de Azolla filiculoides

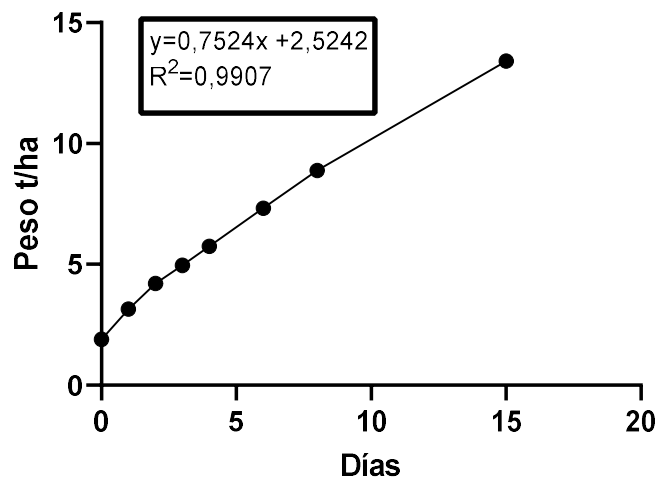


Figura 6. Aumento de la biomasa de Azolla filiculoides

6.1.3 Análisis químico de NitrAgua

Los resultados del análisis químico del agua en el azollario durante el experimento, revelaron cambios en las propiedades químicas del agua a medida que la cobertura de *Azolla* aumentaba.

6.1.3.1 Contenido de nitrógeno y fósforo en NitrAgua.

Inicialmente, antes de que la *Azolla* cubriera la superficie del azollario, se registraron concentraciones de nitrógeno en forma de NO_3 (Nitratos) de $4,1 \text{ mg L}^{-1}$ y fósforo en forma de PO_4 (Fosfatos) de $3,66 \text{ mg L}^{-1}$.

Sin embargo, cuando la *Azolla* cubrió el 65% de la superficie, se observó un aumento notable en los niveles de nitrógeno, con una concentración de NO_3 de $11,5 \text{ mg L}^{-1}$ y una concentración de fósforo de PO_4 de $5,76 \text{ mg L}^{-1}$.

A medida que la *Azolla* siguió extendiéndose y cubrió el 90% de la superficie del azollario, se registró una disminución en los niveles de nitrógeno, con una concentración de NO_3 de $8,20 \text{ mg L}^{-1}$, mientras que los niveles de fósforo se mantuvieron relativamente estables, con una concentración de PO_4 de $3,92 \text{ mg L}^{-1}$. (Figura 7)

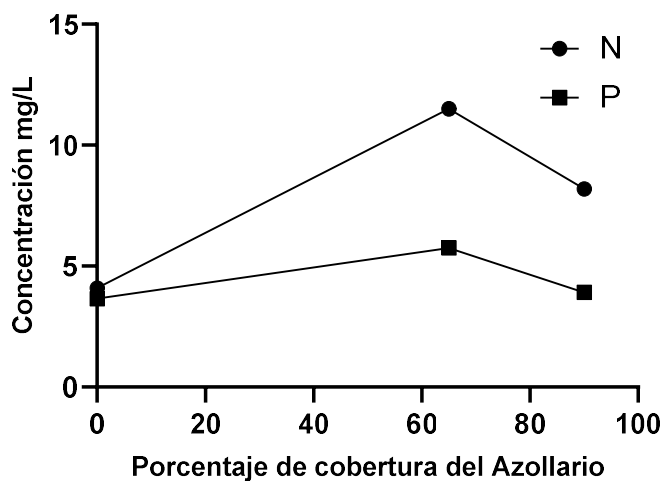


Figura 7. Contenido de Nitrógeno y Fósforo presente en la NitrAgua

6.1.3.2 Variación del pH en NitrAgua.

Los resultados del análisis del pH del agua en el azollario durante el experimento mostraron una leve variación a medida que la cobertura de *Azolla* aumentaba. Inicialmente, antes que la *Azolla* cubriera la superficie del estanque, se registró un pH de 7,2. A medida que la *Azolla* cubría el 65 % y el 90 % de la superficie del azollario, se observó una ligera elevación en el pH, registrando un valor de 7,3 en ambos casos (Figura 8).

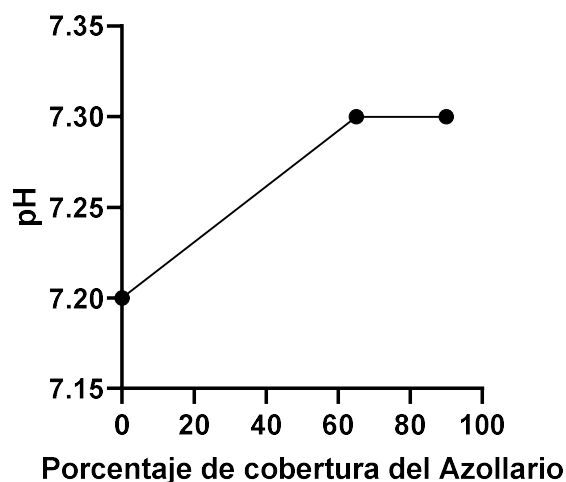


Figura 8. Variación del pH en la NitrAgua

6.1.3.3 Variación de la Conductividad Eléctrica en la NitrAgua.

Los resultados del análisis de la conductividad eléctrica del agua en el azollario mostraron cambios significativos a medida que la cobertura de *Azolla* aumentaba; al inicio, antes que *Azolla* cubriera la superficie del azollario, se registró una conductividad eléctrica de 0,35dS/m. A medida que la *Azolla* cubría aproximadamente el 65% y el 90% de la superficie del estanque, se observó un incremento en la conductividad eléctrica, registrando valores de 0,56 y 0,41 dS/m, respectivamente. (Figura 9)

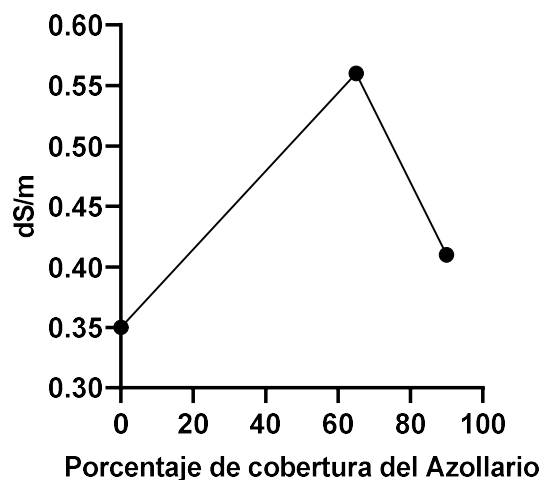


Figura 9. Variación de la C.E. en la NitrAgua

6.2 Efecto del biofertilizante resultado de la simbiosis *Azolla-Anabaena* y lixiviado del raquis del banano en el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Altura del cultivo de lechuga.

En el marco de esta investigación sobre el cultivo hidropónico de lechuga y las variaciones en las soluciones nutritivas, se realizaron mediciones de altura de planta en diferentes momentos clave del desarrollo del cultivo (Tabla 10).

Tabla 10. Diferencia de altura entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Tratamiento	Día (7)	Día (14)	Día (21)	Día (28)	Día (38)
T1: Solución química Completa	4,2	7,0	10,5	17,4	27,4
T2: Biomasa de Azolla y Raquis de Banano	4,3	5,8	10,2	16,2	25,6
T3: Raquis de Banano	4,2	5,8	10,0	16,7	24,5
T4: Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno	4,3	5,9	9,2	15,2	22,3

A los siete días, al momento del trasplante, todos los tratamientos presentaron alturas similares, oscilando de 4,2 a 4,3 cm. Sin embargo, al llegar al día 14, se empezó a observar tendencias de algunos tratamientos a presentar una mayor altura respecto del resto. El Tratamiento 1 (Solución Nutritiva completa) alcanzó una altura de 7 cm, mientras que los otros tratamientos mostraron alturas ligeramente inferiores (5,8 a 5,9 cm). A los 21 días, se mantuvieron las tendencias observadas anteriormente. En los días 28 y 35, se mantuvieron las diferencias en la altura del cultivo. El Tratamiento 1 continuó mostrando la mayor altura (17,4

y 27,4 cm) en los días 28 y 35, respectivamente. Los demás tratamientos exhibieron alturas ligeramente inferiores pero consistentes a lo largo del estudio, oscilando entre 1,2 cm y 25,6 cm (Figura 10).

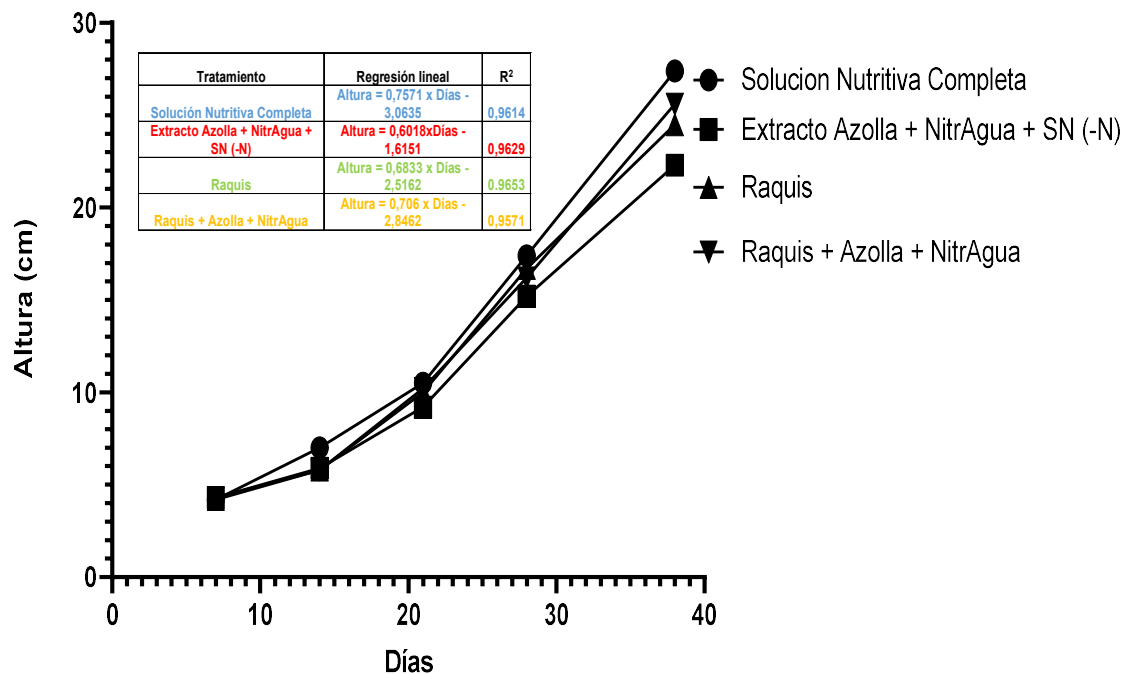


Figura 10. Diferencia de altura entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Los resultados del análisis de varianza al día de la cosecha (día 38), indican que existe una diferencia significativa entre tratamientos. La prueba de Tukey (Tabla 11) muestra que los tratamientos 1 (Solución química completa) y 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano), tienen una media significativamente mayor en comparación con los tratamientos 3 (Raquis de banano) y 4 (Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno) ($p < 0,05$).

Tabla 11. Valores promedio y la comparación estadística entre los tratamientos

Tratamiento	Altura cosecha cm	Intervalo de Confianza 95%	Comparación Estadística
(T1) Solución química Completa	27,4	26,0 - 28,8	A
(T2) Biomasa de Azolla y Raquis de Banano	25,6	24,2-27,0	A
(T3) Raquis de Banano	24,5	35,1-25,9	B
(T4) Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno	22,3	20,9-23,7	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Número de hojas

En el contexto de este estudio acerca del cultivo hidropónico, también se llevaron a cabo mediciones del número de hojas de las plantas en distintos momentos cruciales de su crecimiento (Tabla 12).

Tabla 12. Diferencia de número de hojas entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Tratamiento	Día (7)	Día (14)	Día (21)	Día (28)	Día (38)	Comparación Estadística
(T1) Solución química Completa	5	7	10	12	18	A
(T2) Biomasa de Azolla y Raquis de Banano	5	7	10	12	17	A
(T3) Raquis de Banano	5	7	10	11	15	B
(T4) Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno	5	7	8	9	12	C

En el día 7, todos los iniciaron con un promedio de 5 hojas. A medida que avanzó el tiempo, se observaron diferencias en el número de hojas entre los tratamientos. En el día 14, los cuatro tratamientos mostraron un incremento en el número de hojas, con un promedio de 7 hojas para cada uno. Esto indica un crecimiento constante en todos los tratamientos aplicados.

En el día 21, se observó que el tratamiento 4 (Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno) tuvo un menor número de hojas en comparación con los demás tratamientos, con un promedio de 8 hojas y los tratamientos 1 (Solución química Completa), 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) y 3 (Raquis de Banano) mostraron un promedio de 10 hojas. En el día 28, los tratamientos 1 y 2 mostraron el mayor número de hojas, con un promedio de 12 hojas cada uno. El tratamiento 4 tuvo el menor número de hojas, con un promedio de 9 hojas. El tratamiento 3 se ubicó en un punto intermedio, con un promedio de 11 hojas.

Finalmente, en el día 38 de la cosecha, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al número de hojas. El tratamiento 1 (Solución química Completa) mostró el mayor número de hojas, con un promedio de 18 hojas. Los tratamientos 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) y 3 (Raquis de Banano) tuvieron promedios de 17 hojas y 15 hojas, respectivamente. El tratamiento 4 (Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno) mostró el menor número de hojas, con un promedio de 12 hojas. (Figura 11)

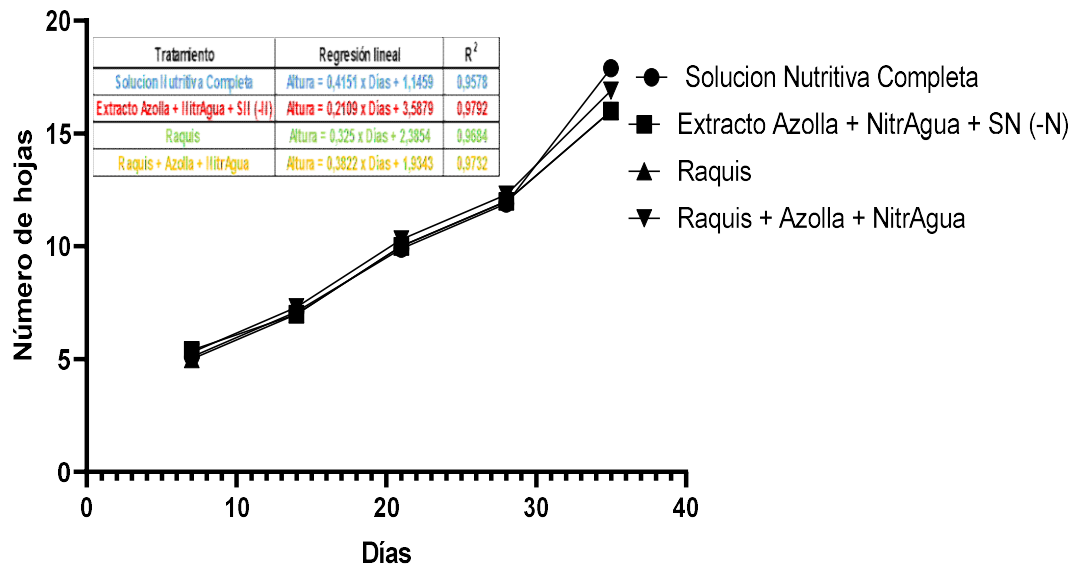


Figura 11. Diferencia de numero de hojas entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Los resultados del análisis de varianza indican que existe una diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.001$). Los resultados indican que el tratamiento 1 es significativamente diferente a los tratamientos 3 y 4 ($p < 0.001$), pero no hay una diferencia significativa entre los tratamientos 1 y 2 ($p > 0.05$). Por lo tanto, se puede concluir que el tratamiento 1 (Solución química Completa) es el mejor tratamiento, ya que presentó un mayor número de hojas al día de la cosecha y estadísticamente es significativamente diferente a los demás tratamientos. El tratamiento 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) también podría ser una buena opción, ya que no tiene ninguna diferencia significativa con el tratamiento 1

Largo de la raíz

En la investigación se también se evaluó el efecto en el crecimiento de las raíces del cultivo.

Tabla 13. Diferencia de largo de raíz entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Tratamiento	Longitud de la raíz (cm)	
	Día (7)	Cosecha (38)
(T1) Solución química Completa	3,0	20,7
(T2) Biomasa de Azolla y Raquis de Banano	2,9	15,7
(T3) Raquis de Banano	2,9	10,7
(T4) Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno	3,0	8,6

Se midió el largo de la raíz en dos momentos: al día 7 (trasplante) y al día 38 de la cosecha. En el día 7, todos los tratamientos mostraron longitudes similares de raíz, con valores alrededor de 3 cm, al día 38 de la cosecha, se observaron diferencias notables en el crecimiento de las raíces entre los tratamientos. El tratamiento 1 (Solución química Completa) mostró el mayor desarrollo de raíces, con un largo promedio de 20,7 cm. Los tratamientos 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) y 3 (Raquis de Banano) y también tuvieron un crecimiento notable de las raíces, con longitudes promedio de 15,7 cm y 10,7 cm, respectivamente. En contraste, el tratamiento 4 (Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno) mostró el menor desarrollo de raíces, con un promedio de 8,6 cm.

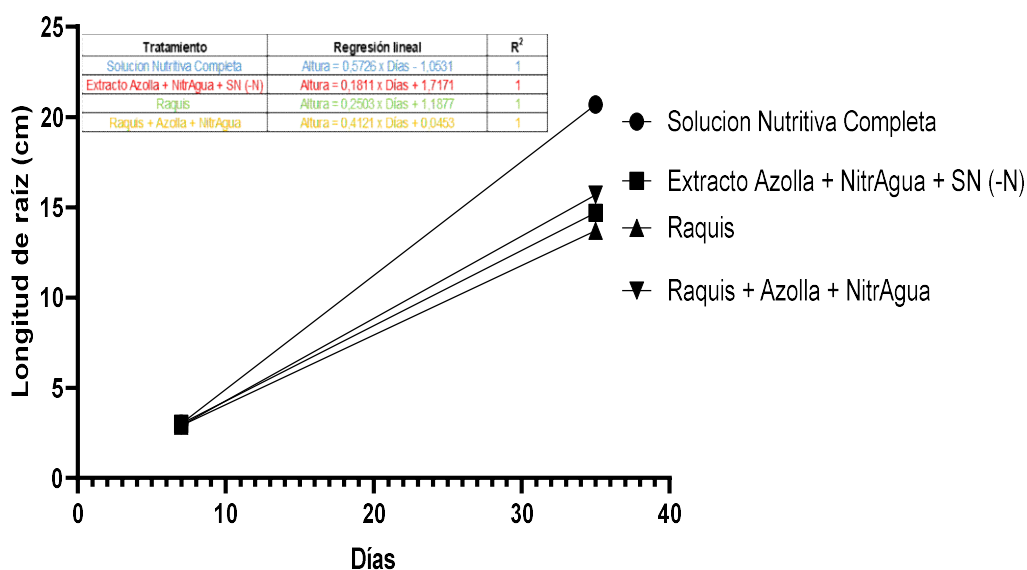


Figura 12. Diferencia de largo de raíz entre tratamientos del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Peso del cultivo de lechuga.

Los resultados muestran que existen diferencias significativas en el peso promedio del cultivo entre los diferentes tratamientos.

Tabla 14. Diferencia de Peso en el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la cosecha.

Tratamiento	Peso (g) Cosecha (día 38)	Comparación Estadística
(T1) Solución química Completa	145,3	A
(T2) Biomasa de Azolla y Raquis de Banano	124,3	A
(T3) Raquis de Banano	112,1	B
(T4) Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno	90,8	C

El tratamiento 1, que consistió en el uso de una solución nutritiva completa, resultó en el mayor peso promedio de las plantas, con un valor de 145,3 gramos. Por otro lado, el tratamiento 4, que consistió en el uso de Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno 90,8 gramos. Los tratamientos 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) y 3 (Raquis de Banano), que incluyeron el uso de Biol lixiviado de raquis de banano y con extracto de Azolla y NitrAgua, respectivamente, mostraron valores intermedios de peso promedio, con 112,1 gramos y 124,3 gramos. Estos resultados indican que estos tratamientos tuvieron un efecto positivo en el rendimiento del cultivo en comparación con el tratamiento 4 (Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno), pero no alcanzaron el mismo nivel de rendimiento que el tratamiento (Solución química Completa).

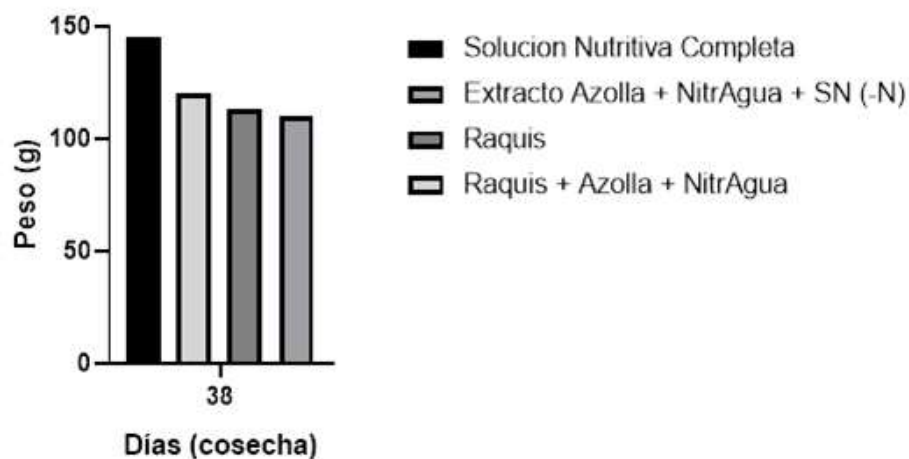


Figura 13. Peso del Cultivo promedio al día de la cosecha en Gramos según cada tratamiento

. Los resultados del análisis ANOVA muestran que hay diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.001$). La prueba de Tukey muestra que el tratamiento 1 (Solución Química Completa) tiene un peso promedio significativamente mayor que el tratamiento 3 (Raquis de Banano) y 4 (Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno), mientras que no hay diferencias significativas con el tratamiento 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano).

También la prueba post hoc mediante la prueba de Mann-Whitney U muestra que el tratamiento 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) es significativamente diferente de los tratamientos 3 (Raquis de Banano) y 4 (Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno) ($p < 0.05$), mientras que no hay diferencias significativas entre el tratamiento 1 (Solución Química Completa) y el tratamiento 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano).

7. Discusión

7.1. Producción de nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla Anabaena*

El helecho acuático *Azolla filiculoides* evidenció una adaptación exitosa al entorno, con un pH promedio de 7,3. Se observó que esta planta crece de manera rápida y constante, y con un manejo adecuado la convierte en una alternativa valiosa como fuente de nutrición para diversos cultivos. Durante el estudio, se registró un crecimiento de 447,86 m²/ha/día, con la biomasa duplicándose en un período de 6 a 8 días aproximadamente. Esto concuerda con la Investigación realizada por Vásquez *et al.*, (2023) en su investigación generación de Nitrógeno mediante la producción simbiótica *Azolla-Anabaena* en el cantón Loja.

Con respecto a los niveles de nutrientes en cuerpos de agua, este es un tema recurrente en la literatura científica. En este experimento, el aumento de la concentración de nitrógeno y fósforo en el agua presenta resultados interesantes y relevantes en el ámbito de la agricultura y la calidad del agua. Varios estudios respaldan la capacidad de *Azolla* para fijar y acumular nutrientes disponibles en el agua como nitrógeno y fósforo. Según Montaña (2015), *Azolla* es capaz de establecer simbiosis con la cianobacteria *Anabaena*, formando estructuras llamadas heterocistos, células especializadas que se encuentran en ciertas cianobacterias y que son responsables de la fijación de nitrógeno atmosférico y convertirlo en nitratos disponibles para las plantas. Esto puede resultar en un aumento significativo de la concentración de nitrógeno en el agua, corroborando los resultados de la presente investigación donde en su punto más alto el incremento fue de 4,1 a 11,5 mg L⁻¹ significando un aumento porcentual de aproximadamente del 180 %.

Además, *Azolla* también puede contribuir al aumento de la concentración de fósforo en el agua. Según Vidal (2017), *Azolla* tiene la capacidad de acumular y retener fósforo en sus tejidos, debido a la presencia de enzimas fosfatasas que pueden liberar fósforo de los compuestos orgánicos presentes en el agua. Por lo tanto, la presencia de *Azolla* en el agua puede resultar en un aumento en la concentración de fósforo disponible para otros organismos acuáticos, como se presentó en este caso, donde el aumento de este nutriente no fue de la misma magnitud que la del nitrógeno, pero sí registra un aumento de 3,66 mg L⁻¹ a 5,76 mg L⁻¹, es decir, del 57,38 % que sigue siendo un valor notable.

Estos hallazgos son relevantes para la agricultura y la calidad del agua, ya que la *Azolla* puede utilizarse como una estrategia para mejorar la fertilidad de los suelos y reducir la eutrofización de los cuerpos de agua.

7.2. Efecto de los bio fertilizantes

Altura

Con respecto a la altura, hay una diferencia significativa entre los tratamientos, donde la aplicación de (Solución Química Completa) y (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) tienen una media significativamente mayor en comparación con la aplicación de (Raquis de Banano) por sí solo y (Biomasa de Azolla y Solución sin Nitrógeno). Indicando que los tratamientos 1 (Solución Química Completa) y 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) pueden ser considerados como opciones más favorables o efectivas en términos de los resultados obtenidos, en comparación con los tratamientos 3 y 4; es decir descartando la Solución Nutritiva completa, El extracto de Azolla conjuntamente con el Biol y la NitrAgua suplen los requerimientos nutricionales del cultivo de Lechuga en condiciones hidropónicas; No se ha realizado estudios similares en el campo de la hidroponía, sin embargo en un estudio realizado por Gordon *et al.* (2016) en condiciones de cultivo en suelo, indica que las concentraciones de Biol de (2 %, 4 % y 6 %) en agua, con frecuencias de aplicación (8 y 15 días), obtuvieron una mayor altura; Al igual que en la investigación realizada por Vásquez *et al.* (2016), donde la aplicación de *Azolla* como bioabono en forma de materia seca, en el cultivo de maíz al igual en condiciones de cultivo en suelo, tuvo un mejor rendimiento con respecto a la altura comparado con los demás tratamientos aplicados.

Número de Hojas

Al igual que en la variable de altura los resultados del análisis de varianza que el tratamiento 1 es el mejor tratamiento, ya que presentó un mayor número de hojas al día de la cosecha y estadísticamente es significativamente diferente a los demás tratamientos. Pero descartando este tratamiento porque se trata de una Solución Química Completa, el tratamiento 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano). también podría ser una buena opción, ya que no tiene ninguna diferencia significativa con el tratamiento 1 y sus componentes son bio abonos, esto concuerda con Bocanegra (2014), en donde investigó la influencia de tres dosis de biofertilizantes en producción de lechuga, los tratamientos que mostraron la mayor cantidad de hojas, a la cosecha, fueron el Tratamiento T3 (4,00 m³/ha de BIOL) y T2 (3,00 m³/ha de BIOL) con 22.50 unidades, equivalente a un incremento del 18,42 % y 17,11 % con relación al testigo que obtuvo 19 unidades.

Largo de la Raíz

Descartando el tratamiento 1 (Solución Química completa) que mostró el mayor desarrollo de raíces, con un largo promedio de 20,7 cm. Los tratamientos 3 (Raquis de Banano) y 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) también tuvieron un crecimiento significativo de las raíces, con longitudes promedio de 10,7 cm y 15,7 cm, respectivamente. Esto corrobora la investigación realizada por Marita et al. (2022) donde la aplicación de Biol en un sistema hidropónico en concentraciones de Biol 5%, Biol 10%, Biol 15%, y Biol 20%, la concentración del 20% presentó las mejores ventajas en el peso, longitud foliar y radicular de Lactuca "lechuga". Esto tiene relación con lo que afirma Aparcana et al. (2018), quien menciona que el Biol se caracteriza por ser promotor y fortalecedor del crecimiento de las plantas y de sus raíces gracias a la producción de hormonas, las cuales son desechos del metabolismo de las bacterias típicas de la fermentación anaeróbicas. En la presente investigación se corrobora dicha mención ya que los tratamientos donde se utilizó el Biol Raquis, presentaron datos significativa mayores de longitud de raíz

Peso de la planta del cultivo de lechuga

Después de los análisis estadísticos aplicados a los resultados a la cosecha, 38 días de después de la aplicación de los tratamientos, se registró el mayor valor de peso (145,3 g) que corresponde al tratamiento de Solución Química Completa, sin embargo, no hay diferencias significativas con el tratamiento 2 (Biomasa de Azolla y Raquis de Banano) es decir que los bio abonos suplen las necesidades nutricionales del cultivo de la lechuga, en la presente investigación la aplicación de 500 cm³ combinada con el extracto de Azolla (1kg en 1litro de NitrAgua) fue la adecuado ya que se obtuvieron los mejores rendimientos con 124,3 g, después de la Solución química completa, esto concuerda con la investigación redactada por Cando y Malca (2017) donde en el cultivo hidropónico de Lactuca sativa, el rendimiento (g por planta) es sorprendente que con bajas concentraciones de Biol 500 cc, se obtengan buenos rendimientos de cosecha de lechuga 143,8 g; Así mismo citando a Brechelt (2004) quien menciona que el Biol se puede utilizar en gran variedad de plantas sin importar la perpetuación del cultivo, pero se debe tener precaución con su aplicación si es foliar o radicular; así como tener en cuenta la dosis y la frecuencia de su aplicación. También los materiales y herramientas adecuadas para el proceso, sobre todo en cultivos hidropónicos.

8. Conclusiones

- Los resultados respaldan la capacidad de *Azolla filiculoides* para incrementar la concentración de nutrientes, tanto de nitrógeno como de fósforo, en cuerpos de agua. La simbiosis entre *Azolla* y la cianobacteria *Anabaena* permite la fijación de nitrógeno atmosférico y su conversión en nitratos disponibles para las plantas, lo cual se traduce en un aumento significativo de la concentración de nitrógeno en el agua. Además, *Azolla filiculoides*, también acumula y retiene fósforo en sus tejidos, liberándolo posteriormente a través de enzimas fosfatasas. Este proceso contribuye al aumento de la concentración de fósforo disponible para otros organismos acuáticos o su uso como bio fertilizante.
- Los resultados del estudio indican que los tratamientos 1 (Solución Química Completa) y 2 (Biomasa de *Azolla* y Raquis de Banano). presentaron mejores resultados en términos de altura, número de hojas, longitud de la raíz y peso de la planta en comparación con los tratamientos 3 (Raquis de banano) y 4 (Biomasa de *Azolla* y Solución sin Nitrógeno). Estos tratamientos que incluyen bioabonos demostraron ser efectivos en el suministro de nutrientes para el cultivo de lechuga en condiciones hidropónicas. Además, investigaciones anteriores respaldan los beneficios del uso de bioabonos en el crecimiento de las plantas. Es importante tener en cuenta las dosis y frecuencias de aplicación, así como utilizar los materiales y herramientas adecuadas, especialmente en cultivos hidropónicos.
- La elección del tratamiento para un cultivo puede depender de varios factores, como la disponibilidad de nutrientes y las necesidades específicas de la planta. La combinación de diferentes enmiendas y nutrientes puede tener un efecto diferente en el crecimiento de las plantas sin embargo y para este contexto se sugiere que la aplicación de Biol Raquis, *Azolla* en forma de NitrAgua y Extracto de la misma, ya puede ser una importante alternativa Agroecológica para fertilizar cultivos como la lechuga reduciendo el uso de fertilizantes de síntesis química y los costos de producción.
- Los resultados obtenidos indican que la falta de nitrógeno afecta negativamente el crecimiento y rendimiento de las plantas y que la presencia de raquis y *Azolla* puede tener un efecto beneficioso en su crecimiento. Además, estos hallazgos coinciden con la literatura existente sobre la importancia del nitrógeno en la formación de proteínas y la fotosíntesis.

9. Recomendaciones

- Continuar investigando y explorando diferentes combinaciones de bioabonos y soluciones nutritivas para optimizar el crecimiento de la lechuga en condiciones hidropónicas. Esto podría incluir probar diferentes dosis y proporciones de bioabonos, así como explorar la viabilidad de otros bioabonos disponibles.
- Realizar un análisis bromatológico al final de la investigación. Este análisis permitiría determinar la composición nutricional de las plantas de lechuga cultivadas con los diferentes tratamientos y determinar el nivel de absorción de nutrientes que pueden alcanzar a extraes de los tratamientos implementados con los bioabonos.
- Realizar estudios adicionales para evaluar el efecto a largo plazo de los tratamientos en el rendimiento de la lechuga. Esto permitiría comprender mejor la durabilidad y la sostenibilidad de los resultados obtenidos en términos de altura, número de hojas, longitud de raíz y peso de la planta.
- Evaluar la viabilidad económica de la aplicación de bioabonos en comparación con otros métodos de fertilización en cultivos hidropónicos. Esto implica analizar los costos de producción, la disponibilidad de los bioabonos y los posibles beneficios económicos que podrían obtenerse a través de su uso.
- Considerar la implementación de prácticas agronómicas complementarias, como el monitoreo regular de los niveles de nutrientes en la solución nutritiva, el control de plagas y enfermedades, y la gestión adecuada del riego. Estas prácticas pueden mejorar aún más el rendimiento y la salud general del cultivo de lechuga.

10. Bibliografía

- Aldás, J. (2016). *Mishra DJ, Singh R, Mishra UK, Shahi-Sudhir K. Role of Bio-Fertilizer in Organic Agriculture: A Review. Res J Recent Sci. (2012).*
Obtenido de
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200008
- Allca, K. P. (2017). *Efecto de tres concentraciones de nitrato de calcio en el rendimiento de Lactuca sativa L. "lechuga", en cultivo hidropónico.* Ayacucho - Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL HUAMANGA.
- Altieri, M. A. (2002). *Agroecología: la dinámica de la agricultura sostenible.* Montevideo: Nordan Comunidad.
- Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(1), 35-42.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology: transforming agriculture from a degenerative to a regenerative practice. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(8), 893-897.
- Álvarez, E. G. (2010). *Control of powdery in Roses by Applying Lixiviated Plantain Rachis Compost.* Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Aparcana S. 2018. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "Fermentación anaeróbica" para producción de Biogás. German ProfECGmbH. Perú, 2-4pp
- Barbado, J. L. (2005). *Hidroponia.* Albatros Ediciones.
- Barcelo, C., J, R., & B, S. y. (1985). *Fisiología Vegetal* (3ª ed). 780.
- Bashan, Y., & de-Bashan, L. E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. *Advances in agronomy*, 108, 77-136.
- Benavides, H. (29 de 07 de 2021). <https://www.virtualpro.co/>. Obtenido de <https://www.virtualpro.co/noticias/cultivos-hidroponicos-garantizarian-seguridad-alimentaria>
- Bergersen, F. J. (1980). Nitrogen fixation in perspective. *Journal of Applied Bacteriology*, 48(1), 1-13.
- Bocanegra Oscar; Ingeniería Agrónoma, E. (s/f). UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO. Edu.pe. Recuperado el 14 de junio de 2023, de https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/864/1/REP_ING.AGRON_OSCAR.BOCANEGRA_INFLUENCIA.TRES.DOSIS.CRECIENTES.BIOFERTILIZANTE.BIOL.PRODUCCI%c3%93N.LECHUGA.LACTUCA.SATIVA.L.VAR.GREAT.LAKES.659.CONDICIONES.VALLE.SANTA.CATALINA.LA.LIBERTAD.pdf

- Brechelt, A. 2004. El manejo ecológico de plagas y enfermedades. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina. Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). RD. Santiago: RAP-AL
- Briones. (2004). *Evaluación del cultivo de la lechuga, (Lactuca sativa L), bajo condiciones hidropónicas en Pachalí, San Juan Sacatepéquez Guatemala.* Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Calderon, F. (2004). *La solución nutritiva.* Bogotá. (S/f-b). Drcalderonlabs.com. Recuperado el 17 de mayo de 2023, de http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/La_Solucion_Nutritiva.htm
- Cando, S., & Malca, L. (2017). Influencia de un abono orgánico líquido tipo biol en el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa L*) cultivada en sistemas hidropónicos. Manglar (Tumbes), 12(2), 31–38. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/53/165>
- Cárdenas, Y., Ramos, D., & Alcívar, R. (2019). Efecto de la aplicación de Azolla como biofertilizante en el cultivo de arroz en la provincia de Santa Elena. Agropecuaria, 13(2), 14-21.
- Carlos, A.-J. J., -Vásquez, Z., Hernán, J., Saul, C.-T., Luís, V.-A., Pomboza-Tamaquiza, A., Pablo, P., Olguer, L.-G., Datos, A., Resumen, D. A., Carlos, J., Jarrín, A., & Andina, S. (s/f). Efecto biofertilizante de azolla - anabaena en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) Fertilizer effect Azolla - Anabaena in maize (*Zea mays L.*). Org.bo. Recuperado el 14 de junio de 2023, de http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v4n2/v4n2_a08.pdf
- Castillo, C. (2009). *La hidroponía como alternativa de producción vegetal.* Obtenido de <http://chcastillo.tripod.com/hidroponia/concepto.htm>
- Chávez-Estudillo, V., Valencia-Ordoñez, A., Cordova-Nieto, C., Estevez-Flores, N., Jarillo-Rodríguez, J., & Carranza, N. (2017). Lixiviados de Raquis de Plátano: Obtención y Usos Potenciales. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Comportamiento de la azolla (*Azolla spp.*) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. *Revista Cumbres Vol.3 N°2*, 3-8.
Conocimiento tropical.
- Días, E., J, K., & R, B. y. (2007). Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. *Tierra tropical.* 79-160.
- E, G. (2007). *Efecto de 2 soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad de la lechuga (Lactuca sativa L var. longifoliacompositae).* Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Espinoza, G. (2011). Composición del Biol a base de estiércoles y algas. *Continental SA Arequipa.*
- FAO. (2010). *EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y ALIMENTACION.* Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión.

- FAO. (2012). *Panorama general de la producción y el comercio mundial de banano. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.*
- Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B., & Cosby, B. J. (2003). The Nitrogen Cascade. *BioScience*, 53(4), 341-356.
- Gao, Y., Tang, M., Qin, B., Zhang, L., & Zhao, Y. (2018). Effects of *Azolla filiculoides* on the growth and development of rice and its potential use in the control of rice pests. *PloS one*, 13(6), e0199176.
- Garzón, S. (2006). *Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes.* Honduras: Zamorano.
- Gavilanes, E. R. (2015). *repositorio.uta.edu.ec.* Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10941/1/tesis-039%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20335.pdf>
- Gliessman, S. R. (2014). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible.* México: Pearson.
- Gliessman, S. R. (2014). *Agroecology: Processes and Pathways for Sustainable Agriculture* (3rd ed.). CRC Press.
- Godoy, C. (2018). MANUAL DE CAMPO. Fia.cl. Recuperado el 17 de febrero de 2023, de https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/146443/Manualdecampoprincipalesplagasyenfermedadestomatelechugacebolla_BolINIA388.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez, K. A., Gómez, A. A., & Cantero, A. M. (2016). *Fisiología vegetal.* Universidad Nacional de Colombia.
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1-2), 95-124.
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1-2), 95-124.
- González, R. (2008). Hidroponía en NFT. *Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos.*
- González-Portilla, M., Rubio, G., Fernández-Luqueño, F., & Pedraza-Santos, M. (2017). *Azolla filiculoides* Lamarck como biofertilizante en cultivos de maíz. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 4(11), 347-356.

- Gortaire A., R. (2017). Agroecología en el Ecuador. Proceso histórico, logros, y desafíos. *Antropología Cuadernos de investigación*, 17, 12. <https://doi.org/10.26807/ant.v0i17.85>
- Gupta, A., Sharma, S., & Srivastava, P. K. (2016). Azolla as a sustainable feedstock for the production of biofuels and other value-added products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 531-537.
- Hardy, R. W., Holsten, R. D., Jackson, E. K., & Burns, R. C. (1968). The acetylene-ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. *Plant physiology*, 43(8), 1185-1207.
- Huang, R., Zhang, J., & Cai, Z. (2014). Regulation of nitrification in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 286-294.
- INDAP. (2017). Obtenido de https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29500/INIA_Libro_0051.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Intriago, L. R., González, O. V., Jaramillo, M. C., & Delgado, I. R. (2017).
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895.
- Lei, X., Zhang, X., & Ren, Z. (2020). Azolla: a sustainable feedstock for biogas and biofertilizer production. *Biotechnology for Biofuels*, 13(1), 1-15.
- Limas, M. L. (2021). *Como cultivar y cosechar la Azolla | Azolla bolivia*. <https://azollabolivia.wordpress.com/como-cosechar/>
- Mafla, E. (2015). *Respuesta de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) Con tres niveles de fertilización en producción hidropónica en la zona de Ibarra, Provincia de Imbabura*. El Ángel - Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo.
- Mariano, M. A. (2005). Estudio de la aplicación de *Azolla Anabaena* como bioabono en el cultivo. *Revista Tecnológica ESPOL*.
- Marita, K., Medina Vásquez, E., Vallejo, C., Allinson, F., Cabrera, L., David, Á., Salvatierra, R., Luis, A., Betzabet, C., Vásquez, B., Alberto, C., & Torres, L. (s/f). <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29108>
- Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press
- Martínez, R. (febrero de 2018). *Cada día la actualidad ecológica en*. Obtenido de www.bioecoactual.com: https://www.bioecoactual.com/wp-content/uploads/2018/01/bioecoactual_febrero_18_cas.pdf
- Mena, M. J., Orellana, R., Romero, W., Hidalgo, C., & Ortega, E. (2017). Efecto de la aplicación de *Azolla filiculoides* Lam. en la producción de maíz (*Zea mays* L.)

- en la parroquia Tarqui del cantón Cuenca. *Revista Ciencia y Tecnología*, 10(2), 31-37.
- Mena, M. J., Rodríguez, M., Cárdenas, Y., & Orellana, R. (2018). Potencial de uso de la Azolla como biofertilizante en la agricultura ecuatoriana. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8(2), 149-156.
- Mengel, K. (2015). Principios de Principios de Principios de Principios de Principios de Nutrición Nutrición Nutrición Nutrición Nutrición V V V V Vegetal egetal egetal egetal. *Edu.ar*. Recuperado el 17 de abril de 2023, de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%20C3%93N%20VEGETAL.pdf
- Mohammadi, M., Eskandari, H., & Azimi, M. H. (2018). Effect of Azolla and nitrogen application on yield and quality of sweet pepper under salinity conditions. *Biological Forum An International Journal*, 10(1), 1-5.
- Montaño, G. (2010). Diagnóstico de la situación actual de la producción orgánica en el Ecuador. Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Montaño, M. (. (2013). *wmontaww.dspace.espol.edu.ec*. Obtenido de <https://wmontaww.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21292/1/NITR%20C3%93GENO%20CRIOLLO.%20NUEVA%20ESPERANZA%20PARA%20LA%20AGRICULTURA%20DEL%20ECUADOR.pdf>.
- Montaño, M. (2010). *researchgate.net*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/43404204_Desarrollo_del_Recurso_Azolla_Anabaena_y_Aplicaciones_en_los_Sectores_Agricola_Pecuario_y_Acuicola
- Montaño, M. (2015). Estudio de la Azolla como una alternativa en la fijación de nitrógeno. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Montaño, M. d. (2011). Azolla anabaena nuevo paradigma de la agricultura, ganadería, salud, medio ambiente y economía en la perspectiva de ecosistema Guayas.
- Morales, P. (2021). *obtienearchivo.bcn.cl*. Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32638/2/Precio_de_los_fertilizantes_y_analisis_de_factores_que_explican_su_incremento_Final.pdf
- Moura, B. B., Dos Santos, V. C., Dos Santos, M. O., Santos, D. R., Almeida, G. C. S., & Lacerda Júnior, G. V. (2020). Resíduos orgânicos na agricultura: Benefícios e potencialidades. *Research, Society and Development*, 9(2), e437922001.
- Muñoz, C. (2018). Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15114/1/T-UCE-0004-A78-2018.pdf>

- Nguyen, L. T., van Thuoc, D., & Thu, N. T. (2019). Effect of *Azolla filiculoides* on the water quality and growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic system. *Journal of Vietnam Environment*, 11(4), 9-17.
- OMAR, S. F. (2018). *EVALUACIÓN DE DOSIS CRECIENTE DE NITRÓGENO EN CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA (<I>LACTUCA SATIVA</I> L.* Machala.
- Pacheco Sucre Cando, Leocadio Malca Acuña. (2015). Influencia de un abono orgánico líquido tipo biol en el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L) cultivada en sistemas hidropónicos.
- Pacheco, D., Bastidas, S., & Altieri, M. A. (2019). Agroecology in Ecuador: Emergence and institutionalization of a socio-technical innovation system. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(10), 1162-1182.
- Parida, H., Mohanty, N., & Panda, R. K. (2017). Growth, productivity and quality of tomato as influenced by different organic amendments in a mollisol of Odisha, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 9(1), 57-61.
- Patiño, J. C. (2020). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL . PALANDA: GAD .*
- Payan, M. C., Mora, A., Muñoz, C., Medina, E., Puentes, H., Pérez, L., ... & Vásquez, H. (2012). Nutrición mineral en café (*Coffea arabica* L.) bajo sombrío. *Orinoquia*, 16(2), 222-235.
- Perez, F. L. (2017). Edu.pe. Recuperado el 17 de junio de 2023, de <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf>
- Portuguez, J. A. (2015). *Cultivos hidropónicos y organopónicos: opciones para la producción de alimentos.* UNIVERSIDAD EARTH.
- PROMSA. (2004). Aplicación de la Simbiosis Diazotrófica entre *Azolla* y *Anabaena* como abono verde para el cultivo del arroz en el Litoral Ecuatoriano (IG-CV-053).
- R. E. Muñoz V., R. M. (2005). Efecto de lixiviados del raquis de plátano sobre la actividad biomasa microbiana en floración y cosecha del tomate. *Acta Agronómica*.
- Rajendran, G., Singaravelu, G., & Kumar, S. (2020). Biofertilizers: A key player in enhancing soil fertility and crop productivity. In A. Rakshit, S. Abhilash, R. Velu, & G. Panneerselvam (Eds.), *Plant Growth Promoting Microorganisms for Sustainable Agriculture* (pp. 21-41). Woodhead Publishing.
- Salcedo, V. H., Rosas, D., & Altieri, M. A. (2017). Agroecology for food sovereignty and post-conflict reconstruction in Colombia and Ecuador. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(7), 745-768.
- SANCHEZ, F. S. (2018). *EVALUACIÓN DE DOSIS CRECIENTE DE NITRÓGENO EN CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA (<I>LACTUCA SATIVA</I> L.*

- Schimel, J., & Bennett, J. (2004). Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. *Ecology*, 85(3), 591-602.
- Smith, K. A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K. E., Massheder, J., & Rey, A. (2002). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, 53(6), 779-791.
- Staley, B. D. (2012). *Staley, B.F., De los Reyes, F.L., y Barlaz, M.A. Comparison of Bacteria and Archaea communities in municipal solid waste, individual refuse components, and leachate. FEMS Microbiol. Ecol. 79(2): 465-473.*
- Suárez, C. E. (2022). *sabermas.umich.mx*. Obtenido de <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/471-numero-53/907-Azolla-planta-acuatica-fuente-de-nitrogeno.html>
- Tacuri, E., Carpio, C., Vanek, S., & Chappell, M. J. (2018). Agroecology as a pathway to resilience in the Ecuadorian Andes. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(10), 1101-1125.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Plant physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Teixeira, G. (2000). Azolla as a biofertiliser in Africa. A challenge for the future. 120-138.
- Temesgen, M., Gebremedhin, B., & Beyene, S. (2018). Effect of banana pseudo-stem and cactus (*Opuntia ficus-indica*) sap as an alternative to inorganic fertilizer on the yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Abergelle, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 13(26), 1356-1365.
- Ulibarry, G. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Chile: Asesoría Técnica Parlamentaria.
- Vásquez, E., Abad-Calva, G. N., Angamarca-Angamarca, C. G., & Calle-Herrera, Y. A. (2023). Generación de nitrógeno mediante la producción simbiótica azolla-anabaena en el cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(2), 91–103. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1858>
- Vidal, L. M., López, M. J., Morales, M. I. G., & Becerril, J. M. (2017). Azolla as a Sustainable Feedstock for Bioproducts: Current Status and Potential Applications. *Molecules*, 22(6), 977.
- Vyas, P., Rahi, P., & Gulati, A. (2016). Potential of plant growth promoting rhizobacteria and their bioformulations for sustainable agriculture. In *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity* (Vol. 1, pp. 187-211). Springer.
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., Peigné, J., & Valantin-Morison, M. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503-515.

Yara. (2018). Fertilización equilibrada de cultivos. Recuperado de <https://www.yaraperu.com/kit-tecnico/fertilizacion-equilibrada-de-cultivos>.

11. Anexos

Anexo 1. Construcción de los Azollarios



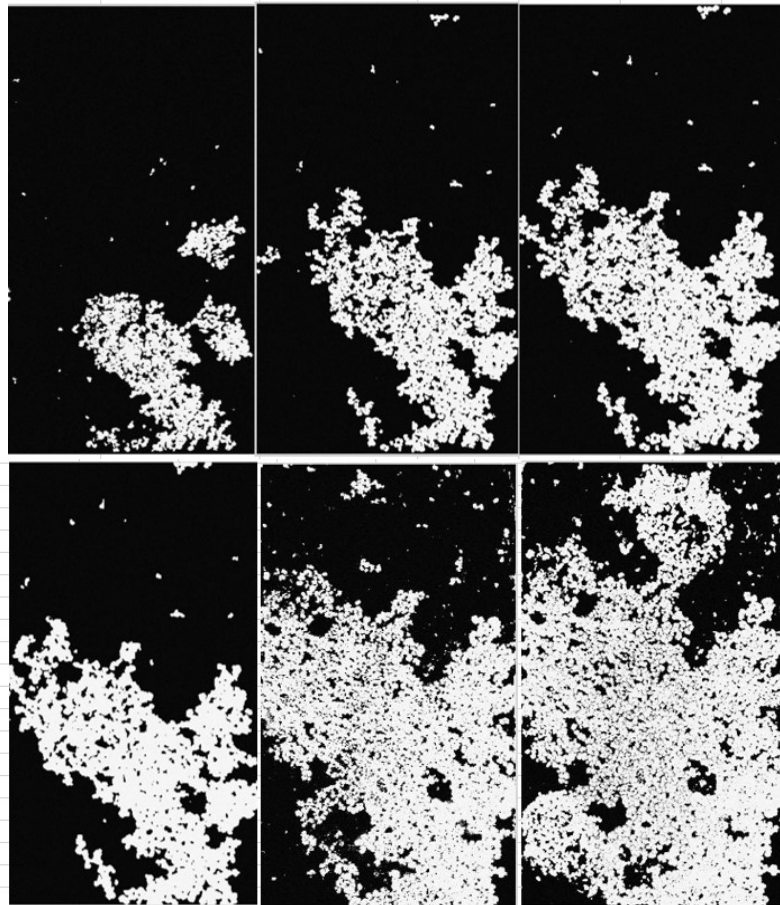
Anexo 2. Obtención del Lixiado de Raquis, Vinces



Anexo 3. Siembra de Azolla con área específica 0.0625m²



Anexo 4. Progreso de Crecimiento de cobertura en azollario Canopeo



Anexo 5. Establecimiento De Los Tratamientos



Anexo 6. Toma de datos



Anexo 7. Toma muestras de agua y datos azollarios



Anexo 8. Equipo de trabajo



Palanda, 10 de julio de 2023

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, **ELSA MARGARITA GUANUCHE SÀNCHEZ**, con numero de cedula **1104088495** y con título de licenciada en Ciencias de la Educación, mención Inglés, registrado en la SENESCYT con numero **1008-11-1095273**.

CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del presente trabajo de titulación denominado **“Producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en condiciones hidropónicas con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis Azolla-Anabaena y lixiviado de raquis de banano”** de autoría de **Harry Anderson Ortiz Villavicencio**, portador de la cedula de identidad **1105236630**, maestrante en Agroecología y Desarrollo Sostenible de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado a hacer uso del presente en los que se creyera conveniente.



Lic. ELSA MARGARITA GUANUCHE SÀNCHEZ
C.I.:1104088495
Registro del SENESCYT: 1008-11-1095273

