



1859



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.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.) con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla anabaena* y lixiviado de raquis de banano

Tesis de grado previo a la
obtención del título de
Magíster en Agroecología

AUTORA:

Fanny Katherine Cordero Rojas

DIRECTOR:

Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Loja- Ecuador

2023

Certificación

Loja, 25 de abril de 2023

Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.
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.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.) con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla anabaena* y lixiviado de raquis de banano**, de autoría de la estudiante **Fanny Katherine Cordero Rojas**, 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.



Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Fanny Katherine Cordero Rojas**, declaro ser la autora 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:

Cédula de Identidad: 1105714818

Fecha: 12 de junio de 2023

Correo electrónico: fkorderor@unl.edu.ec

Teléfono Celular: 0961630596

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

Yo **Fanny Katherine Cordero Rojas**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.) 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 doce días del mes de junio de dos mil veintitrés.

Firma:

Autora: Fanny Katherine Cordero Rojas

Cédula: 1105714818

Dirección: Urbanización Municipal, Espíndola, Loja, Ecuador

Correo electrónico: fkcorderor@unl.edu.ec

Teléfono Celular: 0961630596

DATOS COPLEMENTARIOS:

Director de titulación: Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico primeramente a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades ni desfallecer en el intento.

Con mucho cariño a mis padres Lic. Manuel Cordero y Lic. Rosa Rojas, que me han dado la vida y siempre han estado conmigo en todo momento por ser el pilar más importante, gracias a ustedes soy lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi esposo Ing. Cesar Rojas, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y apoyarme en cualquier momento.

A mis hermanos Manuel, Jennifer, José Luis y Juan Pablo Cordero Rojas, por estar siempre presentes, acompañándome para poder realizar mis sueños,

De manera especial a mis sobrinas Ahinoa y Amelia, a mi ángel que me guía desde el cielo, y a mi príncipe que viene en camino César Mathias, quienes son lo más importante en mi vida, hoy he dado un paso más para servir de ejemplo a las personas que más amo en este mundo.

Fanny Katherine Cordero Rojas

Agradecimiento

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerte a ti mi Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, por hacer realidad este sueño anhelado.

Le doy gracias a mis padres Lic. Manuel Cordero y Lic. Rosa Rojas, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado; a mis hermanos Manuel, Jennifer, José Luis y Juan Pablo Cordero Rojas, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar.

A mi compañero de vida mi esposo Ing. César Rojas por estar siempre ahí, por quererme tanto y apoyarme en todo, tu ayuda asido fundamental has estado conmigo en todo momento, este proyecto no fue fácil pero siempre estuviste tu para motivarme y ayudarme sin medir esfuerzos.

Además, mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, Maestría Agroecología, por haber sido la institución que abrió sus puertas para que logre cursar mis estudios de cuarto nivel.

Agradezco de manera muy especial a mi Director de Tesis Edison Ramiro Vásquez, Ph.D. quien fue el promotor y pilar fundamental para dirigir el cumplimiento de mi trabajo de investigación, por sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación , han sido fundamentales para mi formación, inculcando en mi un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico a su manera ha sido capaz de ganarse mi lealtad y admiración, así como sentiré en deuda por todo lo recibido durante todo el proceso de tesis, gracias por creer en mí.

Para todos: Muchas gracias y que Dios los bendiga

Fanny Katherine Cordero Rojas

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	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. La agricultura.....	6
4.1.1. Fertilizantes químicos	7
4.1.2. Producción agroecológica de hortalizas	7
4.2. Nitrógeno	7
4.2.1. <i>El ciclo del nitrógeno</i>	8
4.2.2. <i>El nitrógeno en la agricultura</i>	8
4.2.3. <i>Fijación biológica del nitrógeno</i>	9
4.2.4. <i>Mineralización del nitrógeno</i>	9
4.3. Azolla filiculoides.....	10
4.3.1. <i>Clasificación taxonómica de la Azolla</i>	10
4.3.2. <i>Simbiosis de la Azolla</i>	11
4.3.3. <i>Fijación biológica con bacterias libres</i>	11
4.4. Lixiviado de raquis de plátano.....	12
4.4.1. <i>Uso de raquis de plátano en la agricultura</i>	12
4.5. Cultivo de lechuga	13
4.5.1. <i>Clasificación taxonómica de la lechuga</i>	13

4.5.2. <i>Morfología de la lechuga</i>	13
4.5.3. <i>Requerimientos edafoclimáticos de la lechuga</i>	14
4.5.4. <i>Requerimientos nutricionales de la lechuga</i>	14
4.5.5. <i>Requerimiento hídrico del cultivo de la lechuga</i>	14
4.6. Cultivo de pimiento	15
4.6.1. <i>Clasificación taxonómica del pimiento</i>	16
4.6.2. <i>Morfología del pimiento</i>	16
4.6.3. <i>Requerimientos edafoclimáticos del pimiento</i>	17
4.6.4. <i>Requerimientos nutricionales en el pimiento</i>	17
4.6.5. <i>Requerimiento hídrico del cultivo de pimiento</i>	18
5. Metodología	19
5.1. Ubicación de la parroquia Santa Teresita	19
5.2. Materiales y equipos	19
5.3. Métodos	20
5.4. <i>Metodología para el primer objetivo</i>	20
5.4.1. <i>Contenido de nitrógeno en el Azollario</i>	21
5.5. <i>Metodología para el segundo objetivo</i>	21
<i>Modelo estadístico</i>	22
6. Resultados	25
6.1. Producción de nitrógeno a partir de la simbiosis <i>Azolla anabaena</i> en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Santa Teresita.....	25
6.1.1. <i>Crecimiento y producción de Azolla filiculoides</i>	25
6.1.2. <i>Análisis químico de NitrAgua</i>	26
6.2. Evaluar el efecto de biofertilizantes resultado de la simbiosis <i>Azolla Anabaena</i> y lixiviado del raquis del banano en el cultivo de lechuga.....	27
6.2.1. <i>VARIABLES morfológicas en el cultivo de lechuga</i>	27
6.2.2. <i>VARIABLES morfológicas en el cultivo del pimiento</i>	30
7. Discusión	35
7.1. Producción de nitrógeno a partir de la simbiosis <i>Azolla anabaena</i> en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Santa Teresita.....	35

7.1.1. Crecimiento y producción de <i>Azolla filiculoides</i>	35
7.1.2. Contenido de nitrógeno en NitrAgua.....	36
7.1.3. Contenido de nitrógeno en biomasa de <i>Azolla filiculoides</i>	36
7.1.4. Contenido de pH en NitrAgua	37
7.2. Efecto de biofertilizantes resultado de la simbiosis <i>Azolla Anabaena</i> y lixiviado del raquis del banano en el cultivo de lechuga.....	37
7.2.1. Nutrientes en el suelo.....	37
7.3. Cultivo de lechuga	38
7.3.1. Altura.....	38
7.3.2. Número de hojas	38
7.3.3. Diámetro de tallo en el cultivo	39
7.3.4. Peso de la planta.....	39
7.4. Cultivo de Pimiento	39
7.4.1. Altura.....	39
7.4.2. Número de hojas	40
7.4.4. Número de frutos por planta.....	40
7.4.5. Longitud de fruto	40
7.4.6. Peso del fruto.....	41
8. Conclusiones	42
9. Recomendaciones	43
10. Bibliografía	44
11. Anexos	50

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica de Azolla.....	10
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la lechuga.	13
Tabla 3. Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga.....	14
Tabla 4. Diseño agronómico para los tratamientos láminas de riego a diferentes etapas fenológicas para el cultivo de lechuga.....	15
Tabla 5. Clasificación Taxonómica del pimiento.....	16
Tabla 6. Requerimientos nutricionales del pimiento.....	18
Tabla 7. Requerimientos hídricos para el cultivo de pimiento.....	18
Tabla 8. Análisis químico del lixiviado de raquis de banano.....	20
Tabla 9. Factores estudiados en el cultivo de lechuga y pimiento.	24
Tabla 10. Propiedades químicas del suelo.....	25
Tabla 11. Propiedades químicas del agua.	25
Tabla 12. Contenido de nutrientes en biomasa de <i>Azolla filiculoides</i>	27

Índice de figura

Figura 1. Ubicación de la finca "Saca", parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola	19
Figura 2. Imagen de los azollarios	21
Figura 3. Esquema de diseño experimental de bloque al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones del cultivo de lechuga.	22
Figura 4. Unidad experimental y unidades básicas del cultivo de lechuga.....	22
Figura 5. Esquema de diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones del cultivo de pimiento.	23
Figura 6. Unidad experimental y unidades básicas del cultivo de pimiento	23
Figura 7. Crecimiento de <i>Azolla filiculoides</i> desde el inicio de siembra hasta los 30 días	26
Figura 8. Producción de <i>Azolla filiculoides</i> desde el inicio de siembra hasta los 30 días.....	26
Figura 9. Contenido de nitrógeno en NitrAgua (gr/l).....	26
Figura 10. pH de NitrAgua.....	27
Figura 11. Crecimiento de plantas de lechuga desde los 7 a 38 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.	28
Figura 12. Incremento de altura en plantas de lechuga, a los 38 días después de la aplicación de los tratamientos.....	28
Figura 13. Diámetro de plantas de lechuga a los 38 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.	29
Figura 14. Número de hojas de plantas de lechuga desde los 7 a 38 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.....	29
Figura 15. Incremento de número de hojas en plantas de lechuga, a los 38 días después de la aplicación de los tratamientos.	30
Figura 16. Peso de plantas de lechuga a los 38 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.	30
Figura 17. Altura de plantas de lechuga a los 91 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.	31
Figura 18. Incremento de altura en plantas de pimiento, a los 91 días después de la aplicación de los tratamientos.....	31
Figura 19. Número de hojas de plantas de lechuga a los 91 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.	32
Figura 20. Incremento de número de hojas en plantas de pimiento, a los 91 días después de la aplicación de los tratamientos.	32

Figura 21. Número de frutos del cultivo de pimiento, después de realizada la cosecha.....	33
Figura 22. Longitud de frutos del cultivo de pimiento, despues de realizada la cosecha.	33
Figura 23. Diámetro de frutos del cultivo de pimiento después de realizada la cosecha.....	34
Figura 24. Peso de frutos del cultivo de pimiento después de realizada la cosecha.	34

Índice de Anexos

Anexo 1. Construcción de Azollarios	50
Anexo 2. Medida de crecimiento de la Azolla cada 5 días desde la siembra.	50
Anexo 3. Azollarios llenos a los 30 días	50
Anexo 4. Toma de muestras de agua sin Azolla y a los 30 días con Azolla (cobertura total de los Azollarios).....	51
Anexo 5. Construcción del invernadero.....	51
Anexo 6. Preparación del diseño experimental para el cultivo de lechuga.....	51
Anexo 7. Preparación del diseño experimental para el cultivo de pimiento.....	52
Anexo 8. Proceso del cultivo de lechuga y pimiento.	52
Anexo 9. Variables medidas de la lechuga y pimiento	53
Anexo 10. Manejo agronómico del cultivo de lechuga y pimiento	56
Anexo 11. Certificación de traducción Abstract.....	57

1. Título

Producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.) con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla anabaena* y lixiviado de raquis de banano.

2. Resumen

La Azolla es un helecho acuático flotante de fácil propagación no requiere de tecnologías complicadas y está al alcance de los agricultores. Con la finalidad de contribuir a la agricultura familiar campesina se propuso producir nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla filiculoides* en condiciones accesibles para los agricultores en el cultivo de lechuga y pimiento. El estudio se llevó a cabo en la parroquia Santa Teresita, finca "Saca", cantón Espíndola. Se implementó dos experimentos en diseños de bloques al azar con cuatro réplicas y cuatro tratamientos: testigo; NitrAgua + biomasa de *Azolla filiculoides*; lixiviado de raquis de banano; biomasa de *Azolla filiculoides* licuada + lixiviado de raquis de banano. Las características del agua a los 30 días en el Azollario fueron: pH 7,38; temperatura promedio ambiental de 25 °C, contenido de nitrógeno en el azollario máximo de 11,77 mg/l. Los mayores resultados obtenidos fueron con la aplicación del lixiviado de raquis de banano, para el cultivo de lechuga de 24,1 cm de altura de planta; 1,4 cm de diámetro de tallo, 27 hojas por planta y 210 g de peso; para el cultivo de pimiento 159,3 cm de altura planta; 98 hojas por plantas; 6 frutos por planta; 16,7 cm longitud del fruto; 18,9 cm diámetro del fruto y 174,74 g de peso. Resultados que responde a la eficacia del biofertilizante, debido a su alto contenido de nutrientes que favorece el desarrollo vigoroso y producción de alta calidad.

Palabras clave: azollario, NitrAgua, lixiviado raquis de banano, biofertilizante, agricultura familiar, nitrógeno.

2.1. Abstract

Azolla is a floating aquatic fern that is easy to propagate and does not require complicated technologies and is within the reach of farmers. In order to contribute to family farming, it was proposed to produce nitrogen from the symbiosis *Azolla filiculoides* in accessible conditions to farmers in the cultivation of lettuce and bell pepper. The study was carried out in Santa Teresita parish, "Saca" farm, Espindola canton. Two experiments were implemented in randomized block designs with four replicates and four treatments: control; NitrAgua + *Azolla filiculoides* biomass; banana rachis leachate; liquefied *Azolla filiculoides* biomass + banana rachis leachate. The water characteristics after 30 days in the Azollario were: pH 7.38; average ambient temperature of 25 °C, maximum nitrogen content in the Azollario of 11.77 mg/l. The highest results obtained were with the application of the banana rachis leachate, for the lettuce crop of 24.1 cm plant height; 1.4 cm stem diameter, 27 leaves per plant and 210 g weight; for the bell pepper crop 159.3 cm plant height; 98 leaves per plant; 6 fruits per plant; 16.7 cm fruit length; 18.9 cm fruit diameter and 174.74 g weight. These results respond to the effectiveness of the biofertilizer, due to its high nutrient content that favors vigorous development and high-quality production.

Keywords: azollario, NitrAgua, banana rachis leachate, biofertilizer, family farming, nitrogen.

3. Introducción

Una de las preocupaciones de los agricultores en el cantón Espíndola, radica en que cuentan con poca experiencia para llevar a cabo la producción del cultivo de hortalizas debido a que mayormente utilizan fertilizantes químicos, que demandan altos costos. Ante ello es necesario implementar nuevas técnicas de manejo más eficientes, como es la aplicación de biofertilizantes que favorecen la calidad, disminuye los costos de producción y alcanza mayores rendimientos.

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura no es solamente un problema que afecta a la economía; sino también acarrea problemas que va desde el desequilibrio en el suelo, provocando infertilidad, contaminación al medio ambiente; afectación del agua para consumo humano y animal. En este contexto, una de las ventajas de *Azolla filiculoides* es la facilidad de descomposición en el suelo y de ser una fuente nitrogenada y aporta algunos micronutrientes (Aldás *et al.*, 2016).

En estos últimos tiempos la agricultura nacional se ha visto significativamente afectada por el alto precio de los fertilizantes nitrogenados y otros agroquímicos, por lo que los productores se han visto obligados en gran parte abandonar la agricultura y emigrar a otras ciudades e inclusive a otros países debido a la baja rentabilidad que esta les representa, es por ello que Ecuador necesita desarrollar recursos nativos y aplicaciones tecnológicas correlativas, como aplicación de otras fuentes de nitrógeno, tal es el caso de la Azolla y lixiviado de raquis de banano, que son un recurso natural promisorio que actúan como biofertilizante alternativo, debido a que fija nitrógeno en aproximadamente 600 kg/ha/año en condiciones óptimas de temperatura, luz, agua y composición química del suelo. Estos biofertilizantes disminuyen el gasto económico en compra y uso de urea, así como el deterioro de la salud de la población y del ambiente (Gavilanes, 2015).

En el marco de la producción agroecológica, son varias las estrategias para sustituir el uso de agroquímicos, es así que el uso de lixiviado de raquis de banano con biomasa de *Azolla filiculoides*, puede generar grandes beneficios a la producción, debido a la acción como biofertilizante, insecticida y fungicida, lo que ayuda a promover las actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, permitiendo conservar de forma óptima el recurso suelo (PROMSA, 2023).

En la parroquia Santa Teresita, la producción de hortalizas como lechuga (*Lactuca sativa* L), acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*), rábano (*Raphanus sativus*), cebolla (*Allium cepa*), zanahoria (*Daucus carota*), remolacha (*Beta vulgaris*), papa (*Solanum tuberosum*), pimiento (*Capsicum annuum* L), pepino (*Cucumis sativus*), perejil (*Petroselinum crispum*), cilantro (*Coriandrum sativum*) y zapallo (*Cucurbita máxima*) se ha convertido en una actividad económica importante, aunque el cultivo enfrenta dificultades como el bajo nivel de producción, causado por las deficiencias nutricionales, débiles procesos de capacitación y técnicas de producción, lo que ha ocasionado que los productores del sector tengan escaso conocimiento en temas referentes a la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo y la cantidad requerida, lo que conlleva al uso excesivo de químicos que afectan directamente al cultivo, suelo y salud de productores y consumidores (PDOT GAD Espíndola, 2020).

Con el propósito de fortalecer el conocimiento y prácticas de manejo en la agricultura familiar campesina, para garantizar la seguridad alimentaria y la creación de un sistema agrícola más resistente para hacer frente a los desafíos, se comprobó la hipótesis: La generación y aprovechamiento de nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla Anabaena* más lixiviado de raquis de banano permite incrementar la producción en los cultivos de lechuga y pimiento en la parroquia Santa Teresita, Cantón Espíndola.

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

Objetivo general

- Contribuir a la agricultura familiar campesina mediante la producción agroecológica de hortalizas con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla anabaena* y lixiviado de raquis de banano en la parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola.

Objetivos específicos

- Producir nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla Anabaena* en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Santa Teresita.
- Evaluar el efecto de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla Anabaena* y lixiviado del raquis del banano en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.)

4. Marco Teórico

4.1. La agricultura

A través de la historia el crecimiento económico del Ecuador se ha visto sustentado por la producción agrícola, ya que este sector aporta a la balanza comercial con superávit comercial al país. En el área rural del Ecuador reside el 36,18 % de la población, de este gran número de habitantes está conformado por productores agrícolas, siendo un sector económico fundamental para el país en donde la población vive y se alimenta de la agricultura. El 20 % de la población en el Ecuador está enfocada en el sector agropecuario (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2020).

Si bien se trataba de mantener un crecimiento estable en los años, las fluctuaciones fueron parte de las tasas anuales de crecimiento, el PIB logró un incremento promedio de 4,5 % durante los años 2000-2014, a pesar de que el sector industrial ha presentado una producción considerada para el país, ha manifestado un dinamismo inferior al promedio de la economía (Alvaro *et al.*, 2016)

Conforme han pasado los años, los diferentes gobiernos han realizado políticas, que buscan direccionar a este sector a un mejor futuro, en la última década, se ha buscado dar un giro a la producción tradicional con el cambio de matriz productiva, que consistía en dar un valor agregado a la producción, enfocado en una sociedad el conocimiento, utilizando recursos amigables con el medio ambiente y la tecnología. Con ello se encaminaba a una diversificación en las exportaciones de los productos buscando, además, nuevas relaciones comerciales (Duran *et al.*, 2019).

La meta a raíz de estos cambios era producir un aumento de 3% en el PIB industrial en los periodos 2018-2021, logrando 2,1 % en el periodo 2017 según la cámara de Industrial de Guayaquil. El país se ha caracterizado por desarrollar diferentes actividades agrícolas que generaban rentabilidad al país, sin embargo, con la aparición de procesos industrializados a partir de la década de los cincuenta se empezó a dar un giro a la producción, generando mayores ingresos que la producción tradicional, a pesar de que el país no se desarrolló en este sector como se adaptaron países como EE. UU o China, Ecuador sigue luchando para introducirse a cambios realmente favorables económicamente (Duran *et al.*, 2019).

4.1.1. Fertilizantes químicos

Agrón (2015) señala, "el suelo es un sistema dinámico de complejas interrelaciones recíprocas entre sus componentes físicos, químicos y biológicos, el suelo produce cuando todos los factores están equilibrados."

Los fertilizantes químicos son toda sustancia o mezcla de sustancias que incorporada al suelo o aplicada sobre la parte aérea de las plantas, suministre los elementos que requieren los vegetales para su nutrición, con el propósito de estimular su crecimiento, aumentar su productividad y mejorar la calidad de las cosechas (FAO, 2015).

El problema de este tipo de fertilización radica en que el agricultor tiene tendencia a emplear dosis excesivas de fertilizantes. En efecto, se observa durante los primeros años de aplicación de un determinado elemento escaso en el suelo, hay un aumento del rendimiento, porque se completan las reservas del suelo en ese elemento; esto no significa que en años sucesivos se continúe aplicando la misma cantidad (Díaz *et al.*, 2018).

4.1.2. Producción agroecológica de hortalizas

La importancia de la producción agroecológica de hortalizas es que esta actividad permite la sostenibilidad de los agroecosistemas y comprende los componentes ecológico, social, productivo, cultural y la seguridad alimentaria con producción saludable (Cronica, 2023).

En el Ecuador es muy notorio el incremento de la producción de hortalizas agroecológicas debido a la concientización de los agricultores y de los consumidores. Los sectores donde más se producen hortalizas se encuentran ubicadas en la provincia de Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Azuay, en la sierra, Manabí, Guayas, y el Oro en la costa (Silva, 2017).

4.2. Nitrógeno

Benimeli *et al.* (2019). Señalan, "el nitrógeno es un elemento esencial, que está presente en la mayor parte de las combinaciones orgánicas de los vegetales. Actualmente está demostrado que es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro de este nutriente puede provocar notables descensos en la producción vegetal. A su vez, directa o indirectamente, es fuente de las sustancias proteicas que aseguran

la nutrición del hombre y de los animales en general. Tanto sus deficiencias como sus excesos en el suelo, tienen gran impacto en la salud y productividad de los ecosistemas mundiales”.

4.2.1. El ciclo del nitrógeno

El ciclo global del nitrógeno está constituido por las interacciones de las distintas formas de N en el suelo, los organismos y la atmósfera. En las transformaciones están involucradas las formas orgánicas e inorgánicas que ocurren en forma simultánea. La conversión de N₂ (gas) a formas utilizables por las plantas se produce principalmente a través del proceso de fijación biológica. Las formas orgánicas son convertidas a formas inorgánicas (NH₄⁺ o NO₃⁻) por mineralización. El NO₃⁻ puede volver a la atmósfera por desnitrificación en forma de N₂ o perderse por lixiviación. Las formas inorgánicas pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas o por los microorganismos, que vuelven a incorporar el N a una forma orgánica por inmovilización. (Benimeli *et al.*, 2019)

4.2.2. El nitrógeno en la agricultura

Durante miles de años, los seres humanos no tuvieron que preocuparse por el nitrógeno, pero a principios del siglo XX era evidente que la agricultura intensiva estaba agotando el nitrato en el suelo, lo que generó preocupaciones sobre el aumento de la población mundial y una posible crisis alimentaria (Benimeli *et al.*, 2019).

En las últimas tres décadas, los fertilizantes nitrogenados han contribuido de manera significativa al aumento en la producción de alimentos. El acrecentamiento alcanzado en la producción de muchos cultivos ha superado el incremento en la población. El nitrógeno (N) aportado por estos fertilizantes, es el principal elemento mineral absorbido por las plantas e interviene en procesos fisiológicos esenciales para su crecimiento y desarrollo (Cárdenas *et al.*, 2001).

La aplicación de estos fertilizantes se ha venido realizando de manera pletórica bajo la premisa de: “aumento en los aportes, igual a aumento en la producción”. Este supuesto ha tenido costos ambientales y económicos considerables, por lo que en la actualidad se trabaja en la búsqueda de estrategias que permitan razonar el aporte de nitrógeno a los cultivos, procurando alcanzar su máximo potencial productivo y preservar el ambiente (Cardenas & Sánchez, 2004).

4.2.3. Fijación biológica del nitrógeno

Fernández *et al.* (2002) explican, "la fijación biológica del nitrógeno (FBN), está relegada a organismos procariontes que son capaces de reducir el nitrógeno molecular a amoníaco tanto en vida libre como en simbiosis. La mayor parte del nitrógeno fijado en los ecosistemas terrestres se realiza mediante la asociación simbiótica de bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium* y *Mesorhizobium*, con plantas leguminosas, gran parte de estas asociaciones simbióticas tiene interés para la agricultura. Sin embargo, aunque los rendimientos de la FBN se han incrementado considerablemente en los últimos años, al trasladar estos conocimientos a la agricultura, se detectan limitaciones a la fijación biológica en la simbiosis a nivel medioambiental biológico, metodológico y a nivel de producción. "

Las bacterias de la fijación del nitrógeno presentan una muy amplia diversidad taxonómica, con diferentes estilos de vida y de asociación con los vegetales. Sin embargo, solo una pequeña proporción de especies son capaces de hacerlo; 87 especies en dos géneros de arqueobacterias, 38 de bacterias, y 20 géneros de cianobacterias se han identificado como diazótrofos (Baca & Pardo, 2000).

4.2.4. Mineralización del nitrógeno

Es el proceso mediante el cual el nitrógeno orgánico del suelo es transformado por los microorganismos a formas inorgánicas (amonio y nitrato). El primer producto de la mineralización es el amoníaco (NH_3) el cual puede adquirir un hidrógeno y formar amonio (NH_4^+), que puede ser fijado por las arcillas del suelo o por la materia orgánica, volatilizado como amoníaco, asimilado por plantas o microorganismos, lixiviado u oxidado por bacterias autotróficas mediante el proceso de nitrificación, en donde pierde dos átomos de hidrógeno para formar nitrato inorgánicas son tomadas por los microorganismos incorporándolas a su biomasa y es llamada inmovilización. El nitrato puede pasar al proceso de denitrificación donde se convierte a óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno elemental (Castellanos & Mishel, 2010).

4.3. Azolla filiculoides

La Azolla es un pequeño helecho semiacuático, con pequeñas hojas alternas y raíces simples que cuelgan dentro del agua, se hospeda en las cavidades de sus hojas a la bacteria Anabaena. El helecho tiende a fijar del aire nitrógeno, en ambientes recomendables de temperatura, luz y estructura química del suelo (Montaño, 2009).

Según Castro *et al.* (2022) manifiestan "la *Azolla filiculoides* contiene alrededor de 4,5 % de nitrógeno, 0,5 % de fósforo, 1,2 % de potasio, 0,5 % de carbono, 0,5 % de magnesio y 0,1 % de hierro asimilable, los mismos que serán aprovechados una vez que cumpla su ciclo de vida, favoreciendo también a la calidad del agua y suelo. Las fijaciones de nitrógeno que realiza la simbiosis, varía según la especie de Azolla, también influyen los factores externos del ambiente sobre la cantidad de biomasa que se podrá producir. De poder fijar la planta mucho nitrógeno, su tasa de crecimiento se incrementará dando como resultado abundante materia rica en nitrógeno. Este helecho también puede influenciar en la temperatura del agua, ya que al cubrir la superficie acuática del cultivo no permitirá que ingresen los rayos del sol y por ende su calentamiento para evitar su evaporación; gracias a esto se reduce la volatilización del amonio y se genera una mejor asimilación del elemento".

4.3.1. Clasificación taxonómica de la Azolla

La Azolla es un helecho semiacuático, que flota en el agua, teniendo un aspecto de tapiz de coloración entre verde a rojizo. En el agua se localizan las raíces adventicias, que depende del interior del lago o ríos. La estimación que tiene para la reproducción de la Azolla es entre los 15-20 días alcance su crecimiento (Espinoza, 2006).

En la tabla 1, se muestra la clasificación taxonómica de la Azolla (Huayamave *et al.*, 2018).

Tabla 1. Clasificación taxonómica de Azolla.

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

Fuente: Huayamave (2018).

4.3.2. Simbiosis de la Azolla

La fijación del nitrógeno se debe a la actividad de la enzima nitrogenada en la cianobacteria. Esta enzima se encuentra presente en células especializadas denominados heterocistos, los cuales convierten en nitrógeno molecular del aire en amoníaco, que posteriormente es incorporado en los compuestos nitrogenados tanto por la planta como por la cianobacteria. El simbionte de la cavidad foliar tiene de 15 y 20 % de heterocistos comparado con las especies de *Anabaena* de vida libre que solo tenga un 5 % de ellos. En cuanto al hospedero *Azolla*, este contiene los pigmentos fotosintéticos clorofila a, clorofila b y carotenoides asociados a los cloroplastos; mientras que los filamentos de *Anabaena* presentan clorofila a, ficobiliproteínas y carotenoides. Esta suma de pigmentos fotosintéticos principales y accesorios permite al organismo simbiótico ampliar el rango de utilización de la energía luminosa aprovechable. Es probable que esta característica sea la responsable del crecimiento rápido y la gran acumulación de biomasa en períodos cortos. La *Azolla*, puede reproducirse aproximadamente cada 5 días bajo condiciones favorables (Mosquera & Rodríguez, 2002).

4.3.3. Fijación biológica con bacterias libres

El nitrógeno que respiran los organismos no es utilizable directamente y solo algunas plantas en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno pueden originar compuestos absorbibles y susceptibles de incorporarse al suelo o a los seres vivos, es decir, que son aprovechables. Es aquí donde se evidencia el papel vital que tienen dichas plantas para la vida y los seres vivos.

Martínez (2019) menciona, "la fijación de nitrógeno por cianobacterias sucede, ya que pueden vivir de forma simbiótica o libre en suelos húmedos y masas acuáticas de interior. Este tipo reúne propiedades únicas: están clasificadas como bacterias, aunque se parecen a las algas. De hecho, contienen clorofila, lo que significa que las cianobacterias son fotótrofas como las plantas, pero se diferencian porque pueden fijar nitrógeno."

4.3.4. Siembra y cosecha de *Azolla*

Gavilanes (2015) plantea que "la etapa de inoculación es fundamental para asegurar una cantidad y calidad de producción importante, se debe mover o elevar el cuadro para distribuir suficiente *Azolla* en el resto del estanque para su propagación y crecimiento respectivo. Si no hay bastante *Azolla* en el estanque, se puede cosechar del cuadro, dejando la

mitad de la cantidad para asegurarse que pueda continuar creciendo, la cosecha es muy fácil, solo se necesita de red. ”

4.4.Lixiviado de raquis de plátano

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. Por otra parte, en la producción de plátano como en la mayoría de los sistemas de producción agrícola se generan grandes cantidades de desecho orgánico, el proceso productivo del plátano ocasiona desechos como la fruta de rechazo, los pseudotallos, la hojarasca y principalmente los raquis (Chavéz *et al.*, 2017).

El raquis o pedúnculo floral, conocido también como pinzote o vástago, tiene una forma helicoidal y es el responsable del sostén de los racimos, al momento de ser empacados, termina siendo un remanente de gran volumen. Este material por su valor nutricional puede ser reutilizado y reintegrado al suelo mediante la elaboración de composta y los subproductos de la misma, como el humus y los lixiviados. Además, se ha estudiado como un potencial controlador de plagas y patógenos, lo que se atribuye principalmente a la gran cantidad de microorganismos presentes en los lixiviados, más que en la propia composta (Chavéz *et al.*, 2017).

Los lixiviados de raquis se han evaluado en el cultivo de tomate, demostrando una mayor actividad microbiana en la etapa de floración y cosecha. También han sido probados en el control del “mildiu polvoso” en la producción de rosas (Chavéz *et al.*, 2017).

4.4.1. Uso de raquis de plátano en la agricultura

Guanopatín (2012) considera que la agricultura orgánica, es una de las alternativas de fertilización foliar son los bioles. Los abonos líquidos son una estrategia que permite aprovechar el estiércol de los animales, sometidos a un proceso de fermentación anaeróbica, dan como resultado un fertilizante foliar que contiene principios hormonales vegetales (auxinas y giberelinas). Investigaciones realizadas, permiten comprobar que aplicados foliarmente a los cultivos en una concentración entre 20 y 50 % se estimula el crecimiento, se mejora la calidad de los productos e incluso tienen cierto efecto repelente contra las plagas. Estos abonos orgánicos líquidos son ricos en nitrógeno amoniacal, en hormonas, vitaminas y

aminoácidos. Estas sustancias permiten regular el metabolismo vegetal y además pueden ser un buen complemento a la fertilización integral aplicada al suelo.

4.5. Cultivo de lechuga

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 ha anuales (Saavedra *et al.*, 2017).

4.5.1. Clasificación taxonómica de la lechuga

En la tabla 2 se puede observar la clasificación taxonómica de la lechuga (Muñoz, 2018).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la lechuga.

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

Fuente: Muñoz (2018)

4.5.2. Morfología de la lechuga

La lechuga una planta anual y autógama. La raíz no sobrepasa los 30 cm de profundidad es pivotante y con ramificaciones, tiene un tallo corto y cilíndrico. Las hojas se disponen primero en roseta y después se aprietan unas junto a otras formando un cogollo. Los

limbos pueden tener un borde liso, ondulado o aserrado. La inflorescencia son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos (Muñoz, 2018).

4.5.3. *Requerimientos edafoclimáticos de la lechuga*

Carrillo *et al.* (2015) menciona que "el cultivo de lechuga se desarrolla preferentemente en suelos ligeros de textura areno-limosa y buen drenaje, con un pH de 6,7 a 7,4 y una conductividad eléctrica de 1,0 a 2,3 ms/cm; la temperatura óptima para el crecimiento es de 18 a 23 °C durante el día y de 7 a 15 °C durante la noche, y necesita un requerimiento de agua mayor de 134 mm por ciclo, así como una humedad relativa de 60 a 80 %."

4.5.4. *Requerimientos nutricionales de la lechuga*

Los elementos que más absorbe la panta de lechuga son el nitrógeno, fosforo y el potasio, es muy sensible a deficiencias de calcio. Barrios (2004) nos da a conocer los principales requerimientos nutricionales de la lechuga como se puede observar en la Tabla 3:

Tabla 3. Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga.

Nutriente	Requerimiento (g/m²)	Requerimiento (kg/ha)
N	15-20	150-200 kg/ha
P ₂ O ₅	10-20	100-200
K ₂ O	20-30	200-300
CaO	5-10	50-100
MgO	4-8	40-80
S	1-3	10-30

Fuente: (Bogotá, 2015)

4.5.5. *Requerimiento hídrico del cultivo de la lechuga*

Tarqui *et al.*, (2009) manifiestan que el índice hídrico del cultivo, se basa en la determinación de la tasa de transpiración actual de un cultivo mediante la medición de la temperatura del cultivo y el déficit de presión de vapor, el cual en base a estos distintos métodos de identificación de índices se realiza la programación del riego con el propósito de determinar las láminas y frecuencias apropiadas durante el ciclo fenológico de un cultivo. Para la determinación del riego, se debe considerar diversos factores, como los requerimientos hídricos del cultivo, demanda evaporante de la atmósfera, condiciones fisicoquímicas y

biológicas del suelo que determinan su capacidad de retención de agua por el suelo, y los datos de profundidad efectiva del cultivo, que determinan la cantidad de agua posible de ser utilizada en el proceso evapotranspirativo del cultivo. En la Tabla 4 se puede observar las láminas de riego a diferentes etapas fenológicas en el cultivo de lechuga.

Tabla 4. Diseño agronómico para los tratamientos láminas de riego a diferentes etapas fenológicas para el cultivo de lechuga.

Parámetros de diseño	Símbolo	Unidad	Etapla plántula	Etapla roseta	Etapla maduración
Evapotranspiración	ETc	Mm/día	1,0	2,7	2,50
Profundidad radicular	Pr	Cm	10	20	30
Agua disponible total (ADT)	ADT	Mm	21,4	21,4	21,4
Agua fácilmente aprovechable	Zn	Mm	2,85	5,7	8,55
Eficiencia de aplicación	Ea	%	80,00	80,00	80,00
Frecuencia de riego	Fr	Días	2,00	2,00	2,00
Lámina bruta corregida	Zbc	Mm	8,853	8,853	8,217
Tiempo de Riego (100%) * L1	T1	Min	30	30	24
Tiempo de Riego (75%) * L2	T2	Min	22,5	22,5	18
Tiempo de Riego (50%) * L3	T3	Min	15	15	12

*L1=Lámina de riego uno; *L2=Lámina de riego dos; *L3= Lámina de riego tres

Fuente: Tarqui, (2009)

4.6.Cultivo de pimiento

El cultivo de pimiento, también conocido como ají o chile, se refiere al proceso de cultivar y cosechar plantas de la especie *Capsicum annuum* o *Capsicum frutescens*, las cuales producen frutos de diferentes variedades y niveles de picor. El pimiento es una hortaliza ampliamente cultivada en diversas regiones del mundo debido a su valor culinario, nutricional y comercial (Borbor, 2009).

El éxito del pimiento radica en que es un cultivo con tres destinos de consumo: pimiento en fresco, para pimentón y para conserva. La demanda de los mercados europeos de pimientos frescos durante todo el año, ha crecido espectacularmente y ha tenido como consecuencia el desarrollo del cultivo en el litoral (Buñay, 2017).

En el Ecuador este cultivo representa un rubro importante en el sector agrícola vinculado con esta actividad, es una especie que se cultiva tanto en la costa como en los valles interandinos. Según el último Censo Nacional Agropecuario (2000), manifiesta que en nuestro país se cultivaron 956 ha aproximadamente como monocultivo y 189 ha como cultivo asociado, siendo las principales provincias costeras de Guayas, Manabí y Esmeraldas las de mayor producción (Mora, 2009).

4.6.1. Clasificación taxonómica del pimiento

En la tabla 5 se muestra, la clasificación taxonómica del pimiento (Jiménez, 2018).

Tabla 5. Clasificación Taxonómica del pimiento.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanácea
Subfamilia	Solanoideaea
Tribu	Capsiceae
Genero	Capsicum
Especie	<i>Capsicum annuum</i> L.

Fuente: Jiménez (2018)

4.6.2. Morfología del pimiento

Según Jiménez, (2018) el cultivo de pimiento es una hortaliza cuyo consumo proporciona una serie de beneficios al ser humano especialmente en lo que hace referencia a nutrición y salud, cuya morfología este definida por la raíz que llega a profundidades de 0,7 a 1,2 m, y lateralmente hasta 1,2 m; el tallo que es de crecimiento limitado y erecto con un diámetro que puede variar entre 0,5 y 1,5 cm. Las hojas que son planas, simples, lampiñas, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice muy pronunciado, las flores son perfectas, formándose en las axilas de las ramas; son de color blanco y a veces púrpura. Poseen la corola blanquecina, aparecen solitarias en cada nudo y son de inserción aparentemente axilar. Su fecundación es claramente autógama, no superando el porcentaje de alogamia del 10 %, y los frutos que es una baya semicartilaginosa y deprimida de color rojo o amarillo cuando está maduro, que se puede insertar pendularmente, de forma y tamaño muy variable. Los frutos se presentan en diferentes formas y tamaños, existiendo variedades que dan frutos de 1 o 2 g, frente a otras que pueden formar bayas de más de 300 g.

4.6.3. Requerimientos edafoclimáticos del pimiento

(Buñay, 2017) manifiesta que el pimiento es un cultivo que no resiste bajas temperaturas teniendo como rango óptimo para la germinación y desarrollo vegetativo una temperatura de 22 °C a 25 °C, para la floración y fructificación de 26 °C a 28 °C. En lo que se refiere a requerimientos hídricos el pimiento necesita de 600 a 1 200 mm que deben estar distribuidas por todo el periodo vegetativo. Además, requiere de 6 a 8 horas/sol/día en las primeras fases vegetativas hasta floración, considerándole como un cultivo exigente en luminosidad. El principal requerimiento de suelos para el cultivo del pimiento es que sea un suelo con buen drenaje, con un pH de 6 a 6,5; no salino. Preferiblemente no debe tener deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio.

4.6.4. Requerimientos nutricionales en el pimiento

La nutrición del cultivo del pimiento se puede realizar en base a productos granulados, para aplicaciones al suelo, productos solubles, para fertirrigación, o combinaciones de ambos complementados con productos para aplicaciones foliares. Esta selección dependerá del riego (secano o riego por surcos, riego por goteo), la economía, la conveniencia, la disponibilidad del nutriente y el conocimiento del producto (SQM, 2018).

El pimiento es muy exigente en cuanto a potasio y magnesio, los cuales garantizan un buen desarrollo incluso en los pimientos más precoces, mejoran la firmeza y el color del fruto. El potasio se debe aportar en el desarrollo del cultivo, incrementándose desde la floración y manteniéndolo luego en un nivel constante durante el periodo de maduración, igualmente el magnesio es también esencial en esta fase de maduración (SQM, 2018).

La Fundación de Desarrollo Agropecuario, manifiesta que, según informaciones comerciales, los requerimientos del pimiento por hectárea son de 88 a 114 kg, de nitrógeno, 88 a 176 Kg de P₂O₅ e igualmente las mismas cantidades para K₂O, en suelos de alto y bajo contenido de nutrientes.

A este mismo respecto Fasagua citada por (Gonzalez, 2008) sostiene que los requerimientos del cultivo son, como se demuestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Requerimientos nutricionales del pimiento

Rendimiento	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S
	Kg/ha					
60 tn/ha	163	77	250	59	45	36

Fuente: Gonzalez (2008)

4.6.5. Requerimiento hídrico del cultivo de pimiento

Torres (2001), nos señala que "el cultivo de pimiento requiere de 800 a 1000 mm de agua a lo largo de la vida del cultivo uniformemente. El pimiento no tolera el estancamiento de agua y el exceso de humedad. Si las condiciones saturadas se mantienen durante 24 horas las plantas mueren. Las condiciones saturadas inhiben el crecimiento de las plantas llevando a un menor rendimiento. Las fases más críticas de humedad son el establecimiento inicial de los ejemplares trasplantados e inmediatamente a la floración. La falta de agua en la floración lleva a la caída de la flor y el fruto". En la Tabla 7, podemos evidenciar el requerimiento hídrico para el cultivo del pimiento.

Tabla 7. Requerimientos hídricos para el cultivo de pimiento

	Fase de establecimiento (24 días)	Fase de desarrollo (36 días)	Fase de maduración (36 días)	Fase de cosecha (26 días)
KC	0,18	0,18-0,76	0,76	0,76-0,33
Profundidad de la raíz (z)	12	32	51	51
Altura de la planta (cm)	10-27	28-60	60-85	85-93
Cobertura (%)	1,83	3-21,3	21.8-40.2	40,5-42,3
Necesidades hídricas (mm)	58,17	157,71	154,07	55,05
Frecuencia de riego (días)	4	3	3	18
Lamina bruta (mm/ha)	2,42	4,38	4,27	2,11

Fuente: Torres (2001)

5. Metodología

5.1. Ubicación de la parroquia Santa Teresita

El estudio se realizó en la finca "Saca" de la parroquia Santa Teresita del cantón Espíndola, provincia de Loja. Ubicada al noreste de Amaluza, a una altitud de 2 000 msnm, con una extensión de 77,2 km², temperatura promedio de 25 °C y humedad relativa de 53 %. Limita por el Norte, con la parroquia El Airo; al Sur y al Oeste con la parroquia Amaluza; y al Este con la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 1).

Las coordenadas geográficas UTM en las que se encuentra la parroquia Santa Teresita son 678 021 y 9 495 086.



Figura 1. Ubicación de la finca "Saca", parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola

5.2. Materiales y equipos

El experimento se llevó a cabo en un área de 74,40 m², se utilizó semilla de *azolla* drenada durante 24 horas, cámara fotográfica, plástico negro, cinta métrica, agua, suelo, herramientas agrícolas, manguera, flexómetro, rótulos de madera, se implementó un invernadero con cerramiento de malla sarán, 256 plántulas de lechuga híbrida var. DOLY y 256 de pimiento híbrido Gacel F156, libreta de apuntes, computadora, calculadora, material de impresión y suministros.

El lixiviado de raquis de banano se lo obtuvo en el cantón Vines, provincia de los Ríos, este biofertilizante cuenta con el siguiente análisis químico de nutrientes, como se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis químico del lixiviado de raquis de banano

Ph	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
					mg/L					
5,3	245	183	14 000	54	32	71	1,1	4,2	2,2	0,3

Fuente: Stavrinoudis (2022)

Para el riego se utilizó el agua de canal de agua de la junta de riego de Santa Teresita, de acuerdo al requerimiento hídrico de cada cultivo, Azolla licuada y lixiviado de Raquis de banano. Para medir cada una de las variables se utilizó una balanza digital, flexómetro y calibrador.

5.3.Métodos

Se aplicó el método inductivo-deductivo, se partió a través de la observación y medición de variables de campo, en donde se pudo distinguir la particularidad de reacción del cultivo de lechuga y pimiento con los diferentes tratamientos aplicados, permitiendo obtener las conclusiones y recomendaciones generales.

La investigación fue de tipo experimental en el ensayo se llevó a cabo en campo y se evaluó la influencia de la variación sobre el crecimiento vegetal de cada cultivo, fue correlacional porque se estudiaron las múltiples variables que influyen en el desarrollo vegetativo.

5.4.Metodología para el primer objetivo

Producir nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla anabaena* en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Santa Teresita

Se tomó una muestra de agua del canal de riego, para determinar el nitrógeno disponible y la calidad del agua. Se construyó un azollario con las siguientes dimensiones: 3,30 m de largo; 1,90 m de ancho y profundidad de 0,70 m (Figura 2), se impermeabilizo con plástico negro (Anexo 1). Se sembró 0,15 kg de Azolla, peso obtenido luego de drenar por 24 horas el helecho acuático, para determinar el crecimiento de *Azolla filiculoides* se registró

datos cada 5 días la producción de biomasa, hasta la cobertura total de cada azollario (Anexo 2 y 3).



Figura 2. Imagen de los azollarios

5.4.1. Contenido de nitrógeno en el Azollario

Se utilizó el agua del canal de riego, tomándose muestras de agua que fueron enviadas al laboratorio de aguas UTPL, para determinar el pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, calcio, magnesio y potasio. Para la toma de las muestras se consideró el porcentaje de cobertura del azollario al 0, 50 y al 100 % de cobertura total a los 30 días (Anexo 4).

Se tomó una muestra de biomasa de *Azolla filiculoides* cuando la cobertura fue del 100 % y se envió al laboratorio NEMALAB, para el análisis químico, la toma de datos se lo realizó cada cinco días, hasta la cobertura total.

5.5. 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 de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.)

El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero (Anexo 5). Se instaló dos diseños de bloques al azar (uno para cada cultivo), con cuatro tratamientos y cuatro réplicas la unidad experimental de cada uno estuvo constituida por 16 unidades básicas (plantas de lechuga y pimiento), para el cultivo de lechuga 256 unidades experimentales distribuidas en 19,36 m² (4,40 x 4,40) (Fig. 3 y 4); para el cultivo de pimiento 256 unidades experimentales distribuidas en 51,6 m² (8,6 x 6) (Fig. 5 y 6 ver Anexo 6 y 7). Los tratamiento

o factores que se evaluaron: Testigo; NitrAgua+ Biomasa de *Azolla filiculoides*; lixiviado de raquis de banano; Biomasa de *Azolla filiculoides* (licuado) + lixiviado de raquis de banano.

Modelo estadístico

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

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

β_j : Efecto de la j-ésima réplica

ε_{ij} : Efecto del error experimental (variable independiente, normalmente distribuida con media igual a cero y varianza homogénea).

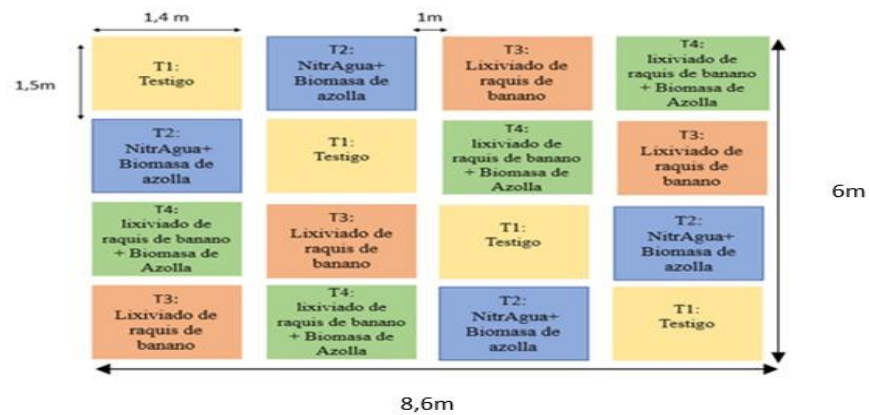


Figura 3. Esquema de diseño experimental de bloque al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones del cultivo de lechuga.

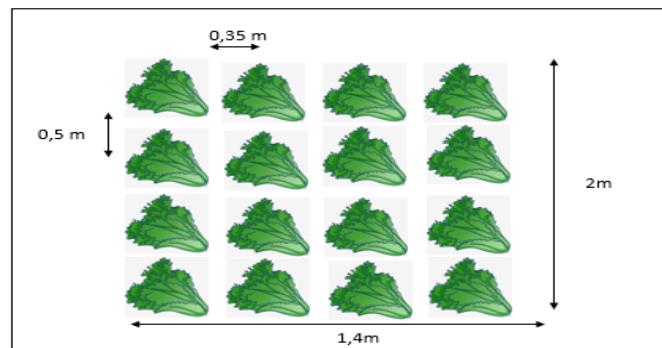


Figura 4. Unidad experimental y unidades básicas del cultivo de lechuga.

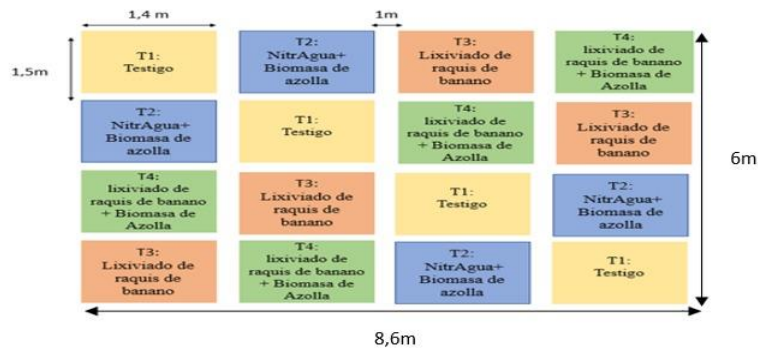


Figura 5. Esquema de diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones del cultivo de pimienta.

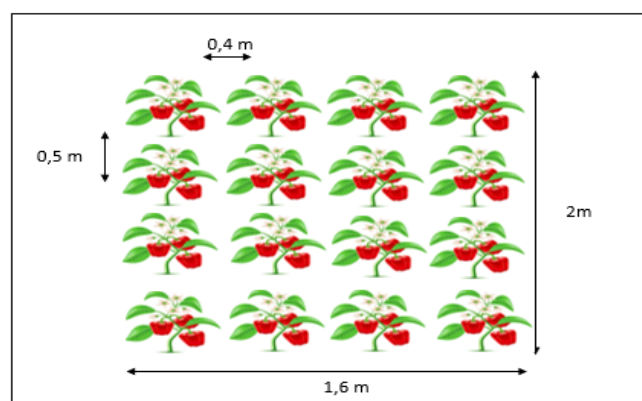


Figura 6. Unidad experimental y unidades básicas del cultivo de pimienta

Se realizó un análisis físico y químico de suelo en el terreno en donde se ejecutó el proyecto de investigación, la toma de muestras de acuerdo a los requerimientos del laboratorio NEMALAB, se envió un kilogramo de suelo con su respectiva etiqueta a una profundidad de 0,20 m.

Se realizó un agujero de 1,5 cm de profundidad y se sembró la plántula de lechuga y pimienta, luego se procedió a medir las variables cada siete días a partir del trasplante, para el cultivo de lechuga hasta los 38 días y para el pimienta hasta los 91 días (Anexo 8).

En función de las condiciones climáticas de la parroquia Santa Teresita, los cultivos que se encontraban bajo invernadero, y del requerimiento hídrico de cada cultivo, el riego se realizó de forma manual aplicando 300 ml por planta, todos los días a las 07:00 y 18:00, en la Tabla 9 se presentan los factores y las dosis aplicadas para el cultivo de lechuga y pimienta.

Tabla 9. Factores estudiados en el cultivo de lechuga y pimiento.

Código	Descripción	Dosis
T1	Testigo	20 litro de NitrAgua
T2	NitrAgua+Biomasa de Azolla	1kg de biomasa de Azolla fresca por 20 litro de NitrAgua
T3	Lixiviado de raquis de banano	Raquis 500 cm ³ disuelto en 20 litros de NitrAgua
T4	lixiviado de raquis de banano + Biomasa de Azolla	1 kg de Biomasa de Azolla fresca por 20 litro de NitrAgua + 500 cm ³ de raquis disuelto en 20 litros

Fuente el autor

Para determinar la dinámica de crecimiento de las plantas de lechuga y pimiento, se midió cada una de las variables, desde el trasplante hasta la cosecha, (Anexo 9) se midió las 16 plantas de cada unidad experimental, para el cultivo de la lechuga altura de la planta, número de hojas, diámetro del follaje, diámetro del tallo y peso. Para el cultivo de pimiento altura de planta, diámetro del fruto, longitud del fruto número de hojas, número de frutos por planta y peso por fruto.

Con la finalidad de mantener los cultivos libres de plagas, enfermedades y evitar la competencia por nutrientes se realizaron controles con implementos manuales como fue la deshierba, así mismo se realizaron aporques (Anexo 10).

6. Resultados

6.1. Producción de nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla anabaena* en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Santa Teresita

Las condiciones climáticas en donde se llevó a cabo la investigación presentaron una temperatura promedio de 25 °C, humedad relativa de 53 % y precipitación media mensual de 14,6 mm día/día.

La clase textural del suelo es franco arenoso, con un pH del suelo prácticamente neutro, además presentó un alto contenido de macro y micronutrientes, a excepción de Fe y Zn, que presentaron valores bajos (Tabla 10).

Tabla 10. Propiedades químicas del suelo.

Textura	pH	M.O.	N	P	Zn	Cu	Fe	Mn	K	Ca	Mg
		%			ppm					meq/100g	
Franco Arenoso	7,5	1,15	77	20	2,6	2,3	10,6	10,6	0,28	16,53	3,62
	PN	B	A	A	B	M	B	M	M	A	A

PN = prácticamente neutro, A = alto, M = medio y B = bajo

Fuente: NEMALAB S.A. (2023).

El pH del agua desde el inicio del análisis (0% cobertura de azollarios) hasta el final (100% cobertura de azollario), fue prácticamente neutro con valores bajos de conductividad eléctrica, como se indica en la Tabla 11.

Tabla 11. Propiedades químicas del agua.

DÍAS	% Cobertura	N	Ca	Mg	K	CE	pH
			mg/L			uS/cm	
0	0	5,88	2,31	0,98	0,87	64,1	7,38
15	50	11,77	3,81	1,34	0,94	97,7	6,95
30	100	8,20	1,15	0,21	0,58	56	7,21

Fuente: UTPL, 2022

6.1.1. Crecimiento y producción de *Azolla filiculoides*

En la Figura 7 se muestra el modelo de regresión lineal del crecimiento de *Azolla filiculoides*; con una siembra inicial de 239,23 m²/ha (equivalente al 8 % de 1,0 ha). En la

Figura 8 se expone el modelo de regresión lineal de producción de *Azolla filiculoides* desde 0,04 t /ha iniciales (drenada por 24 horas).

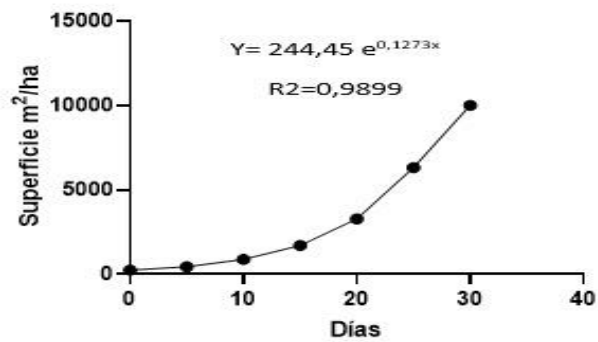


Figura 7. Crecimiento de *Azolla filiculoides* desde el inicio de siembra hasta los 30 días

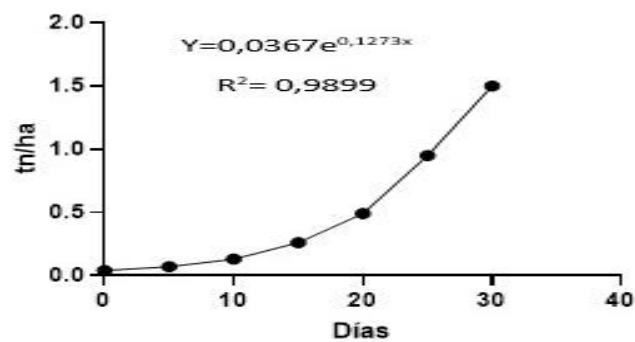


Figura 8. Producción de *Azolla filiculoides* desde el inicio de siembra hasta los 30 días.

6.1.2. Análisis químico de NitrAgua

Contenido de nitrógeno en NitrAgua

El contenido de nitrógeno en el agua del azollario (Figura 9) al 50% de cobertura a los 15 días la *azolla filiculoides* tuvo un mayor contenido de nitrógeno (11,77 gr/l) a diferencia del 100 % de cobertura que tuvo un decrecimiento de nitrógeno (8,20 gr/l).

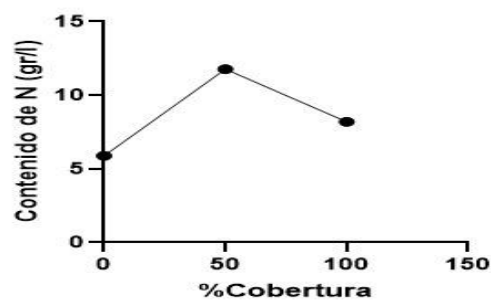


Figura 9. Contenido de nitrógeno en NitrAgua (gr/l)

Contenido de nitrógeno en biomasa de *Azolla filiculoides*.

En el análisis químico de la biomasa del helecho registró altos contenido de macro como micronutrientes, como se puede observar en la tabla 12. En la parroquia de Santa Teresita se obtuvo un contenido de nitrógeno disponible de 1,10 gr/l.

Tabla 12. Contenido de nutrientes en biomasa de *Azolla filiculoides*.

Azolla anabaena	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Zn	Cu	Fe	Mn	Na
	gr/l			Ppm						
	1,1	2,2	1,2	1,4	0,8	16,5	4,1	53,0	10,5	156,8

Fuente: Elaboración propia

pH en NitrAgua.

El pH de NitrAgua se mantuvo prácticamente neutro en un rango de 6,95 a 7,38 durante los 30 días de registro de datos (Figura 10).

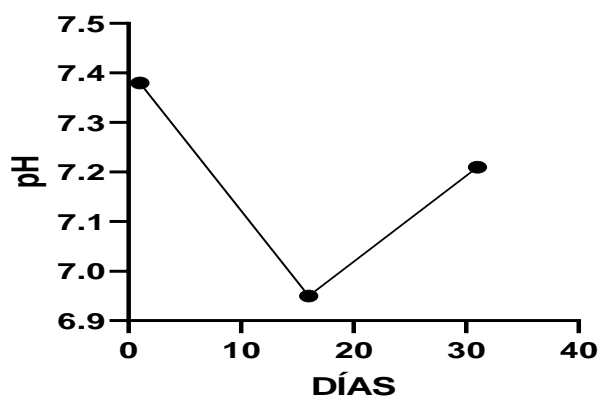


Figura 10. pH de NitrAgua.

6.2. Evaluar el efecto de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla Anabaena* y lixiviado del raquis del banano en el cultivo de lechuga

6.2.1. Variables morfológicas en el cultivo de lechuga

Altura del cultivo.

En el presente modelo se reportó un crecimiento bajo en el testigo de 0,38 cm/día, en *Azolla* + NitrAgua de 0,43 cm/día, en el Biol Raquis + *Azolla* de 0,47 cm/día, la mayor altura se obtuvo con la aplicación de Biol Raquis + NitrAgua con 0,57 cm/día con 24,1 cm; además

se evidenció efectos significativos para la altura de planta, como se puede presentar en la Figura 11.

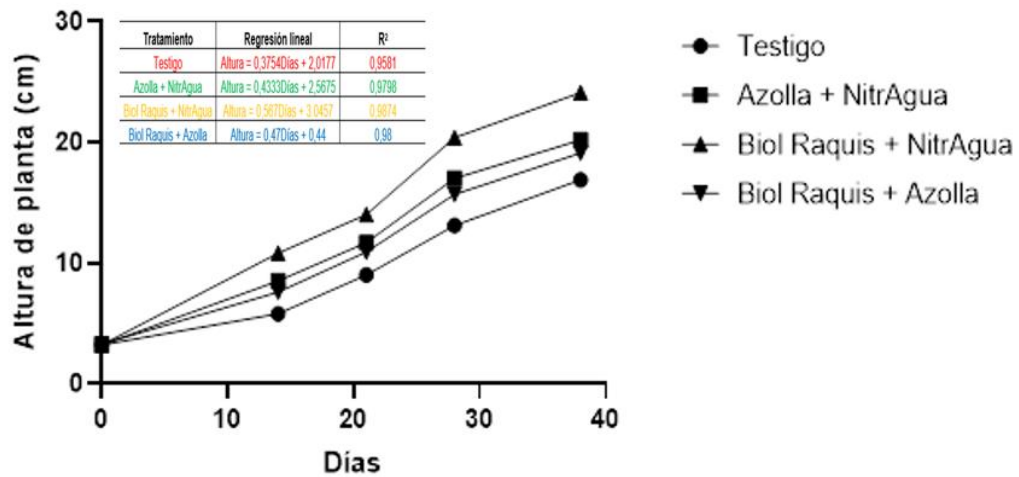


Figura 11. Crecimiento de plantas de lechuga desde los 7 a 38 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.

A los 38 días, se pudo observar que existió mayor incremento y diferencias significativas, en el testigo con respecto a los demás como se puede evidenciar en la Figura 12.



Figura 12. Incremento de altura en plantas de lechuga, a los 38 días después de la aplicación de los tratamientos.

Diámetro del tallo

El diámetro de tallo en el cultivo de lechuga a los 38 días de cosecha, se evidenció que existió diferencias significativas, además un mayor diámetro al aplicar Biol Raquis + NitrAgua obteniendo 29,9 cm y el más bajo fue el testigo, como se puede observar en la figura 13.

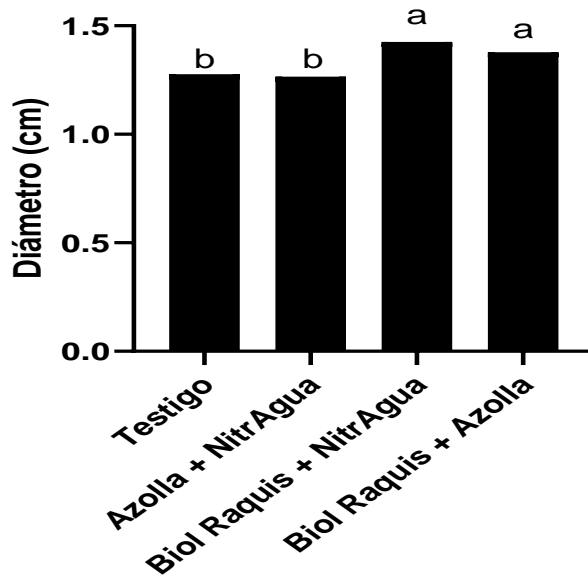


Figura 13. Diámetro de plantas de lechuga a los 38 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.

Número de hojas

El número de hojas se desarrolla diariamente entre 0,26 y 0,63; la mayor cantidad de hojas se consiguió al utilizar Biol Raquis + NitrAgua obteniendo 27 hojas y el más bajo fue el testigo, se pudo observar que existió diferencias significativas para esta variable, como se puede observar en la Figura 14.

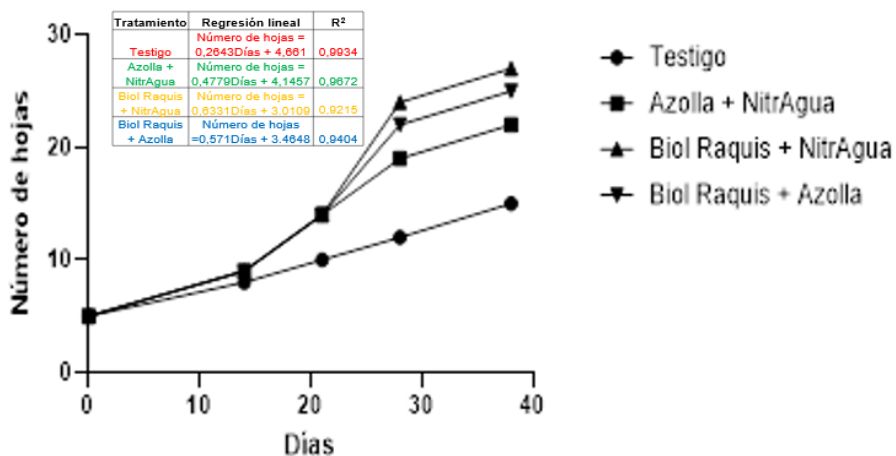


Figura 14. Número de hojas de plantas de lechuga desde los 7 a 38 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.

A los 38 días, se observa diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 15), el mayor incremento lo consiguió el testigo con 4,74 hojas en comparación con el biol Raquis + Azolla que presentó 4,14 hojas.

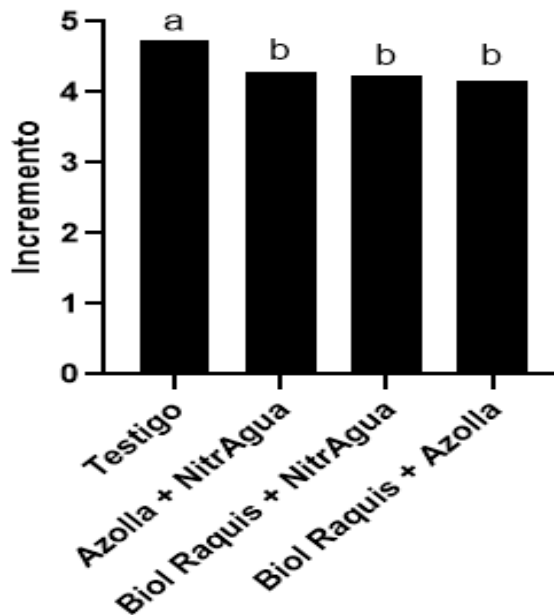


Figura 15. Incremento de número de hojas en plantas de lechuga, a los 38 días después de la aplicación de los tratamientos.

Peso de la planta

El peso promedio de planta a los 38 días de cosecha, se observa que existió diferencias significativas, además un peso bajo en el testigo de 0,109 kg, el que presentó un mayor peso fue el Biol Raquis + NitrAgua con 0,2104 kg, como se puede presentar en la figura 16.

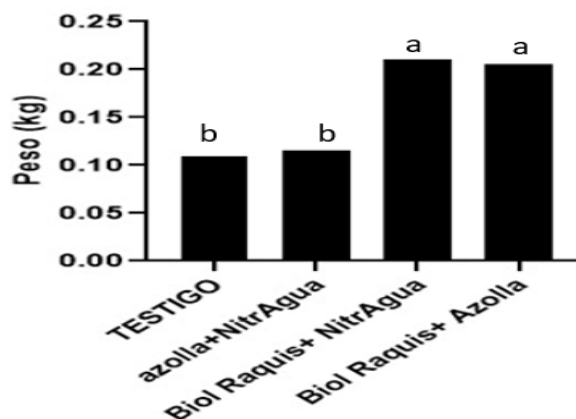


Figura 16. Peso de plantas de lechuga a los 38 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.

6.2.2. Variables morfológicas en el cultivo del pimiento

Altura del cultivo de pimiento

La altura de las plantas del cultivo de pimiento; en las mediciones realizadas, se observó un crecimiento constante, en donde las plantas de Biol Raquis + NitrAgua obtuvieron un mayor promedio de 159,3 cm, seguida de Biol Raquis + Azolla, el promedio más bajo correspondió al testigo, además se pudo observar que existió efectos significativos para esta variable ($p>0,05$) sobre la variable altura (Figura 17).

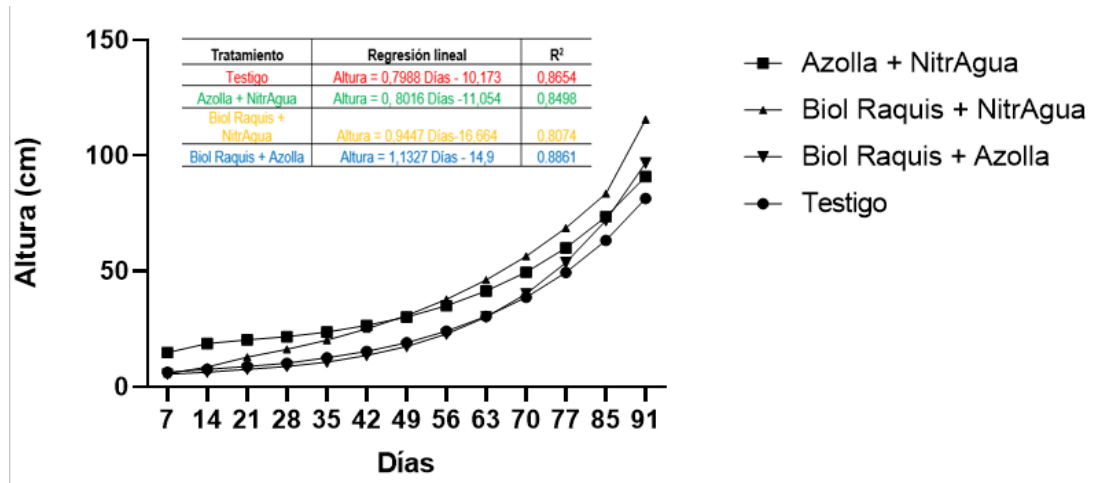


Figura 17. Altura de plantas de lechuga a los 91 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.

Es significativa la diferencia de incremento de altura entre el testigo (5,41cm) y la aplicación de Azolla + NitrAgua (3,88); tal y como se muestra en la Figura 18.

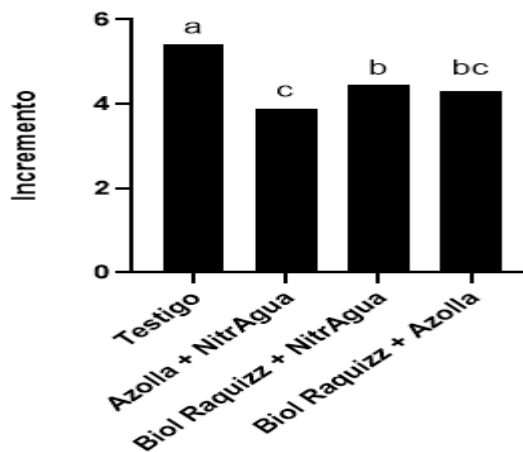


Figura 18. Incremento de altura en plantas de pimiento, a los 91 días después de la aplicación de los tratamientos.

Número de hojas

El número de hojas del cultivo de pimiento; en las mediciones realizadas, se observó que las plantas con Biol Raquis + NitrAgua obtuvieron un mayor promedio de 66 hojas, seguida de Biol Raquis + Azolla, el promedio más bajo correspondió al testigo, además se pudo observar que existió efectos significativos de los tratamientos ($p>0,05$) sobre esta variable (Figura 19).

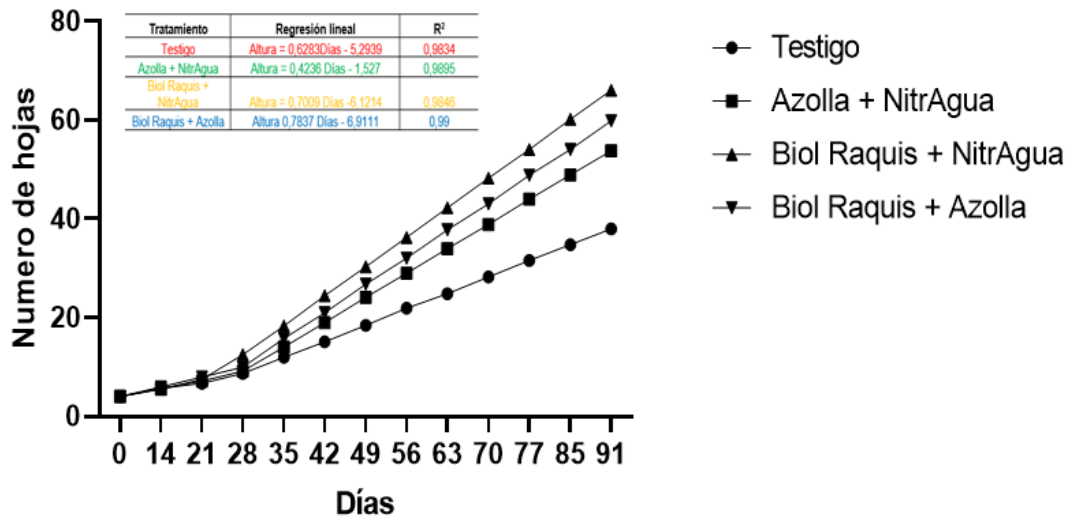


Figura 19. Número de hojas de plantas de lechuga a los 91 días de la aplicación de los cuatro tratamientos.

A los 91 días, se observan diferencias significativas para esta variable (Figura 20), el mayor incremento lo consiguió el testigo (3,58) en comparación con Biol Raquis + NitrAgua (3,27).

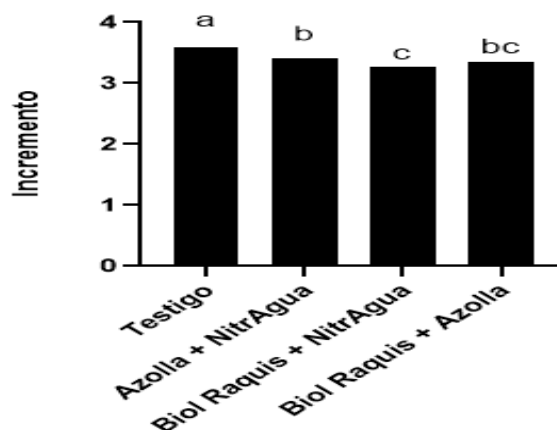


Figura 20. Incremento de número de hojas en plantas de pimiento, a los 91 días después de la aplicación de los tratamientos.

Número de frutos por planta

El número de frutos del cultivo de pimiento en cosecha, se observó que las plantas con Biol Raquis + NitrAgua obtuvieron un mayor promedio de 6 frutos por planta y el promedio más bajo correspondió al testigo, además se pudo observar que existió efectos significativos de los tratamientos ($p>0,05$) sobre el número de frutos en las plantas (figura 21).

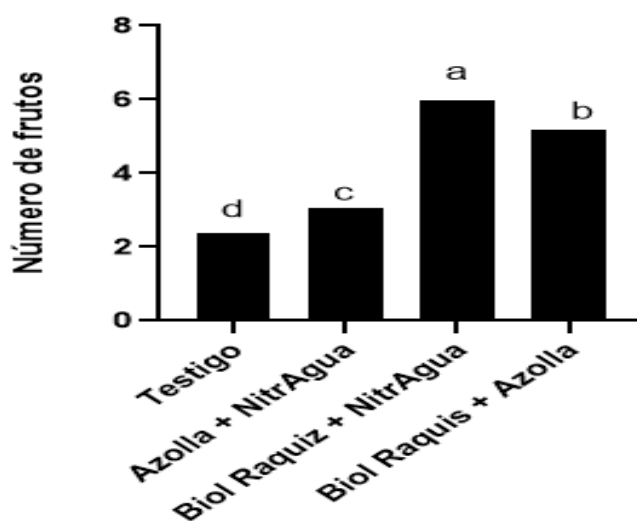


Figura 21. Número de frutos del cultivo de pimiento, después de realizada la cosecha.

Longitud del fruto

La longitud de los frutos de pimiento en cosecha; en las mediciones realizadas, se observó que Biol Raquis + Azolla obtuvieron un mayor promedio de 16,7 cm; el promedio más bajo correspondió al testigo, además se pudo observar que existió efectos significativos de los tratamientos ($p>0,05$) sobre la variable evaluada (Figura 22).

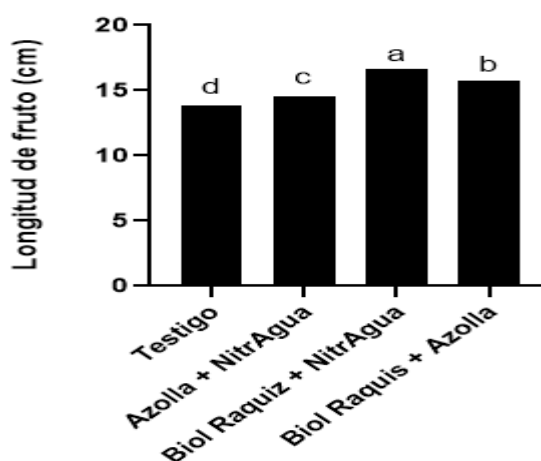


Figura 22. Longitud de frutos del cultivo de pimiento, después de realizada la cosecha.

Diámetro del fruto

El diámetro de fruto del cultivo de pimientos, al realizarse la cosecha, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). El que alcanzó un mayor promedio fue el Biol Raquis + Azolla con 18,9 cm de diámetro. (Figura 23).

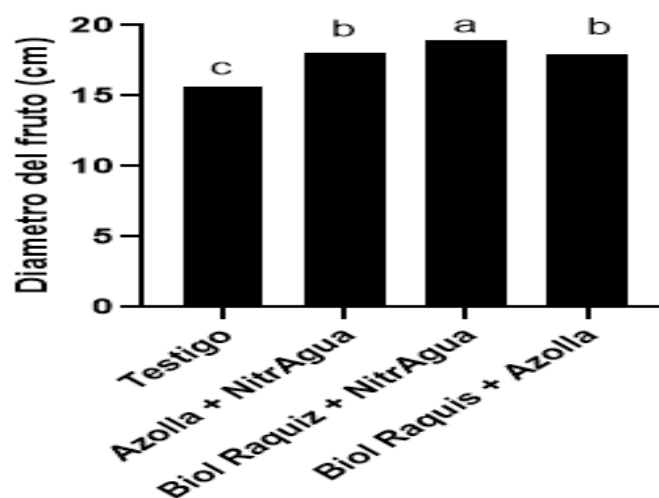


Figura 23. Diámetro de frutos del cultivo de pimiento después de realizada la cosecha.

Peso del fruto

En el peso de fruto, existieron diferencias significativas ($p > 0,05$), se puede observar que Biol Raquis + NitrAgua obtuvieron un mayor peso de fruto de 174, 74 g; a diferencia del testigo que obtuvo una menor medición, como se puede observar en la Figura 24.

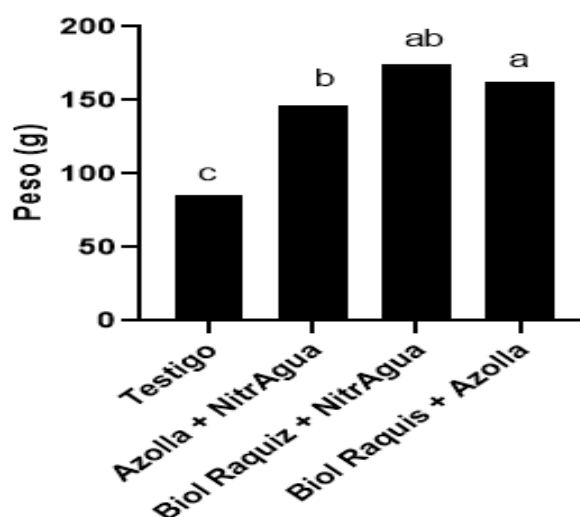


Figura 24. Peso de frutos del cultivo de pimiento después de realizada la cosecha.

7. Discusión

7.1. Producción de nitrógeno a partir de la simbiosis *Azolla anabaena* en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Santa Teresita

7.1.1. Crecimiento y producción de *Azolla filiculoides*

El crecimiento de la *Azolla filiculoides* se adaptó de manera correcta en la finca "Saca", ubicada en la parroquia de Santa Teresita, con un pH de 6,95 a 7,38 durante la investigación se registró una producción inicial de 0,22 kg y la final de 9,40 kg, registrando un aumento diario de 0,08 kg y un crecimiento de 0,13 m² duplicando su biomasa de 5 a 6 días resultados que se han obtenido debido a las variables climáticas y manejo técnico de este helecho, tal y como corrobora Rivera *et al.*, (2016) en su estudio, en donde las condiciones climáticas presentes en el periodo analizado responden a un clima tropical, un pH 7,4 un porcentaje alto de materia orgánica 9,3 % y una conductividad eléctrica de 4,32 dmhos/cm, que lo caracteriza como medianamente salino, lo que demuestra que es una especie que se adapta a condiciones de salinidad y se puede desarrollar normalmente

Peters *et al.*, (1980) manifiesta que esta planta acuática de flotación libre, se reproduce vegetativamente por fragmentación y tiene la capacidad de mantener una tasa de crecimiento exponencial, Monteros (2011) concuerda con el crecimiento de *Azolla* es de una expresión matemática la cual depende de la velocidad y el tiempo, Méndez-Martínez *et al.*, (2018) en su investigación cita a Lumpkin y Plucknett, 1982 confirma que *Azolla*, se multiplica generalmente de forma vegetativa y puede duplicar su biomasa en cuatro días, sin embargo, también existe conocimiento sobre el proceso de esporulación de esta planta.

Martinez *et al.* (2018) manifiesta en su investigación que la producción está influenciada por la temperatura, la carga y el balance de los nutrientes, esta planta requiere para su normal desarrollo y producción de un pH entre 6.5 y 7.5 con óptimas condiciones de luz solar, temperatura entre 21 y 28 o C, contando con disponibilidad de nutrientes, teniendo en cuenta además una adecuada protección contra las corrientes de agua o de viento, siendo capaz de duplicar su biomasa en 48 horas y lograr una óptima composición química (Domínguez y Ly, 1997). En estudios realizados por Dolberg *et al.* (1981), determinaron que esta planta en condiciones de total exposición al sol y otros factores ambientales; cesa su crecimiento y desarrollo cuando la temperatura está superior a 40 °C, reportando valores de rendimiento en aguas fertilizadas de 168 t / ha / año.

7.1.2. Contenido de nitrógeno en NitrAgua

Para determinar el contenido de nitrógeno en NitrAgua se realizaron análisis de agua, a los 0, 15 y 30 días, considerando el crecimiento de la *Azolla filiculoides* al 0, 50 y 100 % de cobertura, el valor inicial a los 0 días fue de 5,88 mg/L, después a los 15 días el contenido de nitrógeno ascendió a 11,77 mg/L, y a los 30 días con 100 % de cobertura tubo un decrecimiento de nitrógeno de 8,20 gr/L, esto se debe a que la fijación de nitrógeno puede estar relacionado con factores como la disponibilidad de luz, nutrientes, temperatura y pH del agua. Si alguno de estos factores se encuentra fuera del rango óptimo para el crecimiento de *Azolla filiculoides*, la planta puede experimentar un deterioro en su salud y un decrecimiento en la fijación de nitrógeno, además, la competencia con otras especies acuáticas también puede afectar el crecimiento y la fijación de nitrógeno de *Azolla*. Si otras plantas o algas acuáticas compiten por nutrientes y luz solar, es posible que la *Azolla* se vea limitada en su crecimiento y, por lo tanto, en la fijación de nitrógeno, tal como menciona Coronel, (2014) al evaluar distintas especies químicas de amonio de nitrito y nitrato en el proceso de fijación biológica, encontró una disminución de concentración de nitrógeno, que puede atribuirse a pérdidas de amoníaco por volatilización, inmovilización del nitrógeno por la flora acuática.

Azolla filiculoides se caracteriza por una alta producción en biomasa, así como alto contenido de proteína y un adecuado nivel de fibra bruta (Martínez et al., 2018). Puede fijar nitrógeno atmosférico (N₂) y dióxido de carbono (CO₂) para formar carbohidratos y amoníaco, respectivamente, después de la descomposición agrega nitrógeno disponible para la absorción de los cultivos y contenido de carbono orgánico en el suelo (Katole et al., 43 2017).

7.1.3. Contenido de nitrógeno en biomasa de *Azolla filiculoides*

La tasa de fijación de nitrógeno se puede estimar a partir de la tasa de crecimiento relativo y del contenido de nitrógeno del helecho. Este proceso de fijación de N₂ se desarrolla en forma paralela al crecimiento de la planta. A medida que las hojas se desarrollan, la tasa de fijación aumenta. La capacidad de fijar nitrógeno atmosférico por parte del simbiosistema *Azolla*-*Anabaena*, es del orden de 3 kg/ha de N por días, que varía con la especie, por ejemplo, su aplicación en terrenos cultivados con hortalizas se han encontrado tasa de fijación de nitrógeno entre 62-125 kg/ha (Mayz, 2004).

En la presente investigación el análisis químico de la biomasa del helecho registró altos contenido de macro como micronutrientes, con un contenido de nitrógeno disponible de 1,10 gr/l. en la parroquia de Santa Teresita.

7.1.4. Contenido de pH en NitrAgua

Los datos del pH, registrados desde el día cero hasta los 30 días en los cuales se cubrió el 100% del azollario, mantuvo un rango de 6,95 a 7,38 siendo este prácticamente neutro, con valores bajos de conductividad eléctrica (0,44 dS/m). (AGROMATICA, 2014) menciona que valores menores a 0,70 mS/cm no perjudica a estos cultivos hortícolas debido al bajo contenido de salinidad, esto facilita que el agua sea absorbida con mayor facilidad por el sistema radical.

El pH adecuado para mantener *Azolla filiculoides* varía dentro de un rango específico. En general, se considera que un pH ligeramente ácido a neutro es favorable para el crecimiento y desarrollo de *Azolla filiculoides*. El rango óptimo de pH para esta planta acuática suele estar entre 6,0 y 7,5. (Franco, 2004)

7.2. Efecto de biofertilizantes resultado de la simbiosis *Azolla Anabaena* y lixiviado del raquis del banano en el cultivo de lechuga

7.2.1. Nutrientes en el suelo

La clase textural del suelo en donde se llevó a cabo el proyecto de investigación fue Franco arenoso, con un pH de 7,5 además presentó un buen contenido de macro y micronutrientes como es de Nitrógeno 192,5 kg/ha, Fosforo 50 kg/ha, Potasio 273,7 kg/ha, Calcio 161,58 kg/ha y Magnesio 353,8 kg/ha a excepción de Fe y Zn, que presentaron valores bajos, estas condiciones permiten el normal desarrollo de los cultivos, tal y como menciona Japón, (2019) los cultivos hortícolas (lechuga y pimiento) se adaptan bien a todo tipo de suelos, excepto los que tengan problemas de encharcamiento, situando el pH óptimo entre 6,7 y 7,4.

Ante ello como resultado de los análisis se obtuvo una adecuada fertilidad del suelo, pero con el uso de los biofertilizantes se logró buenos beneficios adicionales, ya que estos facilitarón la liberación y disponibilidad de otros nutrientes faltantes, aumentó la actividad

microbiológica, favoreció la descomposición de la materia orgánica, contribuyendo a tener una mayor capacidad de retención de agua, resistencia a enfermedades, plagas y logrando buenos rendimientos en el cultivo de lechuga y pimiento. Para ello se aplicó las dosis adecuados de los biofertilizantes para maximizar los beneficios en un contexto particular.

PROAIN (2020) manifiesta que un buen rendimiento y calidad de producto (lechuga y pimiento), es importante que el suelo tenga un buen contenido de nutrientes, las cifras promedio deben estar en: 100 kg de N/ha, 50 kg de fósforo como P₂O₅, 250 kg de potasio como K₂O, 51 kg de calcio como CaO y 22 kg de magnesio como MgO.

7.3.Cultivo de lechuga

7.3.1. Altura

A los 38 días de evaluación después de la aplicación de los tratamientos se registró el mayor valor de altura 26,4 cm, correspondiente al Biol Raquis + NitrAgua, debido a que al aplicar el biol raquis al suelo como fertilizante foliar, se suministró nutrientes de manera orgánica y fácilmente asimilable por las plantas, lo que pudo promover un crecimiento vigoroso y una mayor altura del cultivo.

Gordon *et al.*, (2016) manifiestan que distintas dosis de biol (2 %, 4 % y 6 %), con frecuencias de aplicación (8 y 15 días), los resultados mostraron que la aplicación de biol cada 15 días, contribuyó a que las plantas obtuvieran una mayor altura, sugiriendo que la aplicación de biol puede ser una importante alternativa ecológica para fertilizar cultivos ecológicos como la lechuga reduciendo el uso de fertilizantes de síntesis química y los costos de producción.

7.3.2. Número de hojas

El número de hojas se desarrolla diariamente entre 0,26 y 0,63; la mayor cantidad de hojas a los 38 días después de Biol Raquis + NitrAgua (27 hojas), debido a que el biol actúa como fitoregulador por lo que ayuda a las plantas a presentar mejores características morfológicas, 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 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.

7.3.3. Diámetro de tallo en el cultivo

El diámetro de tallo en el cultivo de lechuga a los 38 días de cosecha, se puede observar que existió un mayor diámetro promedio en plantas en las que se aplicó Biol Raquis + NitrAgua obteniendo 29,9 cm; esto no concuerda con lo reportado por Jiménez *et al.*, (2014) quienes indican que al incrementar las dosis de biol en el cultivo obtuvieron efectos negativos en las variables estudiadas mientras que a bajas concentraciones observaron efectos positivos, ello puede deberse a que las plantas de lechuga soportan mayores dosis, por lo que este es un tema a estudiar.

En cambio Tamaquiza *et al.*, (2016), encontró que con dosis al 6 % aplicados cada 15 días de biol, influyó positivamente en variables estudiadas: altura de planta, diámetro del tallo, días a la cosecha, diámetro del cogollo comercial a la cosecha, al peso de cogollo comerciales a la cosecha, debido a que la aplicación del biol al menos un 40 % cae en el suelo alrededor de la planta, este al ser infiltrado se pone al alcance de las raíces en la zona de la rizosfera, aportando con nutrientes y gran cantidad de microorganismos al suelo, mejorando la capacidad de absorción de agua, lo que promueve las actividades fisiológicas y estimulan el desarrollo de las plantas a través de la producción de enzimas.

7.3.4. Peso de la planta

A los 38 días de evaluación, se registró el mayor valor de peso (0,2104 kg) que corresponde al Biol Raquis + NitrAgua. Lo cual concuerda con lo mencionado por Pomboza *et al.*, (2016) en su estudio al comparar el resultado del testigo con el resto de tratamientos sobre las dosis de biol aplicadas, éstas proporcionaron mayor peso. Por lo expuesto se deduce que las dosis de biol aplicadas a los tratamientos funcionaron adecuadamente en esta variable; en relación directa a mayor dosis mayor peso, a pesar de las condiciones medioambientales desfavorables ocurridas en el sector.

7.4. Cultivo de Pimiento

7.4.1. Altura

A los 91 días después de la aplicación de los tratamientos se registró que las plantas sometidas bajo Biol Raquis + NitrAgua presentaron un mayor crecimiento 159,3 cm, estos resultados concuerdan con lo mencionado por Vásquez (2021), quien encontró que las plantas de pimiento cuya producción se realizó bajo invernadero con uso de biol, se evidencia una gran respuesta a dicha producción ya que las plantas sometidas bajo este tratamiento presentaron mejores características morfológicas, e incluso logro superar al tratamiento

control el cual fue aplicado con abono completo 10 -30-10, según lo estudiado el efecto de estos abonos muestran gran eficacia bajo condiciones controladas de invernadero.

7.4.2. Número de hojas

El número de hojas del cultivo de pimiento; a los 91 días después de la aplicación de los tratamientos se observó que las plantas del Biol Raquis + NitrAgua obtuvieron un mayor promedio (98 hojas), a diferencias del resto de tratamientos que obtuvieron promedios más bajos, tal y como recalca Lligui & Llivicura (2016), el biol actúa como fito-estimulante del crecimiento foliar, al suministrar nutrientes y estimular la actividad biológica en el suelo. Un mayor crecimiento de las hojas puede contribuir a un aumento en la altura de las plantas de hortalizas.

7.4.3. Diámetro de fruto

El diámetro de fruto del cultivo de pimientos, al realizarse la cosecha, se encontró que el el Biol Raquis + Azolla alcanzo un mayor promedio, esto se contradice con lo dicho por Masaquiza, (2016) en donde encontró que el diámetro del fruto para la primera cosecha el tratamiento acido húmico es el más elevado, a diferencia de los sometidos bajo biol. Pero Lligüi & Llivicura, (2016) encontraron que el diámetro del fruto, en la interacción del tipo de fertilizante y los niveles de aplicación, las plantas que recibieron la aplicación de biofertilizantes en los niveles de biol bajo y alto presentan un mayor diámetro que las aplicadas con mineral bajo y alto.

7.4.4. Número de frutos por planta

El número de frutos del cultivo de pimiento a los 91 días de evaluación, se observó que las plantas del Biol Raquis + NitrAgua obtuvieron un mayor promedio (5.9 unidades), ya que permite la producción de hormonas vegetales que ayudan al crecimiento de las plantas, raíces, desarrollo de los frutos, mejorando notablemente la producción, tal y como menciona Apaza (2013) en la evaluación del rendimiento de pimiento con aplicación de biol encontró que los niveles de biol aplicados en la investigación incidieron favorablemente sobre el número de frutos por planta, esta respuesta tendría relación con los efectos positivos de este abono orgánico sobre la floración y crecimiento de los frutos.

7.4.5. Longitud de fruto

La longitud de los frutos de pimiento a los 91 día se observó que el Biol Raquis + Azolla obtuvieron un mayor promedio y el promedio más bajo correspondió al testigo, a diferencia de lo mencionado por (Cobo, 2012), en donde evaluó efecto de la fertilización mediante uso

de biol, encontró que el tratamiento que obtuvo la media con el valor más alto fue el número 5 correspondiente al control, alcanzando un valor de 15.51 cm de longitud y la media general de todos los tratamientos fue de 14.98 cm.

7.4.6. Peso del fruto

En el peso de fruto, se puede observar que Biol Raquis + NitrAgua obtuvieron un mayor peso de fruto, a diferencia del testigo que obtuvo una menor medición, tal y como menciona (Masaquiza, 2016) los resultados indican la presencia de dos rangos significativos, ubicándose en primer lugar el B1 (biol vacuno), con un valor promedio de 0.13 de peso del fruto, presentando una intersección A/B en el factor B2 (biol gallinaza), ubicándose así el factor B3 (biol cerdo) en el último rango de la prueba. Esto significa que independiente de los híbridos en su investigación los tratamientos con bioles alcanzaron un mayor promedio de la variable peso del fruto, debido a que el biol es un mejorador de la disponibilidad de nutrientes del suelo, que aumenta la disponibilidad hídrica, y crea un micro clima adecuado permitiendo promover actividades fisiológicas y estimulando el desarrollo.

8. Conclusiones

- La NitrAgua contiene altas concentraciones de N, K, Ca, Mg, Na, HCO₃, Cl, SO₄, B, los cuales estuvieron disponibles en el cultivo y tuvieron mayor efecto a diferencia del resto de tratamientos.
- Los cultivos con la aplicación de Biol Raquis + NitrAgua presentaron mejores características morfológicas (altura, número de hojas, diámetro de fruto, peso, número de fruto y longitud de fruto) este biofertilizante proporcionó nutrientes equilibrados, estimulando el crecimiento radicular y mejoraron la salud del suelo, lo que resultó en un incremento en el rendimiento y calidad de los cultivos. Su uso representa una opción sostenible y prometedora para la agricultura ecológica.
- El contenido de nitrógeno bien expresado en el azollario no tiene un comportamiento estable, al 50% de cobertura se obtuvo el mayor contenido de N (11,77 gr/l) y al 100% de cobertura presento un contenido de N (8,20).
- El cultivo de lechuga con la aplicación de Biol Raquis + NitrAgua presentaron mejores características morfológicas a los 38 días las plantas alcanzaron un incremento de altura (26,4 cm), número de hojas (27 hojas), diámetro de tallo (29,9).
- El cultivo de pimiento al aplicar Biol Raquis + NitrAgua obtuvieron un mayor promedio a diferencia del resto a los 91 días de aplicado, alcanzando una altura de (159,3 cm), número de hojas (98 hojas), diámetro de fruto (18,94 cm), número de frutos (5,98), longitud de fruto (16,68 cm), peso del fruto (174,74 gr)
- El pH inicial del suelo fue de 7,5 considerado prácticamente neutro; siendo apto para la aplicación de los biofertilizantes en los cultivos de pimiento y lechuga lo que permitió obtener mejor asimilación de nutrientes.
- La aplicación de biofertilizantes como es el lixiviado de raquis de banano mostró un impacto positivo en el rendimiento de la lechuga y el pimiento. Se observó un aumento significativo en la producción de cultivos en comparación con los sistemas convencionales de fertilización.
- Con el lixiviado de raquis de banano se proporcionaron una fuente rica y equilibrada de nutrientes para las plantas de lechuga y pimiento. Esto contribuyó a un crecimiento saludable de las plantas, una mejor absorción de nutrientes y una mayor calidad de los productos cosechados.

9. Recomendaciones

- Realizar un estudio preliminar de la simbiosis entre Azolla anabaena y el raquis de banano: Antes de llevar a cabo los ensayos de campo, es importante realizar una investigación detallada sobre la simbiosis entre Azolla anabaena y el raquis de banano. Esto incluye estudiar las condiciones óptimas de crecimiento de Azolla anabaena, las técnicas de producción de raquis de banano y el proceso de lixiviación para obtener el biofertilizante.
- Continuar usando al helecho como abonos, por la rápida propagación y composición nitrogenada que presenta, tomando en consideración el continuo aumento de costos en los fertilizantes nitrogenados y la necesidad de aplicar una agricultura orgánica, conduciendo una mejora en el ambiente.
- Presentar los resultados de la investigación en foros científicos y publicar los hallazgos en revistas científicas especializadas. Esto contribuirá a la difusión del conocimiento y permitirá que otros investigadores y agricultores se beneficien de los resultados obtenidos.
- Realizar análisis de calidad de los cultivos cosechados, incluyendo contenido nutricional, contenido de compuestos bioactivos y evaluación sensorial. Esto proporcionará información sobre el impacto de los biofertilizantes en la calidad nutricional y organoléptica de los productos
- Con los resultados obtenidos y en función a otras investigaciones similares realizadas, se recomienda realizar más investigaciones en otros cultivos utilizando la simbiosis Azolla anabaena y lixiviado de raquis de banano ya que es una alternativa económica para abaratar costos y obtener producción de frutos de alta calidad.
- Tener precaución en el descenso del nivel de agua, debido a la evapotranspiración, que puede llegar a afectar la producción de azolla.
- Capacitar a productores de mejor manera en el uso y el manejo de este helecho acuático ya que oferta un gran beneficio tanto en cultivos como alimento para sus animales.
- Con respecto a su crecimiento y producción azolla se debe tener en cuenta que la cosecha de azolla debe realizarse a partir de 19 a 21 días para evitar pérdidas de nitrógeno.
- Realizar un análisis económico de la producción agroecológica de lechuga y pimiento con la aplicación de biofertilizantes. Esto implica considerar los costos de producción, los ingresos generados, la rentabilidad y la viabilidad económica de la implementación de esta práctica.

Bibliografía

- AGROMATICA. (2014). La conductividad eléctrica del agua de riego. <https://www.agromatica.es/conductividad-electrica-del-agua/>
- Agrón, C. (2015). Fertilidad Química [Tesis, FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES].https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/75204/mod_resource/content/1/UDD%20D8.1%20Fertilidad%20Qu%20C3%20ADmica%20.pdf
- Aldás, J., Villac[is, L., Zurita, J., Cruz, S., Pomboza, P., & Leon, O. (2016, abril). Efecto biofertilizante de azolla—Anabaena en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). 2016, 4(2), 6.
- Alvaro, C., Marco, D., & Giovanni, S. (2016). Los desafíos del Ecuador para el cambio estructural con inclusión social. Impreso en Naciones Unidas, Santiago. https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/40863/S1601309_es.pdf
- Avila, J. P., & Canul, R. P. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos.
- Barrios, N. (2004). Evaluación del cultivo de la lechuga, *Lactuca sativa* L. bajo condiciones hidropónicas en Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala [Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2071.pdf
- Benimeli, M., Plasencia, A., & Corbella, R. (2019). El nitrógeno del suelo. Facultad de Agronomía y Zootecnia. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/El%20nitrogeno%20del%20suelo%202019%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/El%20nitrogeno%20del%20suelo%202019%20(4).pdf)
- Buñay, C. (2017). Etapas fenológicas del cultivo del pimiento (*Capsicum annum*. L) var. verde, bajo las condiciones climáticas del cantón General Antonio Elizalde (Bucay) provincia del Guayas (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato).<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25090/1/tesis%20024%20Ingenier%20C3%20ADa%20Agropecuaria%20-%20Bu%20C3%20B1ay%20Christian%20-%20cd%20024.pdf>
- Cardenas, R., & Sánchez, M. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. Instituto de Investigaciones Químico Biológica, 1(1), 13.

- Carlos, A.-J. J., Hernán, Z.-V. J., Eduardo, C.-T. S., Alfredo, V.-A. L., Pablo, P.-T. P., & Alfredo, L.-G. O. (2016). Efecto biofertilizante de azolla—Anabaena en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Fertilizer effect Azolla—Anabaena in maize (*Zea mays* L.), 4(2).
- Carrillo, G., Herrera, A., Padilla, L., & Luna, M. (2015). Evaluación técnica y financiera del cultivo de lechuga en invernadero, como alternativa para invierno. Terra. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57341186007.pdf>
- Castellanos, A., & Mishel, H. (2010). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. 3. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792011000300343
- Castro, R., Rodríguez, M., Álvarez, G. E., Gil, M., & Novo, R. (s. f.). Efecto del uso de Azolla en los rendimientos.
- Chavéz, V., Valencia, A., Cordova, C., & Jaramillo, J. (2017). Lixiviados de Raquis de Plátano: Obtención y Usos Potenciales. Cuadernos de Biodiversidad, 1(1), 10.
- Chuncho, L., Urigén, P., & Apolo, N. (2021). Ecuador: Análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018. 8(1), 17.
- Cobo, R. (2012). Efecto de la fertilización a base de biol en la producción de pimiento (*Capsicum annum* L) híbrido Quetzal bajo condiciones de invernadero [Tesis, Universidad San Francisco de Quito USFQ]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2021/1/104388.pdf>
- Crónica. (2023). La importancia de la producción agroecológica de hortalizas en Ecuador. <https://cronica.com.ec/2023/01/07/la-importancia-de-la-produccion-agroecologica-de-hortalizas-en-ecuador/>
- Cuadras Berrelleza, A. A., Peinado Guevara, V. M., Peinado Guevara, H. J., López López, J. de J., & Barrientos, J. H. (2021). Agricultura intensiva y calidad de suelos: Retos para el desarrollo sustentable en Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1401-1414. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2704>
- Díaz, A., Espinosa, M., & Ortiz, F. (2018). Reducción de la fertilización inorgánica mediante micorriza arbuscular en sorgo. 7.
- Duran, A., Duran, Y., Quimis, L., & Vera, M. (2019). Ecuador: Análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018.

0311%20Huayamave%20Maestre%20Andrea%20Del%20Roc%c3%ado%3b%20Layana
%20Bernal%20Ver%c3%b3nica%20Ashley.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2020). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/>

Jiménez, P. (2018). Identificación del agente causal(s) de la pudrición radicular en pimiento (*Capsicum annum* L.) en Tumbaco [Tesis, Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15929/1/T-UCE-0001-CAG-014.pdf>

Lligüi, M., & Llivicura, M. (2016). Discriminación del efecto nutricional de biofertilizantes líquidos enriquecidos con componentes minerales en aplicación foliar en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) [Tesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25599/1/tesis.pdf.pdf>

Martínez, J. (2019). Bacterias fijadoras de nitrógeno. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/DialnetComportamientoDeLaAzollaAzollaSppBajoDiferentesCon-6550746%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/DialnetComportamientoDeLaAzollaAzollaSppBajoDiferentesCon-6550746%20(1).pdf)

Masaquiza, M. (2016). Influencia del abono orgánico biol, sobre el comportamiento agronómico y productividad del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.), en el Cantón Cumandá Provincia de Chimborazo [Tesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24083/1/tesis%200004%20Ingenier%c3%ada%20Agropecuaria%20-%20Maria%20Fernanda%20Masaquiza%20-%20cd%200004.pdf>

Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista Científica UDO Agrícola*, 4, 1-20.

Montaño, M. (2009). Desarrollo del recurso Azolla anabaena y aplicaciones en los sectores agrícola, pecuario y acuícola. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6714/1/Azolla%20hoja%20informativa%20%20jl-09.pdf>

Mora, H. (2009). Estudio de prefactibilidad para la producción de pimiento en la península de Santa Elena. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/474>

- Mosquera, J., & Rodriguez, A. (2002). Evaluación de parámetros bioquímicos y morfológicos en la simbiosis *Azolla filiculoides* – *Anabaena azollae* como respuesta a la interacción de la calidad de luz y dos niveles de nitrógeno. *Ecología Aplicada*, 1(1), 10.
- Muñoz, C. (2018). Identificación morfológica de los hongos causantes de la pudrición radicular en lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el valle de Tumbaco [Tesis, Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15114/1/T-UCE-0004-A78-2018.pdf>
- PROAIN. (2020). Como detectar las deficiencias de los nutrientes en la lechuga. *Tecnología Agrícola*. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/como-detectar-las-deficiencias-de-los-nutrientes-en-la-lechuga#:~:text=Las%20cifras%20promedio%20de%20extracci%C3%B3n,kg%20de%20magnesio%20como%20MgO>
- PROMSA. (2023). Aplicación de la simbiosis diazotrófica entre *Azolla* y *Anabaena* como abono verde para el cultivo del arroz en el litoral del Ecuador (IG-CV-053) (Informe Técnico Final N.º 1; Aplicación de la simbiosis *Azolla* y *Anabaena*, p. 81). <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24481/1/Promsa%20Informe%20t%C3%A9cnico%20final.pdf>
- Rincón, L. E. C., & Gutiérrez, F. A. A. (2012a). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos [Nitrogen and phosphorus cycles dynamics in soils 1.
- Rincón, L. E. C., & Gutiérrez, F. A. A. (2012b). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos [Nitrogen and phosphorus cycles dynamics in soils 1.
- Saavedra, G., Corradini, F., & Antúnez, F. (2017). Manual de producción de lechuga (Vol. 1). Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29500/INIA_Libro_0051.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Silva, V. (2017). El cultivo de las hortalizas (1ra. edición, Vol. 1). Jatun Sach'a. https://www.unodc.org/documents/bolivia/DIM_Manual_de_cultivo_de_hortalizas.pdf
- SQM. (2018). Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad. Armen Tjalling Holwerda (M.Sc.). <https://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/05/Nutricion-Vegetal-en-pimiento.pdf>

Tarqui, M., René, C., Mena, F., Quino, J., & Tallacagua, R. (2009). Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), mediante termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v4n1/v4n1_a03.pdf

10. Anexos

Anexo 1. Construcción de Azollarios



Anexo 2. Medida de crecimiento de la Azolla cada 5 días desde la siembra.



Anexo 3. Azollarios llenos a los 30 días



Anexo 4. Toma de muestras de agua sin Azolla y a los 30 días con Azolla (cobertura total de los Azollarios)



Anexo 5. Construcción del invernadero



Anexo 6. Preparación del diseño experimental para el cultivo de lechuga

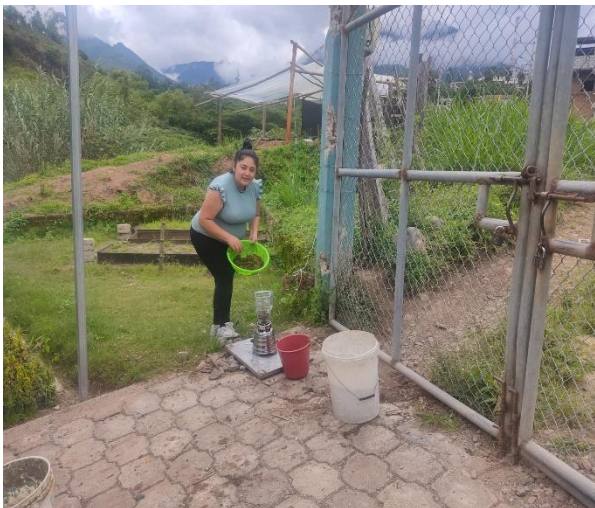


Anexo 7. Preparación del diseño experimental para el cultivo de pimiento



Anexo 8. Proceso del cultivo de lechuga y pimiento.

Preparación para riego de cada uno del tratamiento utilizados para la lechuga y pimiento.



Area experimental de la lechuga.



Area experimental del pimiento.



Anexo 9. Variables medidas de la lechuga y pimiento

Lechuga (Altura, diámetro, número de hojas, medida de la raíz, peso)





Pimiento (Altura, diámetro, número de hojas, peso, medida de la raíz)



Anexo 10. Manejo agronómico del cultivo de lechuga y pimiento



Loja, 12 de junio de 2023

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Nadine Alejandra Narváez Tapia, con número de cédula 1150753067 y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, Mención Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1008-2019-2144786

CERTIFICO:

Qué he realizado la traducción de español al idioma Inglés del resumen del presente trabajo de titulación denominado **“Producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.) con la aplicación de biofertilizantes resultado de la simbiosis Azolla anabaena y lixiviado de raquis de banano”** de autoría de **Fanny Katherine Cordero Rojas**, portadora de la cédula de identidad, número **1105714818**, 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 hacer uso del presente en lo que se creyera conveniente.



Lic. Nadine Alejandra Narváez Tapia
C.I: 1150753067
Registro del SENESCYT: 1008-2019-2144786