Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica azolla-anabaena en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la parroquia Vilcabamba, cantón y provincia de Loja.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola

AUTORA:

Yajahira Alexandra Calle Herrera

DIRECTOR:

Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Loja – Ecuador

2022

Certificación

Loja, 04 de abril de 2022

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

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del trabajo de titulación denominado: **Generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica azolla-anabaena en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la parroquia Vilcabamba, cantón y provincia de Loja.**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Yajahira Alexandra Calle Herrera**, con cédula de identidad número **1105764268**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

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

Autoría

Yo, **Yajahira Alexandra Calle Herrera**, 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 de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Yajahira Alexandra Calle Herrera
Cédula de identidad: 1105764268
Fecha: 1 /12/ 2022
Correo electrónico: yajahira.calle@unl.edu.ec
Teléfono celular: 0997793032

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

Yo, **Yajahira Alexandra Calle Herrera** declaro ser autora del trabajo de titulación titulada **Generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica azolla-anabaena en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.*)* en la parroquia Vilcabamba, cantón y provincia de Loja**, como requisito para optar el título **de Ingeniera Agrícola**, 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 RI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, el primero de diciembre del dos mil veintidós.

Firma:

Autora: Yajahira Alexandra Calle Herrera
Cédula: 1105764268
Dirección: Héctor Pilco – Wladimir Analuisa, Esteban Godoy, Loja, Ecuador
Correo electrónico: yajahira.calle@unl.edu.ec
Teléfono celular: (593) 997793032

DATOS COPLEMENTARIOS

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

Dedicatoria

Dedico mi proyecto de investigación de manera especial a mi madre Rosita por ser mi pilar fundamental, quien, con su amor, y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades. Ella que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas quien me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios.

A Luis y Esperanza mis papitos, a mi hermano Alexis, a mis hermanas María, Julia y Lady por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, a Patricio, por sus palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona.

Yajahira Alexandra

Agradecimiento

Le expreso mi especial reconocimiento de gratitud por su valiosa calidad académica al Dr. Edison Ramiro Vásquez director de Tesis, quien en forma didáctica y lógica realizó la revisión de este trabajo final, por su dedicación, paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada, gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional

Agradecer a la Universidad Nacional de Loja en especial la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, al personal administrativo de la Carrera de Ingeniería Agrícola, que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título, son muchos los docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí.

Finalmente quiero agradecer a la familia Jimenez Medina por las facilidades prestadas para la realización y ejecución de esta investigación.

Yajahira Alexandra

Índice de contenidos

Portada..... i
Certificación..... ii
Autoría..... iii
Dedicatoria..... v
Agradecimiento..... vi
Indice de contenidos..... viii
Indice de tablas..... x
Indice de figuras..... xi
Indice de anexos..... xii
1. **Titulo**..... 1
2. **Resumen**..... 2
2.1. Abstract..... 3
3. **Introducción**..... 4
4. **Marco Teórico**..... 6
4.1. La agricultura y la importancia del nitrógeno..... 6
4.1.1. Agricultura en el Ecuador..... 6
4.1.2. El Nitrógeno..... 7
4.2. Ciclo del nitrógeno..... 8
4.3. Fertilizantes..... 10
4.3.1. Uso de Fertilizantes en el cultivo de Lechuga..... 11
4.3.2. Fijación biológica del nitrógeno..... 12
4.3.3. Nitrógeno bien expresado..... 13
4.4. Agua para riego..... 13
4.4.1. Anabaena..... 16
4.4.2. Azolla..... 17
4.4.3. Asociación simbiótica Azolla-Anabaena..... 18
4.4.4. Condiciones del Hábitat..... 18
4.4.5. Cultivo de Azolla-Anabaena..... 19
4.4.5.1.Ventajas y desventajas..... 20
4.5. Cultivo de lechuga..... 22
4.5.1. Requerimientos de nutrientes en lechuga..... 23
5. **Metodología**..... 26
5.1. Localización de la zona de estudio..... 26

5.1.1. Ubicación política.....26
5.1.2. Ubicación geográfica.....27
5.2. Materiales y equipos.....27
5.3. Metodología para el primer objetivo.....27
5.3.1. Contenido de nitrógeno en el azollario.....28
5.4. Metodología para el segundo objetivo.....28
5.4.1. Diseño de la Investigación.....28
6. **Resultados**.....31
6.1. Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga.....31
6.2. Obtención de nitrógeno bien expresado.....32
6.2.1. Crecimiento de Azolla filiculoides.....32
6.2.2. Producción Azolla en el Azollario.....32
6.3. Contenido de nitrógeno en NitrAgua.....33
6.4. Contenido de nitrógeno en biomasa en Azolla.....33
6.5. Contenido de K en NitrAgua.....33
6.6. Contenido de Ca y Mg en NitrAgua.....34
6.7. Contenido de Na, B, Cl y SO_4 en la NitrAgua.....34
6.8. Contenido de HCO_3 en la NitrAgua.....35
6.9. pH en NitrAgua.....36
6.10. Dureza en la NitrAgua en ppm.....36
6.11. CE y RAS en la NitrAgua.....36
6.12. Evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo lechuga.....37
6.12.1. Altura de la planta.....37
6.12.2. Número de hojas en el cultivo de lechuga.....38
6.12.3. Diámetro del tallo.....39
6.12.4. Peso de la planta.....40
6.13. Análisis económico (Tasa Marginal de Retorno).....41
7. **Discusión**.....43
7.1. Obtención de nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Vilcabamba.....43
7.1.1. Crecimiento de Azolla filiculoides.....43

7.1.2. Producción de Azolla 43
7.1.3. Contenido de nitrógeno en la NitrAgua 44
7.1.4. Contenido de K en NitrAgua en ppm 44
7.1.5. Contenido de Ca y Mg en NitrAgua. 45
7.1.6. Contenido de Na, B, Cl- y SO_4 en la NitrAgua. 45
7.1.7. Contenido de pH, CE y RAS en la NitrAgua. 45
7.1.6. Dureza en la NitrAgua. 46
7.2. Evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo lechuga (Lactuca sativa) .. 46
7.3. Altura de la planta 46
7.4. Número de hojas 47
7.5. Diámetro del tallo 47
7.6. Peso de la planta 47
8. **Conclusiones** 48
9. **Recomendaciones** 49
10. **Bibliografía** 50
11. **Anexos**…… 60

Índice de tablas

Tabla 1. Estados de oxidación de los componentes del nitrógeno. **8**

Tabla 2. Principales fertilizantes nitrogenados. **11**

Tabla 3. Criterios de calidad de agua de la OMS. **14**

Tabla 4. Valores normales en agua de riego. **16**

Tabla 5. Condiciones favorables en el desarrollo de la cianobacteria Anabaena. **17**

Tabla 6. Distribución geográfica del género Azolla en el Ecuador **19**

Tabla 7. Composición química de Azolla. **20**

Tabla 8. Clasificación taxonómica de la lechuga (Lactuca sativa L.) **22**

Tabla 9. Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga. **23**

Tabla 10. Requerimientos de nutrientes en lechuga. **24**

Tabla 11. Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga (Lactuca Sativa L.) **24**

Tabla 12. Requerimientos nutricionales según la estación del clima. **24**

Tabla 13. Ubicación geográfica de la parroquia Vilcabamba. **27**

Tabla 14. Factores estudiados en el cultivo de lechuga crespa. **29**

Tabla 15. Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga. **31**

Tabla 16. Análisis de suelo **31**

Tabla 17. Análisis de agua. **31**

Tabla 18. Resultados de análisis de Biomasa de Azolla **33**

Tabla 19. Costos variables del cultivo de lechuga. **41**

Tabla 20. Ingreso bruto en el cultivo de lechuga. **41**

Tabla 21. Dominancia de tratamiento. **41**

Tabla 22. Tasa de retorno marginal en los tratamientos del cultivo de lechuga **41**

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo del Nitrógeno en la naturaleza. **9**

Figura 2. Ubicación de la parroquia Vilcabamba. **26**

Figura 3. Dimensiones del Azollario. **28**

Figura 4. Diseño completamente al azar..... **29**

Figura 5. Crecimiento de Azolla filiculoides. **32**

Figura 6. Producción de Azolla filiculoides **32**

Figura 7. Contenido de N en la NitrAgua. **33**

Figura 8. Contenido de K en NitrAgua..... **34**

Figura 9. Contenido de Ca y Mg en NitrAgua. **34**

Figura 10. Contenido de Na, B, Cl y SO_4 en la NitrAgua. **35**

Figura 11. Contenido de HCO_3 en la NitrAgua..... **35**

Figura 12. pH en NitrAgua. **36**

Figura 13. Dureza en la NitrAgua. **36**

Figura 14. CE y RAS en la NitrAgua **37**

Figura 15. Modelo de regresión lineal para altura. **37**

Figura 16. Altura de la planta de lechuga..... **38**

Figura 17. Modelo de regresión lineal hojas. **38**

Figura 18. Número de hojas en el cultivo de lechuga **39**

Figura 19. Modelo lineal del diámetro del tallo. **39**

Figura 20. Diámetro del tallo..... **40**

Figura 21. Peso del repollo de lechuga. **40**

Índice de anexos

Anexo 1. Formato para toma de datos de campo. 60

Anexo 2. Construcción del azolario. 60

Anexo 3. Siembra de azolla y monitoreo de azollarios. 61

Anexo 4. Invernadero rústico. 61

Anexo 5. Proceso del cultivo de lechuga. 62

Anexo 6. Socialización de resultados en Vilcabamba APECAEL. 65

Anexo 7 Altura en cm del cultivo de Lechuga. 67

Anexo 8 Diámetro de planta de Lechuga. 67

Anexo 9 Numero hojas de planta de Lechuga. 68

Anexo 10 Peso de planta de Lechuga. 68

Anexo 11 Costos de producción. 69

Anexo 12 Certificación de traducción Abstract 70

1. Titulo

Generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica azolla-anabaena en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la parroquia Vilcabamba, cantón y provincia de Loja.

2. Resumen

Azolla filiculoides es un helecho acuático flotante capaz de fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con la bacteria anabaena y convertirlo en formas asimilables para las plantas; además, en su desarrollo genera nitrógeno en la biomasa y en el agua que al ser incorporado al suelo brinda ventajas, incrementar la fertilidad y la estructura del suelo. Con la finalidad de contribuir a la agricultura familiar campesina se propuso obtener y aprovechar nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis azolla-anabaena en condiciones accesibles para los agricultores en el cultivo de lechuga. La investigación se realizó en la parroquia Vilcabamba; en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones; se probaron cinco tratamientos: testigo, NitrAgua, Urea, Azolla y Azolla más NitrAgua; se recopilaron datos de altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y peso a los 15, 30 y 60 días. Los mejores resultados se obtuvieron a los 60 días con la incorporación de biomasa de Azolla y NitrAgua: 20 cm de altura de planta, 2 cm de diámetro de tallo, 18 hojas por planta y 114 g de peso. La aplicación conjunta de biomasa de azolla como sustrato más el riego con NitrAgua, es un eficaz biofertilizante ya que el cultivo de Lechuga se beneficia del aporte de nitrógeno bien expresado. Las características del agua en el azollario fueron: pH 7,5, temperatura promedio ambiental de 22°C, contenido de nitrógeno en el azollario máximo de 130 mg/l.

Palabras clave: Biofertilizante, Fijación de Nitrógeno, Azolla, NitrAgua.

2.1. Abstract

Azolla filiculoides is a buoyant aquatic fern capable of fixing atmospheric nitrogen in symbiosis with anabaena bacteria and transforming it into assimilable forms for plants; in addition to this, during its development, it generates nitrogen in the biomass and in the water that, when it is incorporated into the soil, provides advantages, increasing fertility and soil structure. In order to contribute to peasant family agriculture, it was proposed to obtain and harness well-expressed nitrogen from the azolla-anabaena symbiosis in conditions accessible to farmers in the lettuce crop. The investigation was carried out in the Vilcabamba parish; in a completely randomized design, with three repetitions; five treatments were tested: testigo, NitrAgua, Urea, Azolla y Azolla plus NitrAgua; data on plant height, number of leaves, stem diameter and weight at 15, 30 and 60 days were collected. The best results were obtained after 60 days with the input of Azolla and NitrAgua biomass: 20 cm plant height, 2 cm stem diameter, 18 leaves per plant and 114 g weight. The joint application of Azolla biomass as a substrate plus irrigation with NitrAgua is an effective biofertilizer since the lettuce crop benefits from a well-expressed nitrogen contribution. The characteristics of the water in the azollario were: pH 7.5, average environmental temperature of 22°C, nitrogen content in the azollario maximum of 130 mg/l.

Key words: Biofertilizer, Fixation the Nitrogen, Azolla, NitrAgua.

3. Introducción

La reposición de nutrientes al suelo, luego de la extracción en los procesos productivos, se torna en una actividad desconocida o de poca importancia por los agricultores, particularmente de aquellos que se dedican a la agricultura familiar campesina, denominados pequeños productores.

La aplicación de abonos por parte de los pequeños productores es cada día, con altos costos debido al desconocimiento y falta de capacitación de otras alternativas al empleo de fertilizantes químicos nitrogenados. Según Coll, (2020) señala sobre el desarrollo en los distintos sectores, existiendo cada vez diversos tipos de agricultura, a más de una serie de innovaciones que dan lugar a nuevos métodos de practicarla; Ahora bien, Montoro et al, (2009) mencionan: “los modelos agrícolas practicados a nivel ambiental contribuyen a la contaminación por el uso inadecuado de plaguicidas, esta condición provoca problemas de salud para las poblaciones que están directamente expuestas a sustancias tóxicas utilizadas para el control de plagas”.

Es importante adaptar, evaluar y cuantificar el cultivo de Azolla-Anabaena, en hortalizas (lechuga) bajo las condiciones y ecosistemas acuáticos presentes en la parroquia, considerando que, el agua almacenada en los azollarios acumula nitrógeno. Y este será distribuido a través del riego para fertilizar los cultivos de perennes y cortos reduciendo con ello el desmedido, inadecuado y dañino uso de agroquímicos, por conocerse que ésta repercute en la salud del suelo, del agua y de los seres vivos. Cárdenas y Navarro et al, (2004) afirman los principales factores tecnológicos asociados al aumento de los rendimientos agropecuarios obtenidos en los últimos tiempos es el elevado uso de fertilizantes, las mejoras genéticas han aumentado el rendimiento de los cultivos, pues se ha demostrado que el uso de fertilizantes en combinación con el riego y la protección química es eficaz.

En contraposición, Montaño, (2021) postula que un nuevo modelo está en auge, la Agricultura Biogénica, que significa generador de vida, en la medida que incluye nitrógeno bien expresado (Nbe) y elementos naturales en su constitución esencial. Es así que la presente investigación muestra la Generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica azolla-anabaena en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la parroquia Vilcabamba.

Objetivo general

Contribuir a la agricultura familiar campesina de la parroquia Vilcabamba con la generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado mediante la simbiosis azolla-anabaena.

Objetivos específicos

1. Producir nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Vilcabamba.
2. Evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

4. Marco Teórico

4.1. La agricultura y la importancia del nitrógeno

La agricultura constituye uno de los sectores primarios en la economía de los países, debido al aporte de alimentos y la generación de plazas de empleo; en este sentido se define como el conjunto de actividades desde la preparación del suelo, manejo de cultivos y la comercialización. Además, aporta a la seguridad alimentaria e influye en el desarrollo de la sociedad; sobre el origen Andrade, (2016) expone: Históricamente la agricultura tuvo sus orígenes alrededor de 15 000 años atrás en la región del suroriente de Asia, que poseía condiciones climatológicas favorables para el crecimiento de cereales: trigo, cebada y centeno. En este periodo el ser humano evolucionó en su forma de vida, pasando del nomadismo al sedentarismo. Alguien observó que las semillas que arrojaban al suelo, podían germinar, crecer y producir alimentos.

Además, sostiene “la agricultura ha atravesado varios cambios hasta que a mediados del siglo XVIII surgió la “revolución agrícola”, que consistía en pasar de una agricultura artesanal y agraria a una industrial y mecanizada, destacándose por el aumento en la producción agrícola”. En este contexto, siglos más tarde surgió la denominada “revolución verde”, con predominio de los fertilizantes nitrogenados.

Morales, (2020) señala que a partir del 2010 la “agricultura alternativa” se ha fortalecido como una forma innovadora de cultivo; por su parte, la “agricultura ecológica” se caracteriza por el cultivo de productos no contaminantes. También se encuentra la “agricultura natural” que optimiza la maquinaria agrícola y todos los recursos que utiliza la agricultura tradicional; la “agricultura orgánica”, que no presenta deterioro en el área cultivada; en este contexto, Montaño (2015) menciona: “actualmente surge otra alternativa de producción, bajo el nombre de “agricultura biogénica”, constituye la era de conocimiento tropical, produciendo nitrógeno natural; el término biogénico significa que genera vida, permitiendo cumplir una de las funciones originarias de la naturaleza”.

4.1.1. Agricultura en el Ecuador

La agricultura en Ecuador representa un sector primario por su aporte económico al PIB, por esta razón desde la Constitución de la República, la agricultura se ha fortalecido como un motor productivo a nivel nacional, permitiendo aprovechar todos los recursos naturales como suelo y condiciones climáticas. Ahora bien, Sánchez, (2020) define a la agricultura en Ecuador como “una principal fuente de empleo e ingresos, debido que el 30 % de la población se dedica a esta actividad agrícola; además, es fundamental para el país

debido a que la población vive y se alimenta de la agricultura". Este sector se lo define como un eje principal en la economía nacional, especialmente en aspectos económicos y la seguridad alimentaria; en este sentido, desde la perspectiva del Ministerio de Agricultura, la productividad agrícola en Ecuador aporta el 8,5% a los ingresos del país, siendo este el sexto sector de aporte en la producción.

El suelo es un sistema natural que permite el desarrollo de todas las plantas gracias a sus propiedades nutritivas; cabe mencionar que se conforma por la superficie de la corteza terrestre que alberga gran diversidad de seres vivos, considerado también como un recursos natural y esencial; no obstante, este sistema ha presentado problemas ambientales, por nombrar la erosión agrícola que se genera debido a su demanda, compactación que son factores asociados al uso de maquinaria agrícola y el uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados ONU, (2015).

La FAO conceptualiza al suelo como el contenido de nutrientes que principalmente son aprovechados por las plantas, por tal motivo, se considera fértil a un suelo cuando su calidad de nutrientes es buena para la plantas que requieren de estos contenidos; por ello, existen macronutrientes que según la FAO, (2013) afirma: "Los macronutrientes son requeridos en el suelo en grandes cantidades para ser aprovechados por los cultivos, su presencia es indispensable para el crecimiento y productividad. Los principales son: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y Magnesio (Mg)" (p. 5). En este contexto, es importante mencionar a los micronutrientes que principalmente son demandados por la planta en cantidades mínimas; sin embargo, son indispensables en el desarrollo de los cultivos; ocasionando un desorden fisiológico de la planta cuando presentan deficiencias; no obstante, mediante niveles adecuados permite el aporte a las plantas con manganeso, hierro, boro, zinc, Molibdeno, cobre, azufre, entre otros.

4.1.2. El Nitrógeno

María Florencia Benimeli et al. (2019) definen al nitrógeno como "un elemento químico esencial para los seres vivos, considerado un macronutriente y también un componente básico de proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos". Este elemento aporta en el desarrollo de la planta y su efecto en la producción vegetal; se lo puede encontrar en las rocas, sedimentos y suelos con un 98% dentro de su estructura química; además oscila entre la atmosfera, en la naturaleza se puede encontrar reservas de nitrógeno, siendo aprovechados en el reino vegetal; de hecho, en el aire se lo puede encontrar en forma molecular o también denominado como gas diatónico constituyendo el 78% de la atmosfera;

entonces, el nitrógeno molecular adquiere una consecución de actividades o procesos como fijación, oxidación biológica con el propósito de disponer su función a las plantas; cabe mencionar que la trasformación del nitrógeno en la oxidación es compleja debido a sus organismos vivos, la fijación biológica (FB), se refiere a una serie de reacciones en las que un organismo de vida libre u otros microorganismos que coexisten con ciertas plantas, especialmente leguminosas, integran la molécula de N en su estructura como componente de varios compuestos.

Resulta claro identificar al nitrógeno como un elemento indispensable en el desarrollo de la planta, especialmente en la composición de ácidos nucleicos y proteínas; además, de otros componentes celulares, brindando un aporte al crecimiento de organismos.

Tabla 1.
Estados de oxidación de los componentes del nitrógeno.

Compuesto	Estado de oxidación
NH_3	-III
N_2	0
N_2	I
NO	II
N_2O_3	III
NO_2	IV
N_2O_5	V

Fuente (García 2011)

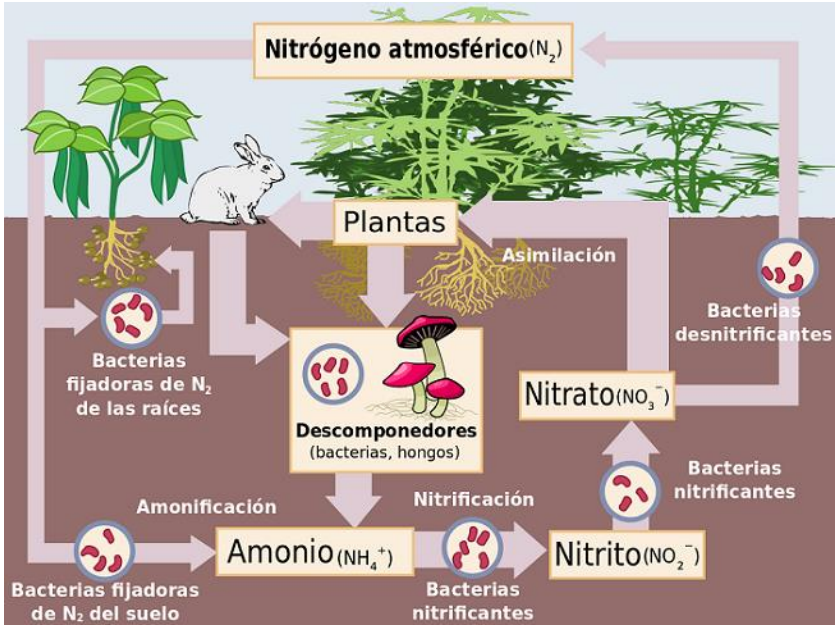
García, (2011) menciona sobre los átomos de nitrógeno que se encuentran en un movimiento constante, estos forman un ciclo del nitrógeno; además, la estabilidad del nitrógeno en ocasiones puede dificultar la combinación con ciertos elementos que presenta dificultades de asimilación por los organismos, tomando directamente el nitrógeno del aire, que permite originar compuestos que pueden incorporarse en las plantas, siendo el punto de partida de un ciclo del nitrógeno, por consiguiente, se puede sintetizar las proteínas mediante los animales herbívoros gracias a sus excrementos para el que nitrógeno se incorpore en el suelo, por tal motivo, este ciclo llega a su fin con la intervención de las bacteria desnitrificantes, estas pueden devolver la cantidad de nitrógeno inorgánico del suelo a la atmosfera.

4.2. Ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno (Figura 1) se lo considera como un ciclo complejo en la naturaleza, puesto que se lo considera como un movimiento del nitrógeno dentro de la atmosfera, hidrosfera, biosfera y la geosfera, para ello se lleva a cabo una serie de procesos químicos, físico y bilógicos que pueden convertir el nitrógeno gaseoso en orgánico para este ser disuelto en la atmosfera. Iñon, (2018)lo define como un “proceso por el cual el nitrógeno

circula y recircula a través del mundo, las tres etapas principales de este ciclo son: Amonificación, Nitrificación y Asimilación".

Figura 1.
Ciclo del Nitrógeno en la naturaleza.



Fuente Iñon, (2018)

Las plantas pueden tomar el amonio y el nitrato a través de las raíces para la síntesis de sus proteínas y los ácidos nucleicos. Ahora bien, el ciclo del nitrógeno es de suma importancia, especialmente en los organismos vivos; biológicamente es utilizable, además de ser puntual en la elaboración ADN, proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y esencial para el desarrollo productividad de la agricultura; en este sentido. Álvarez, (2021) complementa, las plantas e incluso el ser humano son incapaces de fijar el nitrógeno a partir de su forma gaseosa (N_2), a pesar de ser necesario para producir aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y ADN.

Ube, (2021) afirma: "En la agricultura, el nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetal y la alta productividad de los cultivos; la absorción se produce durante el desarrollo foliar y la floración" (párr. 3). En tal sentido, los nutrientes minerales determinan en forma directa e indirecta el crecimiento de las plantas, especialmente el nitrógeno en donde los suelos son carentes cuando existe una limitada presencia de este elemento, conllevando a una baja producción; en este sentido, es importante mencionar que una planta con deficiencias de nitrógeno presenta una coloración amarillenta en las hojas y tallos; además, del deficiente desarrollo y debilidad de la planta. Sin embargo, cuando existe disponibilidad de nitrógeno el tallos y hojas de la planta crece normalmente. En Ecuador la flora y fauna, además de la ganadería utiliza un 3% de nitrógeno.

En relación a las especies comunes del nitrógeno en el ambiente es necesario destacar que el aporte de algunas bacterias y cianobacterias es esencial en los cultivos, desde esta perspectiva, Ortega, (2012) manifiesta**:** el nitrógeno molecular puede ser asimilable, al romper la unión de sus enlaces por medios enzimáticos y a producir compuestos nitrogenados, que pueden ser aprovechados por las plantas, que forman relaciones simbióticas con las cianobacterias.

4.3. Fertilizantes

Los fertilizantes son sustancias sintéticas e inorgánicas que se incorporan al suelo para complementar los macros y micro nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas; al respecto, Larrazabal, (2020) menciona que el uso de fertilizantes ha generado una expansión en el mercado mundial y se encuentran en estado sólido o líquido. El sector industrial ha creado un sinnúmero de fertilizantes nitrogenados: urea, amoniaco, fosfonitrato, ureico amoniacal, nítrico, sulfato amónico y nitrato de amonio.

Pazos-Rojas et al, (s. f.) mencionan, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados ha dado impactos positivos en el rendimiento de cultivos; sin embargo, afecta a la salud del productor y su economía debido al efecto contaminante y a sus elevados costos. Mientras que Camacho, (2017) manifiesta, los fertilizantes tienen más acogida con la aparición de la "revolución verde"; Infoagronomo, (2021) advierten sobre la crisis de fertilizantes, pues con la dificultad energética actual, la elaboración de fertilizantes químicos, ha incrementado los costos de producción.

Alcántar & Trejo, (2009) mencionan: "La Urea ($CO(NH_2)_2$) es la mayor fuente de nitrógeno procesado (concentración del 46 % de N) y se obtiene de la síntesis del amoníaco. La aplicación en cultivos requiere de buenas prácticas agrícolas, para evitar pérdidas por evaporación y lixiviación". Yara Latinoamérica, (2020) confirma el proceso de ingreso del nitrógeno ureico a la planta en forma de amonio o nitrato; explicando una serie de transformaciones y a su vez las desventajas que tiene al desprender gases (CO_2) contaminantes causantes del efecto invernadero, desprendimiento de amonio por volatilización, lo que significa pérdida parcial del nitrógeno presente en la urea.

Intagri, (2017) detalla los principales fertilizantes nitrogenados (Tabla 2) utilizados en la agricultura y advierte el aumento de los costos, las precauciones por el cuidado al medio ambiente y el interés en mejorar el uso eficiente.

Tabla 2.
Principales fertilizantes nitrogenados.

Fertilizante	Contenido de N (%)	Características
Amoniaco anhidro	82	Es un líquido a alta presión que puede ser aplicado en bandas profundas antes, o después de la siembra, siempre y cuando no exista contacto directo con la semilla.
Urea	45	Es una fuente cuyo nitrógeno se vuelve disponible para la planta cuando se convierte en amonio (NH4+) y luego en nitrato (NO3-), puede utilizar sólo o en mezclas con otros fertilizantes secos o líquidos.
Sulfato de amonio	21	Es una fuente soluble de fácil disponibilidad de nitrógeno y azufre (S). El sulfato de amonio es un fertilizante acidificante, por lo que su uso es recomendable en suelos alcalinos.
Nitrato de amonio	34	Su principal característica es ser un fertilizante que proporciona el nitrógeno en las dos formas en la que es absorbido por las plantas: nitrato (NO3-) y amonio (NH4+).
Fosfonitrato de amonio	33	Es el nitrato de amonio anteriormente mencionado, pero ahora con un contenido de 33 % de nitrógeno y estabilizado con 3 % de fósforo.
Fosfato monoamónico	11	Es un fertilizante granular que se aplica a menudo sólo o con otras fuentes.
Fosfato diamonico	18	Es un fertilizante sólido altamente soluble.
Nitrato de potasio	13	Es un fertilizante de alta solubilidad que aporta dos nutrientes: nitrógeno y potasio. Es considerado un fertilizante de especialidad.
Ácido nítrico	22	Es un excelente producto que sirve para ajustar el pH de las soluciones nutritivas utilizadas en fertirriego o hidroponía.

Fuente (Intagri, 2017)

4.3.1. Uso de Fertilizantes en el cultivo de Lechuga

Martínez Barreno, (2019) en la investigación sobre “Evaluación del biosol generado en la producción de biogas, como biofertilizante en el cultivo de lechuga” reporta alturas de planta 15,3 cm y peso del follaje de 462,4 g/planta con la aplicación de biosol de 2kg/m2; en contraste de 7,03 cm y 12,8 g/planta con la aplicación de fertilización convencional.

Ravelo Navarrete, (2019) en la investigación de Respuesta agronómica de la lechuga (Lactuca Sativa l.) Con dos tipos de fertilizantes, químico y orgánico (Phos-Pro) y (Biofol NPK+Algas marinas) a diferentes dosis, (1,2 y 1,6 ml/ha) y un tratamiento testigo absoluto, puesto que no se suministró ningún fertilizante a este tratamiento, se utilizaron 180 plantas. Con un promedio de largo de hoja de 17.7 cm con la utilización de los fertilizantes y en el

testigo de 15.3 cm, se obtuvo como promedio general de 16,29 cm. La altura de la planta tuvo mayor promedio con 22,50 cm, con la aplicación del producto orgánico, sin embargo, con el fertilizante químico presentaron promedios con 20,42 cm, en relación al diámetro del tallo un promedio de 0,89 cm, el peso de la planta se obtuvo un peso de 59,6g, con la dosis de 1.6 ml/ha con la dosis de 1.2 ml/ha 66,7g, mientras que el testigo fue el de menor peso con 40.5g.

4.3.2. Fijación biológica del nitrógeno

La fijación del nitrógeno se refiere a la oxidación o reducción del nitrógeno para formar amonio, nitrito, nitrato u óxidos que pueden ser asimilados por las plantas; García, (2011) postulan, "La fijación biológica de nitrógeno es un proceso llevado a cabo por algunos microorganismos capaces de aprovechar directamente el N_2 del aire a través de bacterias, formando estructuras radiculares resultantes de la simbiosis entre la planta y la bacteria" (p. 6). Dicho proceso, además de permitir el uso del nitrógeno atmosférico, contribuye a la reducción de la degradación del suelo y puede ser llevado a cabo por microorganismos en simbiosis con plantas o en vida libre. Montaño, (2020) se refiere a una segunda revolución verde con la fijación biológica de nitrógeno, una agricultura saludable generada a través del cultivo de azolla, helecho acuático que en simbiosis con la cianobacteria anabaena genera el denominado "nitrógeno bien expresado" (N_{be}).

Mayz Figueroa, (2004) sostienen, "entre los microorganismos capaces de realizar la fijación biológica de nitrógeno se encuentran actinomicetos, bacterias y algas verde-azules que viven de manera libre o en asociaciones"; aspecto corroborado por Urzúa, (2005).

Mora et al. (2017) manifiestan para que los organismos puedan incorporar a su metabolismo el nitrógeno, éste necesita encontrarse en forma inorgánica no gaseosa ni orgánica; por ejemplo, en moléculas de amoniaco (NH^3), nitrato (NO^{3-}), aminoácidos, proteínas, etc. Las cianobacterias, son capaces de capturar y transformar el dinitrógeno mediante una reacción química a partir de la cual rompen los triples enlaces que unen a los dos átomos de nitrógeno e incorporan hidrógeno para formar amoniaco, compuesto inorgánico que puede ser aprovechado fácilmente por los organismos; proceso conocido como Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), el cual consiste en la transformación de N_2 (nitrógeno molecular) en amoniaco (NH^3), mediante procesos enzimáticos. El amoniaco así formado, puede reaccionar posteriormente y ser ionizado para convertirse en amonio (NH_{4+}) o ser oxidado y transformarse en nitratos (NO^{3-}) y de esta forma poder ser aprovechado por los organismos. la FBN se lleva a cabo cuando, en el agua, la concentración de nitrógeno inorgánico es muy baja; entonces, en los organismos fijadores, la enzima nitrogenasa entra en acción. La FBN depende de la energía que proporciona la luz del sol, pues es necesaria para llevar a cabo la fotosíntesis, la cual genera adenosín trifosfato (ATP), molécula que almacena y transfiere energía en todos los procesos metabólicos de los seres vivos (incluso

el humano), la cual se utiliza como fuente de energía para romper el triple enlace de la molécula de N_2 en la FBN. Para que la enzima nitrogenasa actúe, es indispensable la ausencia total de oxígeno, ya que su presencia inhibe la actividad de la enzima; debido a esto, las cianobacterias han desarrollado algunas estrategias, como la formación de células especializadas, denominadas heteroquistes o heterocistos, y el bloqueo de fijación de nitrógeno en medios acuáticos la formación de 0_2 dentro de esta célula. Además, algunas cianobacterias han desarrollado barreras físicas de protección para impedir la difusión del O_2, o la eliminación metabólica de éste, mediante la elevación de la respiración.

4.3.3. Nitrógeno bien expresado

Específicamente, las proteínas son moléculas grandes y complejas formadas por una o más cadenas de aminoácidos que se pliegan generando una estructura tridimensional (3D), en los vegetales intervienen en diferentes funciones: enzimáticas, de transportación, catálisis de reacciones bioquímicas, procesos de fotosíntesis, respiración, síntesis de azúcares almidones y otros compuestos (Mengel & Kirkby 2000).

4.4. Agua para riego

El agua que se aplica para el desarrollo de los cultivos puede tener un origen diverso: ríos, lagos o corrientes continúas de aguas naturales, pozos, entre otros. El agua para riego debe reunir requisitos mínimos, como la calidad expresada en concentración de iones (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+}) y cationes (CO_3^{2-}, Cl- y SO_4^{2-}), aniones y otros de menor proporción, como el B^{3+}, I^{-} y NO_3^{-}, la conductividad eléctrica (CE) también es útil para determinar la concentración total de sales solubles; la CE y el Na^{+} son dos parámetros fundamentales que definen la aptitud del agua para riego. El alto contenido de sales en el agua de irrigación genera un aumento de la presión osmótica en la solución del suelo, disminuyendo la adsorción de agua por parte de las plantas (Carabalí et al. 2019).

Guilcamaigua y Chancusig, (2019) define la calidad de agua por algunas de sus características químicas, físicas y biológicas, en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador, se encuentra los valores de referencia para parámetros de calidad de agua para uso en actividades agrícolas y pecuarias, otra forma de evaluar es partir de los criterios de calidad de agua de la OMS (Tabla 3).

En relación a los requerimientos de agua para riego se establece, la cantidad de líquido depende de ciertos factores como las necesidades hídricas de los cultivos y la cantidad de agua disponible en forma natural, (Quinteros 2019) señala “en las aguas naturales, de las cuales se toma para riego, pueden presentarse contaminantes de naturaleza inorgánica,

especialmente fertilizantes y metales pesados los cuales tienen importancia por su toxicidad para los organismos vivos".

Una clasificación de agua para riego se basa en el efecto sobre las propiedades de la solución al entrar en interacción con el suelo, se debe verificar la calidad del agua de la fuente de agua para monitorear si existen cambios que puedan afectar negativamente a los cultivos, pues tiende a incrementar la concentración de sales, sodio y/o bicarbonatos Salas, (2015).

Tabla 3.
Criterios de calidad de agua de la OMS.

Parametro	Expresado	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y grasas	Pelicula/visible	mg/l	Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,00
Arsenico	As	mg/l	0,10
Berilio	Be	mg/l	0,10
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,00
Colbalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,20
Coliformes	NMP	NPM/100ml	1000
Cromo	Cr^2	mg/l	0,10
Fluor	F	mg/l	1,00
Hierro	Fe	mg/l	5,00
Huevos de parasitos		mg/l	Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,50
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,20
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Niquel	Ni	mg/l	0,20
Nitritos	NO_2	mg/l	0,50
Oxigeno disuelto	Od	mg/l	3,00
pH	Ph	mg/l	5 - 9
Plomo	Pb	mg/l	5,00
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO_4^2	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,10

Fuente (Guilcamaigua & Chancusig 2019)

Existen varios parámetros y propiedades químicas que determinan la calidad del agua de riego, entre ellos:

- **Dureza del agua**

Según Olivieri, (2020), la dureza del agua es básicamente la suma de las concentraciones de calcio y magnesio del agua, expresadas en partes por millón de $CaCO_3$, El calcio y el magnesio son nutrientes esenciales para las plantas. Cuando la dureza es alta, puede

precipitarse las sales de magnesio y calcio en los sistemas de riego; sin embargo, si la dureza es baja, puede ocasionar corrosión en el sistema de riego,

- **Salinidad del agua**

La salinidad del agua se mide como TDS (sólidos disueltos totales) y como conductividad eléctrica (concentración de sales disueltas en el agua). Un nivel de salinidad demasiado elevado reduce la capacidad de la planta de absorber el agua lo que implica disminución del rendimiento, marchitamiento, hojas quemadas y otras afectaciones.

- **pH**

El potencial hidrógeno es importante en el riego, debido a su influencia en la solución de sales minerales; la mayoría de nutrientes están disponibles a pH de 5,5 a 6,5.

- **La alcalinidad del agua**

La alcalinidad del agua es la medida de la capacidad del agua de resistir a las variaciones del pH. Se calcula como la suma de ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonatos (HCO^3) y carbonatos ($CO_3{}^2$) en el agua.

- **RAS**

La relación entre sodio, calcio y magnesio ayuda a estimar el potencial del sodio en el agua para absorber las partículas de suelo; en relación al calcio y al magnesio, valores superiores a 10 pueden ocasionar la pérdida de capacidad y estructura de infiltración del suelo, particularmente en los terrenos que tienen una concentración relativamente alta de arcilla.

Proain, (2020) señala, cada uno de los parámetros son necesarios para clasificar el agua para determinar las técnicas apropiadas para su manejo; en este sentido Monge (2017) manifiesta el agua es apta para riego agrícola cuando garantice un rendimiento óptimo, no produzca efectos perjudiciales al suelo.

En la Tabla 4, se presenta los parámetros y valores normales.

Tabla 4.
Valores normales en agua de riego.

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores normales en agua de riego
Salinidad			
Cationes y aniones			
Sodio	Na^2	meq/l	0-40
Calcio	Ca^{2+}	meq/l	0-20
Cloro	Cl^-	meq/l	0-30
Magnesio	Mg^{2+}	meq/l	0-5
Carbonatos	CO_3^{2-}	meq/l	0-0’1
Sulfatos	SO_4^{2-}	meq/l	0-20
Bicarbonatos	HCO_{3-}	meq/l	0-10
Contenidos en sales			
Total, sodios en solución	TSD	mg/l	0-2000
Conductividad eléctrica	CE_4	dS/m	0-3
Nutrientes			
Amonio-nitrógeno	NO_4 -N	mg/l	0-5
Nitrato-nitrógeno	NO_3 -N	mg/l	0-10
Potasio	K^+	mg/l	0-2
Fosfato-fosforo	PO_4 -P	mg/l	0-2
Varios			
Acidez o basicidad	pH	1-14	6-8’5
Boro	B	mg/l	0-2
Relación de absorción de sodio	RAS	meq/l	0-15

Fuente (Olivieri, 2020)

4.4.1. Anabaena

Anabaena pertenece al dominio Bacteria, propuesto por Carl Woese en 1990, al igual que otras cianobacterias, pueden realizar procesos de fijación de nitrógeno en ausencia o presencia de luz; incluso cuando son cultivadas en ausencia de nitrógeno estas captan dióxido de carbono y realizan fotosíntesis Gómez,(2019)

Anabaena, son organismos aeróbicos que son capaces de capturar la energía solar y usarla en la producción de compuestos orgánicos, algunas funcionan como simbiontes, Bonilla et al., (2009); pueden asociarse simbióticamente con hongos, musgos y helechos Rosales-Loaiza et al., (s. f.)Aguilar, (2008), describe las condiciones que favorecen el desarrollo de la Anabaena (Tabla 5).

Tabla 5.
Condiciones favorables en el desarrollo de la cianobacteria Anabaena.

Parámetro	Descripción
Temperatura	15 a 22 ºC,
Intensidad de luz	Menor que el de las algas.
Absorción de nutrientes	En el día mayor tasa de absorción de N y P.
Rango de pH	8 – 9
Método más efectivo para la aireación	Agitación
Salinidades	15 g/L

Fuente (Aguilar, (2008)

4.4.2. Azolla

Según Bracamonte, (2015) la palabra azolla, tiene origen griego, proviene de los términos *azo* y *ollyo* (muerta por sequía); pertenece al reino *Plantae*, división *Pteridophyta*, clase *Pteridopsida*, orden *Salvanialess*, familia *Azollaceae* considerados como organismos de fácil propagación, adaptándose a diferentes altitudes y climas; género Azolla, se divide en dos subgéneros: *Azolla* y *Rhizosperma*; se conocen cinco especies de Azolla ampliamente distribuidas a nivel mundial: *A, caroliniana, A, filiculoides, A, microphylla, A, pinnata, A, mexicana, A, microphylla*; esta distribución ha sido influenciada por el hombre, por la introducción indiscriminada del helecho de un país a otro y dentro de cada país a diferentes territorios.

Montaño, (2020) la define como: “una planta milagrosa por sus propiedades beneficiosas para la agricultura, debido a su alto contenido de nitrógeno que remplaza a los mejores fertilizantes elaborados a base de químicos”; Aguiar-Arguello, (2020) afirma, es un organismo natural importante, a pesar de ser considerado una maleza en algunos países, tiene características que benefician en el campo agrícola *in situ*, debido a su naturaleza simbiótica con cianobacterias, a su capacidad de adaptación y absorción de nutrientes que la convierten en un valioso recurso.

Portela, (2017) y Aldás-Jarrín et al.(2016) mencionan, es un género de helechos de aspecto poco frecuente, a diferencia de los helechos comunes, son diminutas y crecen en colonias flotantes sobre masas de agua.

Azolla tienen la capacidad de asociarse con un organismo todavía más pequeño, que no se ve a simple vista, pero que habita en las raíces; la cianobacteria *anabaena azollae,* es un organismo microscópico que absorbe el nitrógeno, la planta lo almacena y usa para su metabolismo esencial Rodríguez et al., (2019)

4.4.3. Asociación simbiótica Azolla-Anabaena

La asociación simbiótica *Azolla-Anabaena* fue descubierta en la época de los 70 por Strasburger; en este sentido, Sevillano García et al.(1986) afirman “es la única simbiosis conocida entre una *pteridofita* y una *cianofícea* y está ampliamente distribuida en aguas dulces tropicales y templadas de todo el mundo”. Por tal motivo, estos autores postulan que todas las especies de *Azolla* que se han investigado contienen un alga azul verdosa que se la identifica como *Anabaena azollae*. El simbionte extracelular que principalmente habita en ciertas cavidades que se forman por hojas de helechos, contienen protección química y física; además, aportan con cierta cantidad de nutrientes minerales compuestos por energéticos; en este sentido, *Azolla* dispone de sustancias nitrogenadas sintetizadas por la cianofícea.

Mendez et al, (2018) *Azolla-anabaena* funciona mediante la acogida de la cianobacteria *Anabaena* en las cavidades de las hojas de azolla; la cianobacteria por medio de sus células heterocities, captan el N_2 de la atmósfera y lo reducen a (NH_4^+), que es una forma en la que los organismos autótrofos, es decir las plantas, logran asimilarlo. En relación a la morfología del azolla, tiene hojas triangulares y a veces poligonal, se las puede caracterizar por su flotación en la superficie del agua, su color es verdoso, dando la apariencia de alfombra con un color verde oscuro a rojizo, El diámetro de las hojas varía entre 1,0 a 2,5 cm en especies pequeñas, como el *Azolla pinnata* y hasta 15 cm en el caso de *Azolla nilótica*.

4.4.4. Condiciones del Hábitat

Para que *Azolla* se desarrolle y mantenga el sistema simbiótico en buenas condiciones, es necesario que se cumplan los siguientes factores:

- Temperatura: Puede soportar un rango bastante amplio, pero no resiste temperaturas inferiores a 0°C o superiores a 35°C.
- pH entre 6 y 7 son los más adecuados.
- Agua: Es un factor importante debido a que el helecho es sensible a la desecación.
- Iluminación: No presenta problemas con respecto a la luz; en condiciones sombreadas Azolla mantiene su color verde natural, mientras que con la luz directa del sol sus hojas llegan a tornarse de color rojizo debido al pigmento de antocianina.
- Reproducción: Azolla duplica su peso cada 17 días en promedio y durante 3 meses que es su ciclo de vida siempre que las condiciones medio ambientales sean favorables (Monteros, 2011).

Montaño, (2021) y Ruiz, (2015) señalan, la multiplicación de *Azolla* se realiza por esporas, como es propio de los helechos; y por división espontánea (brote lateral) de las

plantas adultas, la rama más grande tiende a dividirse, echando sus propias raíces y convirtiéndose en una nueva planta.

La distribución de *Azolla* en Ecuador (Tabla 6) va desde los 0 – 2300 msnm, en Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos, presentando también una variedad de especies adaptadas a los distintos pisos climáticos Alvarado Díaz, (2017).

Tabla 6.
Distribución geográfica del género Azolla en el Ecuador.

Especie	Distribución/Provincia
Azolla caroliniana	Guayas
Azolla filiculoides	Cotopaxi, Imbabura, Napo, Loja
Azolla mexicana	Cotopaxi
Azolla microphylla	Guayas, Galápagos

Fuente (Alvarado Díaz, 2017).

4.4.5. Cultivo de Azolla-Anabaena

El azollario se llena con cualquier tipo de agua, exceptuando las aguas marinas, debido a que la Azolla no es tolerante a la excesiva salinidad, una vez que se siembra (se arroja sobre el agua) su cosecha se da de 15 a 20 días, si no se realiza en ese tiempo, la azolla empieza a perder su contenido nutricional.

Aguiar-Arguello, (2020) señala, el cultivo de *Azolla-Anabaena* se propaga en áreas a cielo abierto con radiación solar, produce de 15 a 25 kg/semana en una superficie de 12 m^2. En condiciones óptimas con temperaturas de 20 a 22°C es capaz de duplicar su biomasa cada tres días *El Azolla filiculoides*, (2008) . Paggi & Mansour, (2017) registraron que la tasa de crecimiento es lineal de 1 kg/m^2, luego de esto se proyecta exponencialmente con valores de 8 kg/m^2 hasta lograr un espesor mayor a 1 cm.

El helecho posee propiedades nutritivas con macro y micronutrientes,Méndez et al(2018) ; Monteros, (2011) (Tabla 7).

Tabla 7.
Composición química de Azolla.

Nutriente	Méndez et al. (2018)	Monteros, (2011)
	%	%
Nitrógeno peso fresco	4,0-5,0	
Nitrógeno peso seco	0,2-0,3	4-5
Fosforo	0,5-0,4	0,5
Potasio	2,0-4,5	1-2
Calcio	0,4-1,0	0,5
Magnesio	0,5-0,65	0,5
Hierro	0,6-0,22	0,1

Fuente (Méndez et al. 2018) ; (Monteros, 2011)

4.4.5.1. Ventajas y desventajas

Con respecto a las ventajas y desventajas Delgadillo-López et al., (2011) manifiestan, "el cultivo se realiza *in situ* y *ex situ*, es una práctica sustentable, funciona tanto en contaminantes orgánicos como inorgánicos, económico, no consume energía, se realizar a base de prácticas agrarias convencionales". Resulta importante deducir que no daña al ambiente, permite recuperar propiedades nutricionales del suelo ya que forma una cubierta verde, contribuye a un cambio climático sustentable.

En Ecuador el uso de azolla se ha vuelto novedoso, debido a las distintas investigaciones en varias provincias, donde se ha evidenciado exitosamente que es posible producir y aplicar *azolla* a los cultivos de manera sustentable y lo más importante de forma orgánica; ESPOL-ICQ, (2004) manifiesta que existen trabajos preliminares como los reportados por Ramírez (1986); Icaza (1991); Palacios, (1992) que señalan la presencia de *azolla* nativa en la Costa y sus bondades como abono verde; Monteros, (2011) investigaron la relación que sucede en el agua de cultivo de este helecho con la fijación de nitrógeno atmosférico en forma de nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3), su crecimiento y productividad en los ecosistemas acuáticos de la zona de Cayambe; probó las especies *A, mexicana, A, caroliniana* y *A, filiculoides*, y la cosecha se realizó a partir de los 12 días, la fijación de nitritos y nitratos en el agua de cultivo no se vio influenciada por la presencia de *azolla*, deduciendo que el verdadero potencial de este helecho se encuentra en su materia vegetal como fuente de proteína.

Cadena Jojoa, (2013) reportan el efecto de azolla en la productividad y mejoramiento del suelo en Imbabura; evaluaron tres abonos orgánicos, se evidenció que *azolla* sp, tuvo alto contenido de nutrientes en relación con el compost y humus, En los análisis de suelo realizados después del cultivo se determinó, con la aplicación de *Azolla* sp, el suelo mejoró en cuanto a la retención de humedad al igual que en la calidad de nutrientes.

Aldás-Jarrín et al., (2016)**,** estudió el efecto biofertilizante de *azolla-anabaena* en el cultivo de maíz; los mejores resultados se presentaron con *azolla* en estado seco y fresco en relación 1:1, logrando a los 90 días una altura de planta de 66,1 cm y 2,08 % de nitrógeno.

Rivera, (2020) señalan, a medida que la población mundial crece y los sistemas de producción continúan deteriorándose, es imprescindible el uso de alternativas alimentarias amigables con ambiente. Además, se puede utilizar en procesos de tratamiento biológico para eliminar los nutrientes de las aguas residuales de piscifactorías; al respecto, se planteó determinar el impacto de las condiciones ambientales controladas en el crecimiento de *azolla* sp, a través de mediciones de biomasa total, mostrando el potencial de adaptación y producción de agua del helecho. Para ello, en el cantón Pasaje (El Oro) se utilizó cuatro tratamientos que involucraron el uso de un sustrato orgánico húmedo bajo agua y bajo condiciones establecidas de sombra o luz; se llegó a la conclusión que se propaga fácilmente en ambientes húmedos y altas temperaturas, alcanzando un incremento en peso donde se usó sustratos orgánicos con una lámina de agua a campo abierto, con valores de 230,5 g.

Alvarado Díaz, (2017) menciona, *Azolla* como abono orgánico rico en nitrógeno es factible; se usa como biofertilizante en varios países de América y Asia, mayormente en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) por inundación y puede llegar a producir 1 200 kg N/ha. A*zolla* aporta más de la mitad del nitrógeno necesario que requiere el cultivo de arroz; la biomasa de azolla es equivalente a la concentración del fertilizante al igual que su contenido de proteína.

Robledo, (2021) manifiesta, el cultivo de *Azolla-Anabaena* tiene altas potencialidades alimenticias en ganado porcino, bovino y avícola; ha realizado estudios implementando el cultivo en un sistema acuático en Colombia, cuya fuente de desarrollo del helecho es el excremento de las garzas, un requerimiento adicional es dejar libre un 30 % del espejo de agua para su efectivo crecimiento; como resultado de la investigación los ganaderos con una superficie de 500 m^2 producen 1 000 l de *azolla*, equivalente a 500 kg/día en materia seca que se administran al ganado.

Vinueza Albán, (2012) El cultivo de azolla dio como resultados un crecimiento con factor de 1/15.86 lo que significa que tiene la capacidad de duplicar su proporción en 15.86 días.

Varias son las investigaciones realizadas en el campo pecuario, específicamente en la alimentación de peces, entre las que se menciona a Santos Rivas, (2019), Namiq, 2020), Bharali et al., (2021).

4.5. Cultivo de lechuga

La lechuga es considerada un cultivo hortícola creciente, una verdura popular por su color, textura y aroma, es un cultivo anual que se puede cultivar en zonas húmedas, frías, de tierras bajas y altas Hidayat et al. (2022).Para La Rosa Villarreal, (2015) el cultivo de las hortalizas, procede de la India, se remota a la antigüedad de 2 500 años, mientras que Cervantes, (2011) postula que la duración del ciclo del cultivo depende de la época de siembra, y a campo o bajo cobertura plástica, el periodo puede ser corto con temperaturas más altas, una situación promedio sería entre 70 a 80 días siendo sus extremos de 50 a 100 días. La distancia entre surcos es de 40 a 50 cm y entre plantas 25 a 35 cm, dependiendo la topografía del terreno (Noreña et al., s. f.); se estima que tiene una etapa de plantación, de entre 4 y 5 semanas, previo al trasplante; y un período en campo que oscila entre 6 a 12 semanas, la clasificación taxonómica de la lechuga (*Lactuca sativa*), se presenta en la Tabla 8 León Cayo, (2015).

Angulo, (2020) Lechuga *Batavia* es sólo una variedad dentro de la especie *Lactuca sativa.* (Bou, 2019) Se puede definir como un brote redondo y hojas sueltas y rizadas. Sus hojas son bastante llamativas y dependiendo de la variedad pueden ser de color más intenso o verde más claro.

Tabla 8.
Clasificación taxonómica de la lechuga (Lactuca sativa L.*).*

Reino	**Vegetal**
División	*Macrophyllophita*
Subdivisión	*Magnoliophytina*
Clase	*Paenopsida*
Orden	*Asterales*
Familia	*Asteraceae*
Genero	*Lactuca*
Especie	*Sativa*

Fuente (León Cayo, 2015)

Bogotá, (2015) mención, se cultiva desde 1 800 a los 2 800 msnm; temperatura de 15 a 18°C, humedad relativa 68 a 70 %, requerimiento hídrico de 250 a 300 mm; suelo franco-arcilloso y franco-arenoso y pH de 5,7 y 6,5.

Los requerimientos del cultivo en condiciones normales son nitrógeno 90 kg/ha, fósforo 35 kg/ha y potasio 160 kg/ha (Tabla 9).

Tabla 9.
Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga.

N	15-20 g/m^2	150-200 kg/ha
P2O5	10-20 g/m^2	100-200kg/ha
K2O	20-30 g/m^2	200-300kg/ha
CaO	5-10 g/m^2	50-100 kg/ha
MgO	4-8 /m^2	40-80kg/ha
S	1-3 g/m^2	10-30 kg/ha

Fuente (Bogotá, 2015)

Salinas y Toapanta (2014) reportan, el 65 %, de nutrientes son asimilados por la planta en la etapa vegetativa; la lechuga obtiene todo el nitrógeno del suelo por absorción de las raíces en forma iónica, preferentemente como nitrito ($N0_3^-$), utilizado por la planta para sintetizar aminoácidos, proteínas, clorofila, ácidos nucleicos y enzimas, Rincón, (2008) menciona: “El exceso de N en la fase de crecimiento de la lechuga origina un crecimiento desordenado, con hojas excesivamente grandes y frágiles que dificulta el manejo” (p, 3); se recomienda fertilizar el cultivo con 100 y 200 kg por ha de N disponible en la zona radical, por su parte, Aruani et al., (2008) afirman, el riego en esta hortaliza debe ser profundo y no frecuente; por lo general, se debe regar seis veces entre el trasplante y la cosecha, el primero se hace con el trasplante. La cantidad de N disponible para la planta depende directamente del manejo del agua.

La producción hortícola en Ecuador se proyecta con éxito en mercados locales e internacionales, debido a su reconocida calidad, lo que motiva a los agricultores a incrementar la producción de hortalizas, con productos no contaminados, inocuos y libres del efecto nocivo de residuos de productos químicos. La lechuga constituye un importante componente en la dieta alimenticia de un gran sector de la población Nacional, y fuente de trabajo e ingresos económicos en el área rural interandina; siendo las Provincias de Tungurahua y Chimborazo con 3 632 y 2 125 ha las mayores productoras; seguidas de Pichincha Azuay, Carchi, Loja, Imbabura y Cañar en su orden, con menor superficie en cultivo Pineda Ortiz, (2011).

4.5.1. Requerimientos de nutrientes en lechuga.

Medina, (s. f.), establece las necesidades por hectárea del cultivo de lechuga durante su ciclo son de 190 kg de N; 150 kg de P_2O_5 y 275 kg de K_2O, repartidos entre los abonados de fondo y cobertera según se observa en la Tabla 10.

Tabla 10.
Requerimientos de nutrientes en lechuga.

Abonados	N(Kg/ha)	P_2O_5 (Kg/ha)	K_2O (Kg/ha)
Fondo	40	70	75
Cobertera	150	80	200

Fuente (Medina, S. F.)

El desarrollo y rendimiento de la planta está influenciado por la aplicación de fertilizantes, se recomienda utilizar 25 – 30 kg de N y K y 90 kg de P/ha. En suelos arenosos y franco arenosos la dosis recomendada es 40 – 50 kg de N y 75 – 100 kg de P y K / ha, en franco arcillosos 25 kg de N y K y 50 – 75 kg de P / ha; sin embargo, la fertilización debe depender de la disponibilidad de nutrientes y el estado de fertilidad del suelo con relación a los nutrientes principales (Vanegas et al,, 2010, p, 13), En la Tabla 11 se visualiza valores del requerimiento nutricional de lechuga Eda, (2009).

Tabla 11.
Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga (Lactuca Sativa L.).

Elemento	Kg/ha	meq/l
N / NO^{3-}	203,00	100-150
P_2O_5 / P	57,00	25-40
K_2O / K	370,00	100-150
Ca	176,00	100-150
Mg	51,00	20-40
B	0,52	0,3-0,6

Fuente (Eda, 2009) (*SMEAP*, 2020).

Las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio, varía según la estación de crecimiento, manejo anterior del suelo y disponibilidad de nutrientes del suelo, la recomendación de fertilización antes del trasplante con N-P-K para lechuga según la estación de crecimiento se visualiza en la Tabla 12 (Sierra,2013).

Tabla 12.
Requerimientos nutricionales según la estación del clima.

Nutriente	Invierno	Primavera y Otoño	Verano
		Kg/ha	
N	50	40	35
P	90	70	50
K	0	0	0

Fuente (Sierra,2013).

Cedano, (2017) determinó la mejor dosis de fertilización nitrogenada para obtener el mayor rendimiento y calidad de Lactuca sativa L, híbrido Raider plus, los tratamientos utilizados fueron: testigo, 80 kg de úrea, 80 kg de nitrato de amonio y 80 kg de sulfato de

amonio; destacando el tratamiento con 80 kg de nitrato de amonio con un rendimiento de 32335,78 kg/ha y la mejor calidad comercial de Lactuca sativa L, híbrido Raider plus.

Ricardo, (2019), investigó el comportamiento agronómico de un cultivo protegido de lechuga hidropónica cv, Crespa sometida a tres soluciones nutritivas: Hoagland/Arnon, Sonneveld/Voogt y Steiner; los resultados indican que, bajo los tres niveles de fertilización, como promedio de las cuatro épocas de plantación, las plantas alcanzaron 131,8 g por debajo de los 150 g considerado el peso comercial, la formulación fertilizante Hoagland y Arnon alcanzó los mejores resultados en todas las variables evaluadas con 142,8 g/planta, 23 hojas/planta, 22,2 cm de largo de hoja, 6,77% y 4,88% de materia seca foliar y radicular.

Ghifari, (2021) probó un paquete de fertilizante hidropónico con 16 ingredientes sintéticos (macro y micro nutrientes); en las que utilizó POC (Fertilizante Orgánico Líquido) en AB Mix 800 ppm/control, orina de conejo, extracto de azolla, orina de cabra, orina de vaca, residuos vegetales cada uno con una concentración del 10%; los resultados fueron favorables para el extracto de azolla.

Álvarez et al., (2007) emplearon dos tratamientos: un control e incorporación de Azolla como abono verde a razón de 2 kg/m2. Los resultados obtenidos mostraron que la incorporación del helecho reduce los daños por nematodos fitoparásitos y se incrementan los rendimientos en pepino, remolacha, zanahoria, tomate, acelga y lechuga. En este último cultivo se comprobó que las agallas en las raíces se redujeron durante dos cosechas consecutivas.

Castillo & Mario, (s. f.) Al comparar el sistema hidropónico y el sistema convencional en referencia al peso por planta, la lechuga del sistema convencional alcanzó mayor peso que el sistema hidropónico, debido a que la lechuga hidropónica sufrió mucho estrés durante su crecimiento. El peso promedio por planta de la lechuga convencional fue de 168 g en la variedad Verónica y en la Vulcán fue de 141g. En la lechuga hidropónica, el peso promedio de las dos variedades fue de 40 g.

5. Metodología

5.1. Localización de la zona de estudio

5.1.1. Ubicación política

El estudio experimental se realizó en la parroquia Vilcabamba, ubicada a 45 km de la ciudad de Loja, perteneciente al cantón y provincia de Loja. La parroquia Vilcabamba limita al Norte con la parroquia San Pedro de Vilcabamba, al Sur con las parroquias Yangana y Quinara, al Este con la provincia de Zamora Chinchipe y al Oeste con el cantón Quilanga.

Figura 2.
Ubicación de la parroquia Vilcabamba.

Fuente elaborado por el autor

5.1.2. Ubicación geográfica

La parroquia Vilcabamba se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas y características (GAD-Vilcabamba, 2019).

Tabla 13.
Ubicación geográfica de la parroquia Vilcabamba.

Longitud	79º 13’ 21’’ Oeste
Latitud	4º 15’ 39” Sur
Altura	1 700 msnm
Extensión	157,26 km^2
Clima	Subtropical – Seco
Temperatura	20,3 ºC temperatura promedio
Precipitación anual	869,7 mm/año
Humedad relativa	80,5 %
velocidad del viento	13,5 km/h a 44 km/h
Población	4 778 habitantes (INEC, 2010)

Fuente (GAD-Vilcabamba, 2019).

5.2. Materiales y equipos

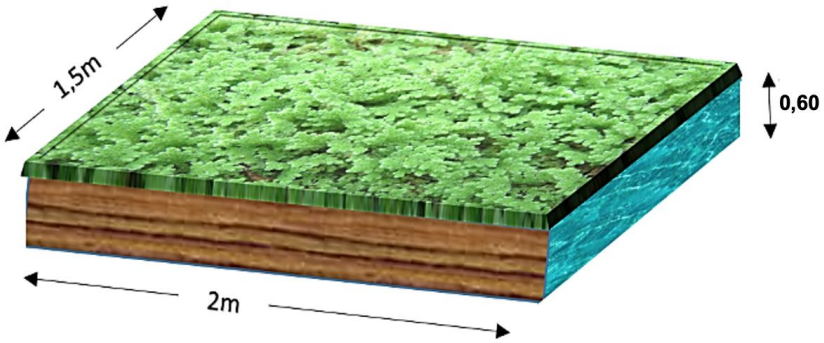
Para el desarrollo del ensayo se utilizó un área total de 3 m^2, cepa de Azolla drenada durante 24 horas, cámara fotográfica, plástico negro, cinta métrica, agua, suelo, fundas de propileno, plántulas de lechuga, saquillos de polipropileno, agua de riego, fundas Ziploc, herramientas agrícolas, manguera de riego, flexómetro, rótulos de madera, libreta de apuntes, computador, calculadora, material de impresión y suministros.

5.3. Metodología para el primer objetivo

Obtención de nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Vilcabamba

Luego del reconocimiento del área de estudio se tomó una muestra de agua del canal de riego, para determinar el nitrógeno disponible y la calidad del agua, se sembró 155 gramos, peso obtenido luego de drenar por 24 horas el helecho acuático, se construyeron dos azollarios de 2,0 m de largo, 1,5 m de ancho con una profundidad de agua de 0,60 m y capacidad de 1,5 m^3, (Figura 3) los cuales se impermeabilizaron con plástico negro (Anexo 2).

Figura 3.
Dimensiones del Azollario.



5.3.1. Contenido de nitrógeno en el azollario.

Para la determinación del nitrógeno en el agua (NitrAgua) se enviaron las muestras al Laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas del INIAP - Estación Experimental Santa Catalina (Pichincha), cada 15 días, durante 120 días, para determinar macro y micro nutrientes disponibles, pH, conductividad eléctrica, RAS y dureza; además, se tomaron datos de crecimiento y producción de biomasa de azolla.

5.4. Metodología para el segundo objetivo

Evaluación del efecto de nitrógeno bien expresado en el cultivo lechuga (*Lactuca sativa*)

5.4.1. Diseño de la Investigación.

Se empleó el Diseño completamente al azar (Figura 4) con cinco tratamientos y tres réplicas; la unidad experimental estuvo constituida por 10 unidades básicas (fundas de polietileno utilizadas en vivero), en total 150 unidades experimentales distribuidas en 48 m^2 (6 m x 8 m), en cada funda se colocó suelo agrícola. Los tratamientos fueron testigo (T0), NitrAgua (T1), urea (T2), biomasa de azolla y NitrAgua (T3) y biomasa de azolla y agua de riego (T4), se realizó un agujero de 1,5 cm de profundidad y se sembró la plántula de lechuga, luego se procedió a medir las variables cada 15 días a partir del trasplante y hasta los 60 días (anexo 1).

El experimento se instaló en condiciones de un invernadero rústico para evitar el efecto de la lluvia, viento, malezas, entre otros; la temperatura en el invernadero fluctuó de 16°C a 32°C, con una media de 22°C. (Anexo 4)

Modelo matemático:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

i = 1, 2, …, 5

j = 1,2, …, 10

y_{ij} Observación en el i-ésimo tratamiento de la j-ésima repetición.

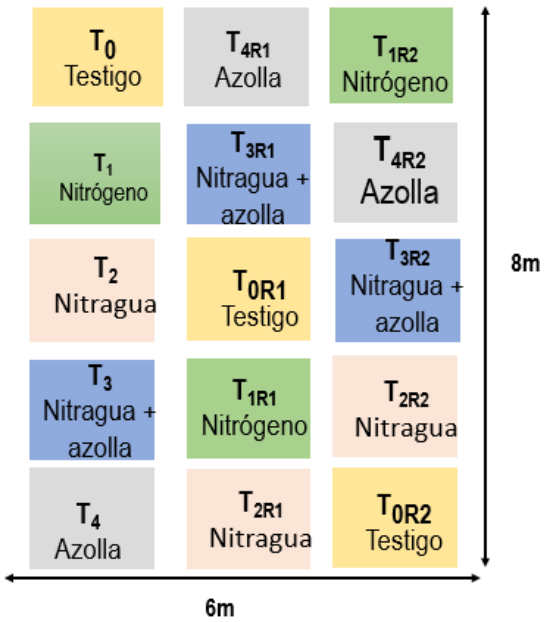
μ Media general del experimento.

α_i Efecto del i-ésimo tratamiento.

e_{ij} Efecto del error experimental, VAI ~ N (0,1).

p < 0,0001

Figura 4.
Diseño completamente al azar.



Fuente el autor

Tabla 14.
Factores estudiados en el cultivo de lechuga crespa.

Código	Descripción	Dosis
T0	Testigo	20 mg/l
T1	NitrAgua	130 mg/l N
T2	Urea	20mg/l N + 98,96 mg/l N
T3	NitrAgua y Biomasa de Azolla	130 mg/l N + 3.28 gr N
T4	Biomasa de Azolla	20 mg/l + 3,28 gr N

Fuente el autor

De acuerdo con las variables climáticas del sector, y para efectos de la investigación el riego se realizó de forma manual aplicando 200 ml por planta, de acuerdo a las necesidades del cultivo.

Variables evaluadas

Con el fin de determinar la dinámica de crecimiento de las plantas, cada 15 días, a partir del trasplante hasta la cosecha, en 10 plantas elegidas al azar de cada unidad experimental se registró: altura de planta, número de las hojas, grosor del tallo y peso del repollo.

Manejo agronómico del cultivo.

Para minimizar el impacto de plagas y enfermedades del cultivo, se inspeccionó constante y oportunamente las plantas para identificar y proceder con las prácticas preventivas de control de manera orgánica.

Tasa marginal de retorno.

Los costos de producción de esta investigación se definieron por los costos de los tratamientos con Urea y Biomasa de Azolla con NitrAgua,

Los ingresos se determinaron en función del rendimiento del cultivo de Lechuga y el precio de venta en los distintos mercados. La Tasa Marginal de retorno es la relación entre los ingresos netos y costos marginales de los tratamientos, así:

$$TMR = \frac{IN^1 - IN^2}{CV^1 - CV^2}$$

Dónde:

$IN^1 - IN^2$= Beneficio Neto del T_2 – Beneficio Neto del T_3

$CV^1 - CV^2$ = Costo variable del T_2 – Costo variable del T_3

6. Resultados

6.1. Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga.

Con base en el análisis de Laboratorio del suelo, se calcularon los requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga para las condiciones de la parroquia Vilcabamba (Tabla 15).

Tabla 15.
Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga.

Nutrientes	Análisis de Suelo ppm	kg/ha	Eficiencia de asimilación	Requerimiento kg/ha	Demanda kg/ha
N	94,0	293,75	0,6	200,0	40
P	16,0	50,0	0,3	69,1	180,2
S	7,2	22,5	0,5	6,6	0
K	82,1	256,6	0,6	213,0	98,4
Ca	2222,4	6945,1	0,6	176,0	0
Mg	434,1	1356,6	0,6	51,0	0
Zn	3,2	10,0	0,5	-	0
Cu	8,6	26,9	0,5	-	0
Fe	307,0	959,4	0,5	-	0
Mn	11,1	34,7	0,5	-	0
B	0,6	2,0	0,5	0,2	0

Fuente: INIAP, 2021

El suelo es de clase textural Franco arcilloso, con pH 6,7; contenido alto de N, Mg, Ca, Cu, medio en P, K, Zn, Mn y bajo en S, B; materia orgánica medio (2,21 %) (Tabla 16).

Tabla 16.
Análisis de suelo

N	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Fe	P	Textura	pH	MO
ppm		meq/100g				ppm					%
61	0,21	11,9	3,57	11,1	0,64	8,6	307	16	Fa	6.75	2,21

Fuente: INIAP, 2021

Tabla 17.
Análisis de agua.

N	K	Ca	Mg	Na	B	Cl^-	HCO_3	SO_4^-	CE	pH	RAS	Dureza
				ppm					ms/cm			
20	0,47	3,5	0,8	1,8	0,05	3,5	11,7	1,78	0,05	7,	0,2	12.1

Fuente: INIAP, 2021

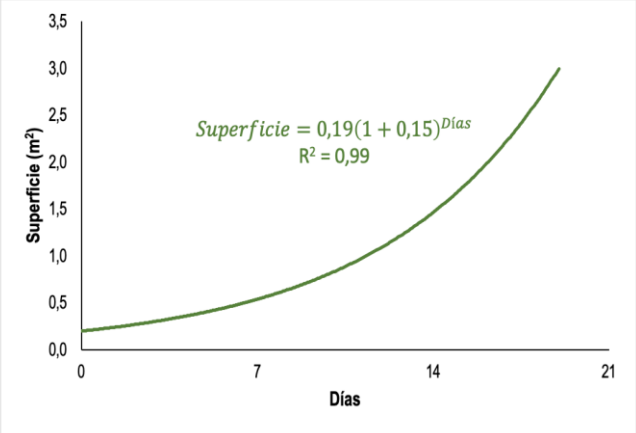
El agua tuvo pH neutro, con valores bajos de CE, N, P, K, Ca, Mg, Na, B, Cl, HCO_3, SO_4, y de dureza muy suave (Tabla 17).

6.2. Obtención de nitrógeno bien expresado

6.2.1. Crecimiento de Azolla filiculoides

En la Figura 5 se muestra el crecimiento de Azolla, cuya superficie al momento del trasplante ocupó 0,15 m^2, al transcurrir 19 días alcanzo 3,00 m^2 cubriendo por completo el azollario. El modelo matemático presenta un crecimiento exponencial del 15 %. Dadas las condiciones ambientales expuestas con anterioridad es capaz de cubrir una hectárea en un periodo de aproximadamente 75 días.

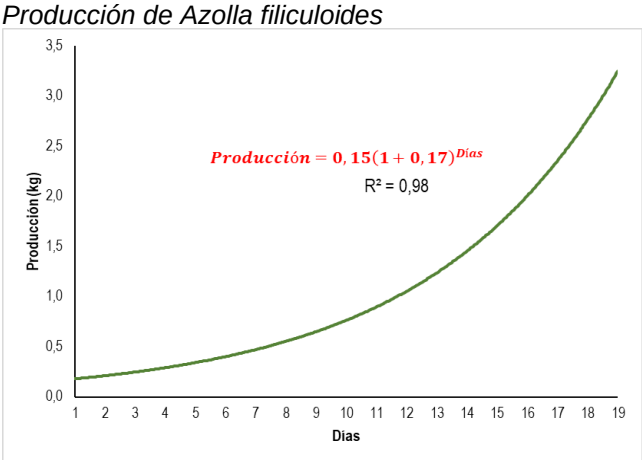
Figura 5.
Crecimiento de Azolla filiculoides.



6.2.2. Producción Azolla en el Azollario

Para la propagación de Azolla se sembró la cantidad inicial de 0,16 kg, en 19 días incrementó su biomasa a 5,63 kg puesto que aumentó a razón de 0,15 kg $día^{-1}$; es decir el incremento fue de 17 %, un rendimiento equivalente a 18,66 t ha^{-1} (Figura 6).

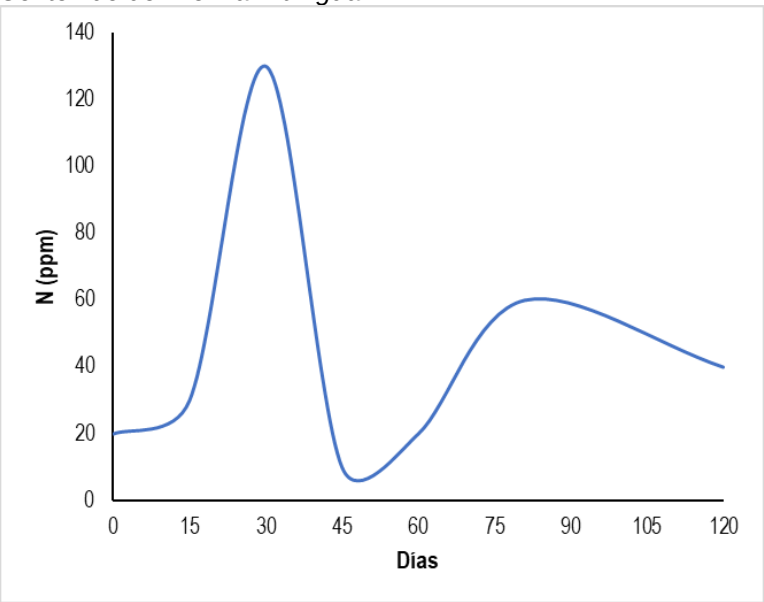
Figura 6.
Producción de Azolla filiculoides



6.3. Contenido de nitrógeno en NitrAgua

La evaluación del contenido de nitrógeno se muestra en la Figura 7, el agua utilizada al principio tuvo un valor de 20 ppm, después de 30 días el contenido de N producto de la simbiosis Azolla–Anabaena ascendió a las 130 ppm y a los 45 días descendió a 10 ppm, a pesar de ello a partir de los 81 días la dosis de N aumentó entre 40 y 60 ppm hasta los 120 días.

Figura 7.
Contenido de N en la NitrAgua.



6.4. Contenido de nitrógeno en biomasa en Azolla

La Tabla 18 muestra la composición química de Azolla, en donde, por cada 100 g de materia seca en una superficie de 3 m^2, Azolla rindió 5,6 kg equivalente a 183,68 g N en biomasa; por consiguiente, en una hectárea se producirá 612,26 kg N.

Tabla 18.
Resultados de análisis *de Biomasa de Azolla.*

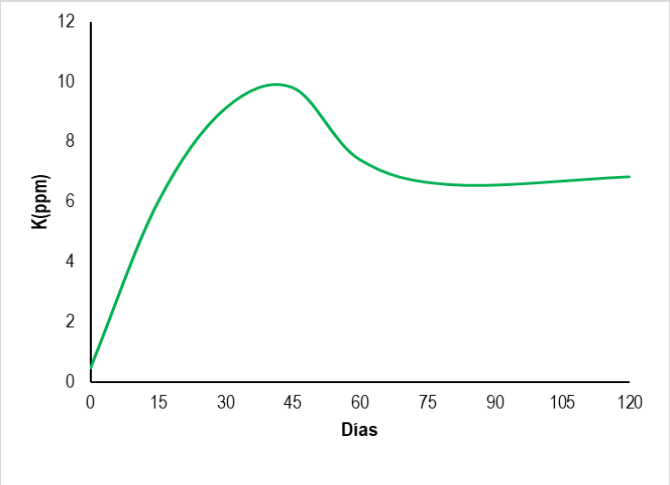
N	P	K	Ca	Mg
		%		
3,28	0,76	2,10	1,05	0,22

Fuente el autor

6.5. Contenido de K en NitrAgua

El contenido inicial K en NitrAgua fue de 0,47 ppm en la Figura 8 se manifiesta que a los 45 días es 9,8 ppm; sin embargo, mediante el transcurso de los días disminuyo, manteniéndose en un 6,5 ppm.

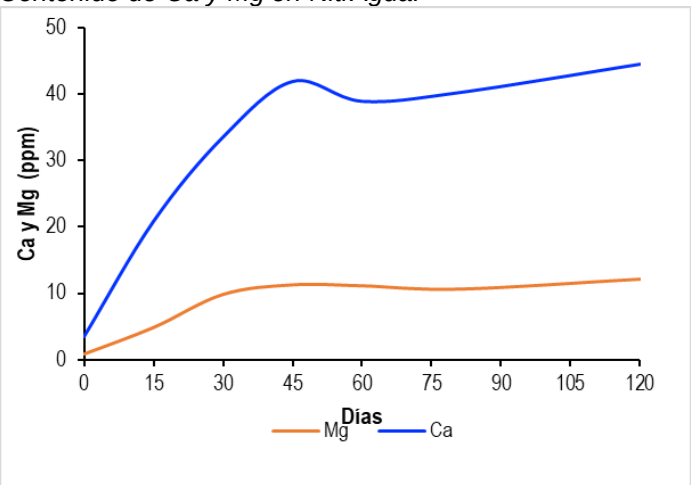
Figura 8.
Contenido de K en NitrAgua.



6.6. Contenido de Ca y Mg en NitrAgua

La figura 9 se evidencia el contenido de Ca, valor inicial de 3,53 ppm en NitrAgua, a los 45 días se obtuvo un valor de 41,86 ppm luego existió un decremento de 38,88 ppm, al completarse los 120 días tuvo un ascenso de 44, 45 ppm, el Mg en NitrAgua inicio en 0,8 ppm, obteniéndose a los 120 días un total de 12,1 ppm siendo el máximo valor.

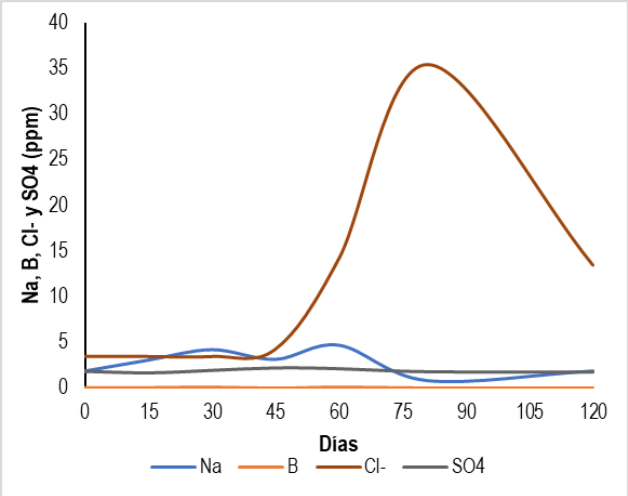
Figura 9.
Contenido de Ca y Mg en NitrAgua.



6.7. Contenido de Na, B, Cl y SO_4 en la NitrAgua.

El contenido de Na, B, Cl y SO_4, se observa en la Figura 10, obtuvimos valores constantes hasta los 45 días, a excepción del Cl que a los 81 días incremento a 35,45 ppm.

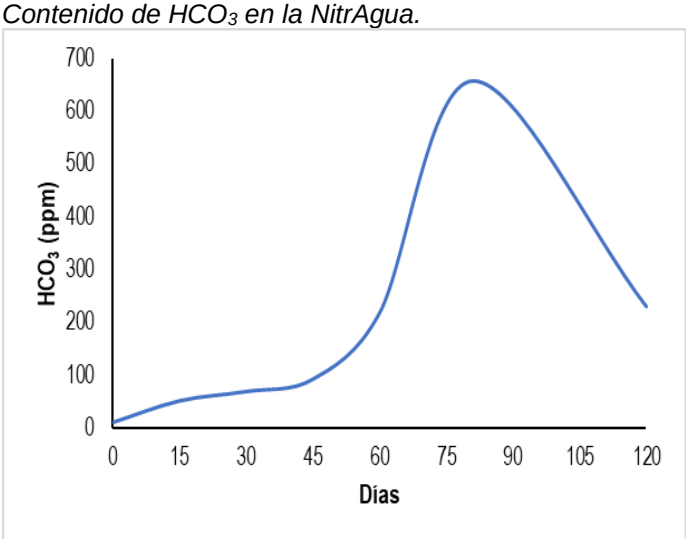
Figura 10.
Contenido de Na, B, Cl y SO_4 en la NitrAgua.



6.8. Contenido de HCO_3 en la NitrAgua.

En un principio el contenido de HCO_3 fue 11,7 ppm, a los 81 días el contenido de bicarbonatos en la NitrAgua se elevó a 658,8 ppm y a los 120 días bajo su valor a un total de 231,3 ppm (Figura 11).

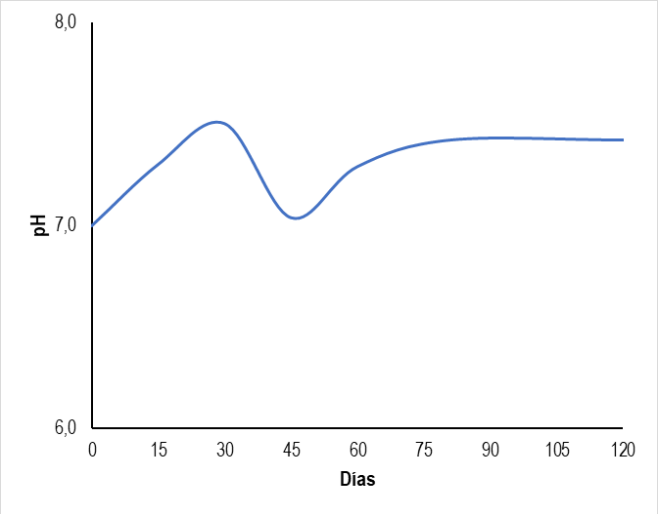
Figura 11.
Contenido de HCO_3 en la NitrAgua.



6.9. pH en NitrAgua

EL pH se mantuvo neutro en un rango de 7 a 7,42, durante los 120 días, figura 12.

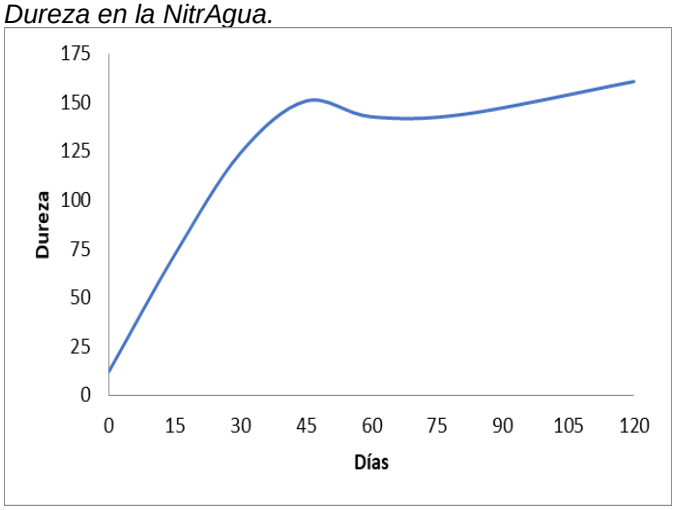
Figura 12.
pH en NitrAgua.



6.10. Dureza en la NitrAgua en ppm

La dureza del agua al inicio fue de 12,12 ppm; no obstante, con el tiempo aumentó, a 150 ppm en 45 días, y a los 120 días a 160,9 categorizada como agua moderadamente dura (Figura 13).

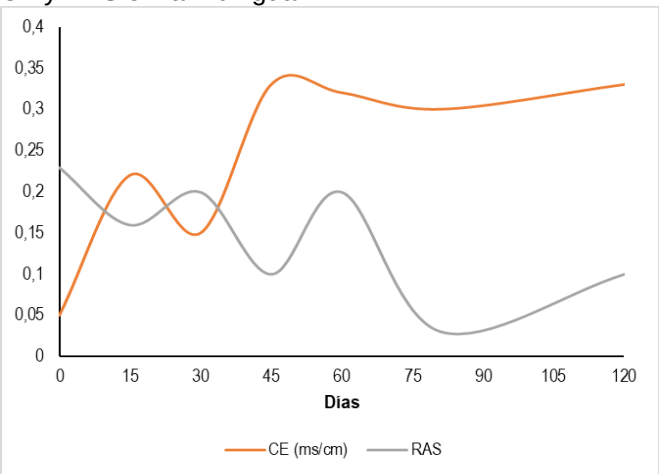
Figura 13.
Dureza en la NitrAgua.



6.11. CE y RAS en la NitrAgua

La Conductividad eléctrica en el azollario fue baja de 0,05 a 0,33 ms/cm, de igual manera la relación de absorción sodio se mantuvo de 0,23 a 0,1 valores permisibles que al ser menores a 1 están dentro del rango permisible de agua para riego (Figura14).

Figura 14.
CE y RAS en la NitrAgua



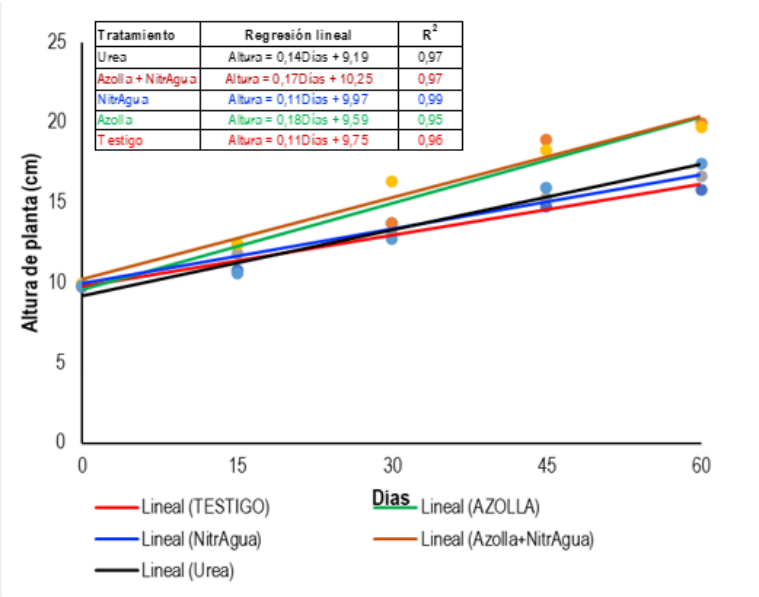
6.12. Evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo lechuga

Con el fin de evaluar el crecimiento de la planta con la aplicación de los distintos tratamientos, se valoraron cuatro variables; diámetro de planta, número de hojas por planta, altura de la planta, peso fresco de plantas en la cosecha.

6.12.1. Altura de la planta

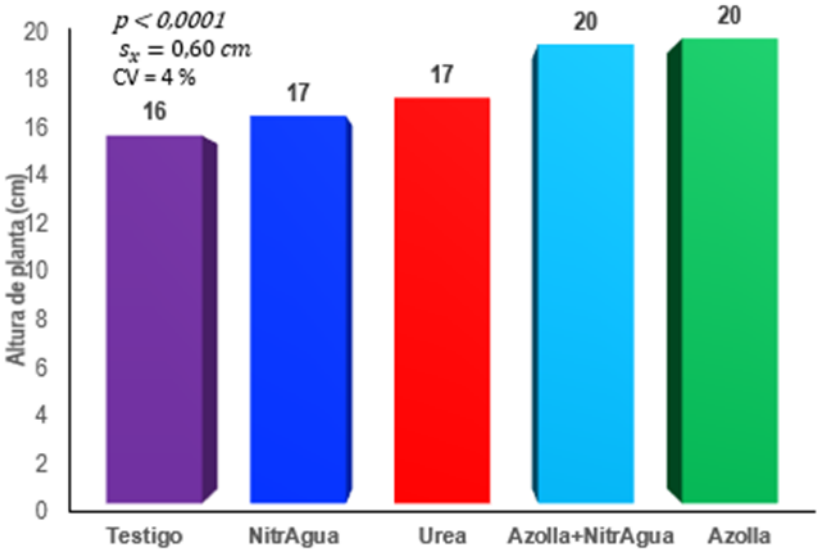
La altura inicialmente fue en promedio 10,0 cm en los cinco tratamientos. El modelo de regresión lineal en la Figura 15, reporta un crecimiento bajo en el testigo de 0,11 cm/día, en tanto que en Urea y NitrAgua se obtuvieron resultados similares de 0,11 y 0,14 cm/día, la mayor altura se obtuvo con la aplicación de Azolla más NitrAgua con 0,17cm/día.

Figura 15.
Modelo de regresión lineal para altura.



Los resultados mostraron que no se tuvo diferencias significativas entre las aplicaciones de nitrógeno, pero existió mayor tendencia entre los tratamientos de biomasa de azolla con riego de NitrAgua y biomasa de azolla con agua normal atribuible a las dosificaciones de nitrógeno que estas contienen (Figura 16).

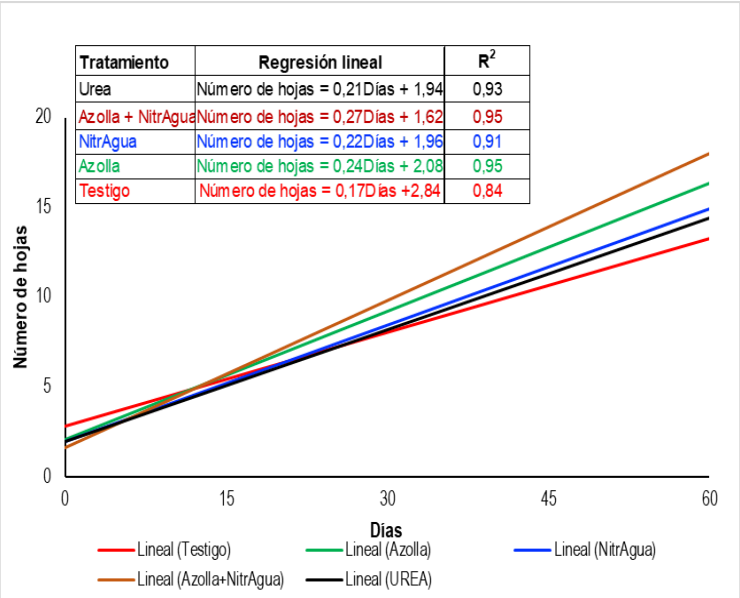
Figura 16.
Altura de la planta de lechuga



6.12.2. Número de hojas en el cultivo de lechuga

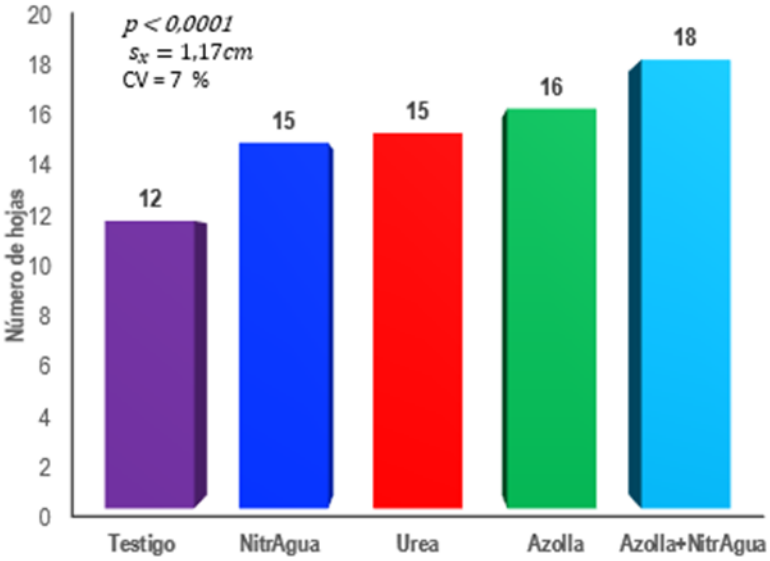
En la proyección lineal (Figura 17) el número de hojas del cultivo de lechuga *(Lactuca Sativa)* se desarrolla diariamente entre 0,17 y 0,27; la mayor cantidad de hojas se consiguió al utilizar Azolla más NitrAgua.

Figura 17.
Modelo de regresión lineal hojas.



En el análisis de varianza (Figura 18) para el numero de hojas a los 60 días no presentan diferencia significativa entre los tratamientos; las plantas testigo tuvieron en promedio 12 hojas, pese a que en Urea y NitrAgua se tuvieron en promedio 15 hojas, valores más altos se dieron al utilizar biomasa de Azolla más NitrAgua con 18 hojas.

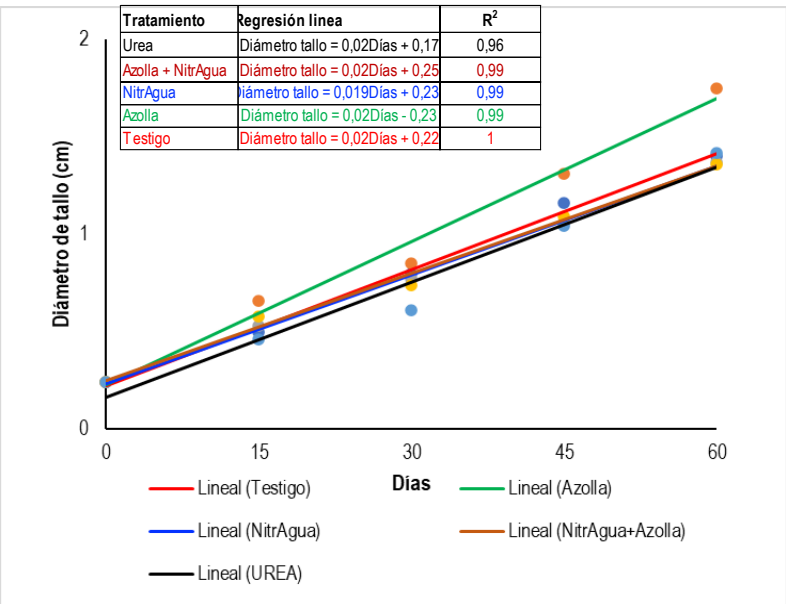
Figura 18.
Número de hojas en el cultivo de lechuga



6.12.3. Diámetro del tallo

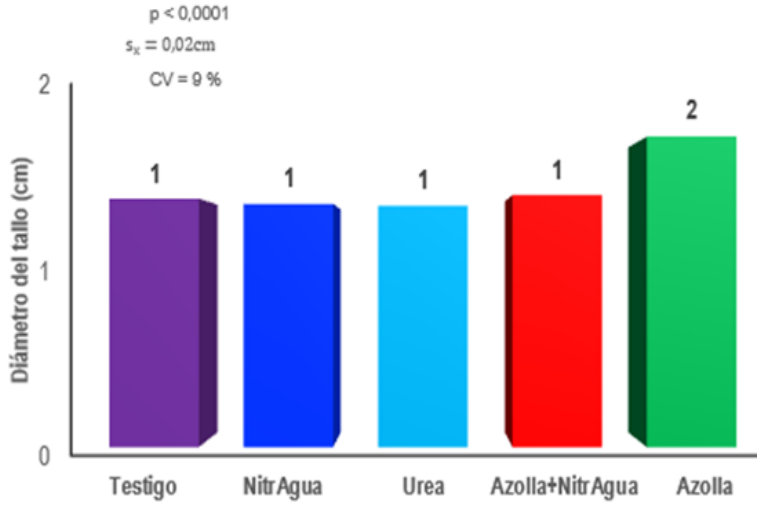
El modelo de regresión lineal para el diámetro del tallo de lechuga se muestra en la Figura 19, la aplicación de los diferentes tratamientos dio como resultado un valor equitativo, puesto que todos estos métodos presentaron que el diámetro aumentó en 0,06 mm/día.

Figura 19.
Modelo lineal del diámetro del tallo.



En la Figura 20, todos los tratamientos son estadísticamente equitativos; a los 60 días, el tratamiento Azolla muestra tendencia en el diámetro del tallo con un total de 2 mm, siendo el más alto en cuanto a los distintos tratamientos

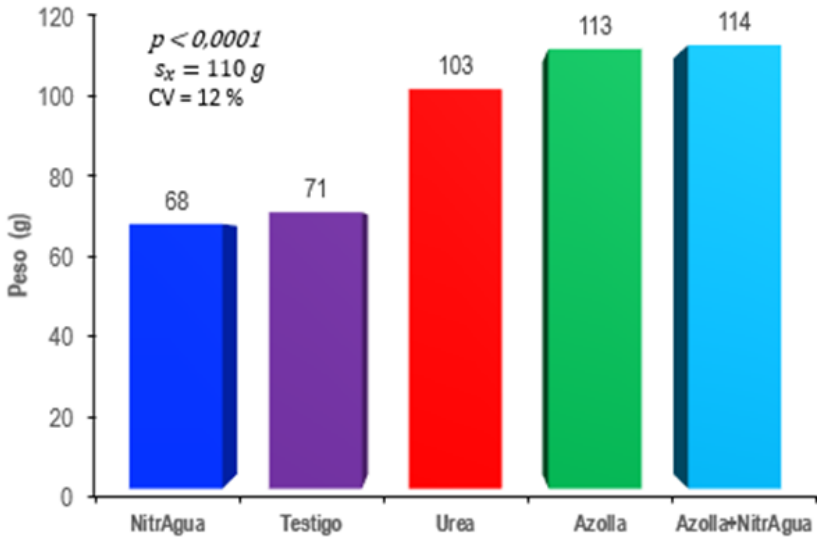
Figura 20.
Diámetro del tallo.



6.12.4. Peso de la planta

En la Figura 21 se manifiesta, el análisis de varianza para el peso registrado al momento de la cosecha, el valor de todos los tratamientos indicó diferencias significativas, se detectaron distintos pesos; en el testigo se recolectaron plantas con peso de 68 gr/planta^{-1} , con rendimiento esperado de 4,15 t ha^{-1} al colocar biomasa de Azolla se logró 113 g, en NitrAgua 68 gr/planta^{-1} , en Urea 103 gr/planta^{-1} mientras que, añadiendo Azolla más NitrAgua se obtiene un peso mayor de 114 gr/planta^{-1} (5,7 t ha^{-1}).

Figura 21.
Peso del repollo de lechuga.



6.13. Análisis económico (Tasa Marginal de Retorno).

Los costos variables se refieren en Tabla 19. El tratamiento que representa el mayor ingreso bruto es el de Azolla con NitrAgua, siendo el más dominante.

Tabla 19.
Costos variables del cultivo de lechuga.

Tratamiento	Cantidad de N Kg/ha	Precio De N $/kg	Costo N	Aplicación	Costos variables
Testigo	0	1,2	0	0	0
Urea	0,07	1,2	0,084	2	0,168
NitrAgua	130	1,2	156	100	15600
Azolla+NitrAgua	130,32	1,2	156,384	100	15638,4
Azolla	32800	1,2	39360	15	590400

Tabla 20.
*Ingreso bruto en el cultivo de lechuga***.**

Tratamiento	Rendimiento Kg/planta	Nº de plantas	Kg/trat.	Precio Kg	Ingreso bruto $	Cosecha + Trasporte	Ingreso bruto
Testigo	0,0	50000	1000	1	1000	200,00	800,00
Urea	0,2	50000	13000	1	13000	200,00	12.800,00
NitrAgua	0,2	50000	12000	1	12000	200,00	11700,00
Azolla+NitrAgua	0,3	50000	15500	1	15500	200,00	15200,00
Azolla	0,1	50000	5000	1	5000	200,00	4700,00

Tabla 21.
Dominancia de tratamiento.

Tratamiento	Costos variables	Ingresos Brutos	Beneficio Neto	Análisis de dominancia
Testigo	0	800	800	
Urea	0,168	12800	12800	
NitrAgua	15600	11700	11700	
Azolla+NitrAgua	15638,4	15200	15200	**D**
Azolla	590400	4700	4700	

Tabla 22*.*
*Tasa de retorno marginal en los tratamientos del cultivo de lechuga***.**

Tratamiento	Costos variables $/trat	Costos marginales	Beneficio neto $/trat.	Beneficios Netos marginales $/trat.	Tasa de retorno marginal %
Testigo	0		800	0	0,00
Urea	0,168	0,168	12800	12000	7142857,10
NitrAgua	15600	15600	11700	10900	69,87
Azolla+NitrAgua	15638,4	15638,4	15200	14400	92,08
Azolla	590400	590400	4700	3900	0,66

La tasa marginal de retorno es del 92,08 %, en el tratamiento Azolla con NitrAgua, esto significa que por cada dólar invertido el agricultor recuperará el mismo y tendrá una ganancia de 9,28 dólares.

7. Discusión

7.1. Obtención de nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Vilcabamba.

7.1.1. Crecimiento de Azolla filiculoides

Azolla filiculoides se adaptó de manera correcta al medio y mantuvo un pH de 7 a 7,5 se observa que esta planta crece de manera rápida y regular, con un correcto manejo, las plantas absorben los compuestos, haciendo de esta una alternativa útil, debido a que se utiliza como fuente de nutrición para todo tipo de cultivos, durante la investigación se registró un crecimiento de 0,19 m^2 duplicando su biomasa de 2 a 4 días rresultados que se han obtenido debido a los distintas variables climáticas y manejo técnico de este helecho.

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.

Aguiar Arguello, (2020) considera que la producción de biomasa puede ser capaz de duplicarse entre 2 a 3 días si las condiciones ambientales lo permiten, se podría decir que la tasa de crecimiento y producción está influenciada por la temperatura, el balance de los nutrientes, este helecho 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 28ºC, contando con disponibilidad de nutrientes, teniendo en cuenta que debe mantener una corriente de agua estable siendo capaz de duplicar su biomasa en 48 horas y lograr una óptima composición.

7.1.2. Producción de Azolla

Azollae se caracteriza por tener elevada tasa de producción, y en el presente estudio se propagó a razón de 0,9 kg/m^2, estos resultados son menores a los reportados por Montaño (2011) de 22,5 t/ha^{-1} en la provincia del Guayas, e igualmente para los de Rivera, (2020) realizados en piscinas experimentales acondicionadas a temperaturas de 20 a 35 °C y dimensiones 1,5 m de largo por 1,6 de ancho a una altura de 50 cm, más 10 kg de humus y una película de agua de 10 cm, a los 30 días se cosechó 2 340 gr en estanque sin cubierta difiriendo de una producción de 150 gr utilizando techo; esto a causa de que la investigación en estudio se realizó en azollarios con películas de agua de 60 cm y 5 cm de tierra y radiación solar de 12 horas.

Al sembrar Azolla en agua residuales con y sin pretratamiento, se obtienen densidades de 76,67 $g/m^{-2}/d^{-1}$, a pesar de tener la misma altura de lámina de agua, se obtuvo mayor producción al usar una mayor cantidad de sustrato medio en N, pero con contenido de otros macronutrientes esenciales para nutrición de los cultivos, así mismo con baja temperatura y las 8,28 horas luz influenciaron el aumento de su biomasa.

Los resultados para la producción de Azolla en la parroquia Vilcabamba son menores a los obtenidos por PROMSA (2004) al evaluar su producción a nivel de invernadero obteniendo 36,46 t/ ha^{-1}/m^2 eliminando por completo el Zn y hasta 7,99 t/ ha^{-1}/m^2 eliminando el K en tanto que usando microorganismos benéficos se obtuvo rendimiento de 18,87 y 5,87 t/ ha^{-1}/m^2, en cambio a nivel de campo con exposición a radiación solar fue de 2,08 $t/ha^{-1}/m^2$ a 45,87 t/ha/m, esté fenómeno se deriva de las temperaturas del ambiente controlado del invernadero y nulo ingreso de precipitación en los Azollarios, caso contrario del experimento que realizo a campo abierto en la presente investigación.

Vinueza Albán, (2012) reporta que por 10 gr de Azolla filiculoides sembrados en una piscina de 10 cm de profundidad se obtiene 0,14t/día/ha^{-1} diciendo que en 12 días ya estaría en un proceso de multiplicación del mencionado helecho y su biomasa.

Chaux F, et al (2013) reportan tasas de producción de biomasa fresca de 6 a 32 gr/m^2, para Azolla datos que son menores a los de la investigación, por los sustratos utilizados en los azollarios.

7.1.3. Contenido de nitrógeno en la NitrAgua

Para verificar la existencia de nitrógeno en la NitrAgua se realizaron algunos análisis de agua del azollario, contenido de nitrógeno inicial del agua de 0,20 mg/l durante la investigación se reportaron valores de 0,40mg/l a los 15 días y a los 28 días de 130 mg/l siendo este el más alto porcentaje, debido a que los azollarios tenían un 90% de cobertura de biomasa de azolla con una temperatura de 21ºC.

Abad, (2022) alcanzo valores de nitrógeno en el agua de 160 mg/l a los 30 días a una temperatura de 17ºC , sin cubierta, datos que coinciden con Angamarca, (2022) en la parroquia Gualel consiguió resultados de 400 mg/l ,con temperatura de 18ºC esto debido a las variables climáticas de cada sector.

7.1.4. Contenido de K en NitrAgua en ppm

El potasio (K) tuvo valores ascendentes, en los 45 días se obtuvo 9,8 ppm en este sentido Swistock, (2021) indica un nivel alto de potasio no suele ser preocupante para el crecimiento de las plantas. Los niveles superiores a 10 mg/L pueden indicar una contaminación del agua por parte de los fertilizantes o de otras fuentes artificiales. F.

Redondo, (2021) concuerda el potasio tiene valores referencia de 0 a 20 ppm que son permisibles para el riego.

7.1.5. Contenido de Ca y Mg en NitrAgua.

Las concentraciones de Ca fueron ascendentes hasta los 45 días, se tuvo 41,86 ppm estos valores están dentro del rango 40 a 100 ppm reportados por (Swistock, 2021).

El Mg durante la evaluación tuvo valores inferiores a 25 mg/l recomendado por Swistock (2021).Olivieri, (2020) ; F. Redondo, (2021) manifiestan que los valores se encuentran en rangos de referencia.

7.1.6 Contenido de Na, B, Cl- y SO_4 en la NitrAgua.

El comportamiento del Na, B, Cl- y $S0_4$ tuvo valores de 4,16 ppm en 30 días, mientras que B presentó en este periodo de 1 ppm, en relación a Cl- se obtuvo como resultado a os 120 días un total de 13,5 ppm, finalmente el SO_4, inicio con valores 1,7 ppm, en el día 45 alcanzo el máximo contenido 2,2 ppm, valores corresponden a los estándares establecidos. por Olivieri, (2020); F. Redondo, (2021); Swistock,(2021).

7.1.7 Contenido de pH, CE y RAS en la NitrAgua.

Los resultados obtenidos en este trabajo, se discuten según el uso agrícola (Meléndez et al,, s, f,) con un pH promedio de 7,5, una conductividad, alrededor de 0,5 mS/cm, los valores de relación de absorción de sodio son calificados como excelentes al ser < 1 están dentro del rango permisible de agua para riego, existe un balance de crecimiento en los nutrientes, estos datos están dentro del intervalo de 6,0 a 7,0 reportados por Monteros,(2011); sin embargo, el pH fue descendiendo, lo que coincide con valores obtenidos por Castro, (2002) al manifiesta que cuando se usa *azolla*, existe una tendencia a disminuir el pH del agua. Además, mencionan que, junto a la temperatura del agua, el pH es un factor muy influyente en las pérdidas de nitrógeno por volatilización.

La Conductividad Eléctrica presentó valores ascendentes hasta el día 45 donde alcanzó su mayor contenido (0,33 mS/cm), al respecto Mula, (2014) menciona que valores menores a 0,70 mS/cm no perjudica al cultivo debido al bajo contenido de salinidad y además el agua es absorbida con facilidad por el sistema radical.

La RAS en el día 60 tuvo el valor más alto 0,20 mg/l que es inferior a 2,0 mg/l planteado por Olivieri, (2020) y Swistock (2021), esto significa que es óptimo para aplicación en los cultivos.

7.1.6. Dureza en la NitrAgua.

Según Redondo,(2017) la calidad de agua tiene algunos parámetros entre los cuales se registran como bajo, medio, alto, en condiciones de operación normal; la dureza de estar entre 120 a 150, la relación de absorción de sodio debe ser >1 la conductividad eléctrica con valores de >5 igualmente, en la investigación realizada el agua tiene características similares a las de un efluente natural.

Olivieri, (2020) ; Swistock, (2021) Y Molinero (2009),establecen parámetros de dureza del agua categorizando como: Buena (150 mg CO_3Ca/l), media (150 a 300 CO_3Ca/l), aceptable (300 a 500 mg CO_3Ca/l), difícilmente utilizable (>600 CO_3Ca/l). Con base a lo mencionado, NitrAgua a partir de los 30 días aumentado la dureza del agua de buena calidad.

7.2. Evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo lechuga (Lactuca sativa)

El uso de agroquímicos dirigidos a la producción eficiente de alimentos es la idea as común entre agricultores, pero sus repercusiones pueden ser irreversibles, por ello los métodos más amigables con el ambiente es una ideología en crecimiento que contraste daños, pero tiene ciertos efectos económicos a largo plazo debido al tiempo de producción en relación al de con la aplicación de fertilizantes.

Cedano, (2017); Ricardo, (2019) presentan resultados más altos con la aplicación de fertilizantes químicos con cantidades de nitrógeno superiores a los de la investigación, (Angamarca-Ipiales & Pinango-Nuñez, 2013) tiene resultados aproximados al trabajo de investigación, con la aplicación de porquinaza que tiene un aumento de nitrógeno y más nutrientes que hacen que la planta tenga más rendimiento, (Ghifari, 2021) aplico extracto de azolla en liquido en un donde se obtuvo mayor producción con la aplicación de agroquímicos sin embargo la aplicación de este extracto también tuvo significativas diferencias ante los agroquímicos.

En los distintos tratamientos del estudio realizado quien mayor rendimiento obtuvo fue la aplicación de biomasa de azolla y la NitrAgua de la misma.

7.3. Altura de la planta

Martínez Barreno, (2019) obtuvieron que la altura de la planta en los 30 días la mayor altura conforme a los cinco tratamientos en donde existió una fertilización convencional con un promedio de 7,03 cm, por su parte, es importante mencionar que este estudio utilizó el tratamiento Biosol en el cultivo de lechuga en donde se realizaron cinco tratamientos con cuatro repeticiones, ahora bien , mediante los resultados obtenidos se obtuvo, mientras tanto Ravelo Navarrete, (2019) utilizó fertilizantes químico (Phos-Pro) y orgánico (Biofol

NPK+Algas marinas), obteniendo una altura de 8,03 cm, mientras tanto, en relación los resultados del presente estudio mediante el modelo de regresión lineal se obtuvo un crecimiento bajo en los tratamientos NitrAgua y testigo de 0,11 cm/día, seguido de la UREA que presenta un valor de 0,14cm/día, por su parte, los tratamientos con mayor crecimiento fueron el Azolla + NitrAgua y Azolla, con 20 cm cada tratamiento.

7.4. Número de hojas

El promedio en número de hojas usando Azolla + NitrAgua fue de 18, a causa del contenido de N presente en NitrAgua, usado en cada riego, siendo los resultados inferiores a los obtenidos por Ricardo, (2019) que al aplicar tres soluciones nutritivas; los resultados indican que, bajo los tres niveles de fertilización, como promedio de las cuatro épocas de plantación, las plantas alcanzaron 23 hojas/planta. A diferencia de Ravelo Navarrete, (2019) quien registro un promedio de largo de hoja de 17.7 cm con la utilización de los fertilizantes y en el testigo de 15.3 cm, se obtuvo como promedio general de 16,29 cm, datos que concuerdan con esta investigación.

7.5. Diámetro del tallo

En promedio el diámetro de tallo en el mejor tratamiento es de 2 cm debido a que durante el desarrollo del cultivo se aplicó la biomasa de azolla y NitrAgua, siendo menor al resultado de Ravelo Navarrete, (2019) que obtuvo en promedio 0,89 cm.

7.6. Peso de la planta

La variable del peso tuvo un rendimiento de 114 gr/planta mediante el uso de Azolla más NitrAgua , resultados inferiores a los obtenidos a Martínez Barreno, (2019) quien reporta peso del follaje de 462,4 g/planta con la aplicación de biosol de 2kg/m2; y 12,8 g/planta con la aplicación de fertilización convencional, en condiciones diferentes a las de la investigación que se realizó en fundas de propileno. Mientras que Ravelo Navarrete, (2019) con dos tipos de fertilizantes, químico y orgánico (Phos-Pro) y (Biofol NPK+Algas marinas) a diferentes dosis, (1,2 y 1,6 ml/ha) y un tratamiento testigo absoluto, obtuvo un peso de 59,6gr/planta, con la dosis de 1.6 ml/ha con la dosis de 1.2 ml/ha 66,7gr/planta , mientras que el testigo fue el de menor peso con 40.5gr/planta, frente al testigo que se ubica en una media de 68 gr/planta.

Corroborando que el peso se encuentra dentro de los estándares del mercado del Ecuador según Lazo & Gonzabay,(2020).

8. Conclusiones

- ✓ El helecho acuático azolla es adaptable a distintas variables climáticas teniendo un manejo técnico adecuado, quedando en evidencia que su producción no es costosa y que efectivamente genera suficiente biomasa para las diferentes aplicaciones que se puede dar en un cultivo; es una fuente valiosa de abono orgánico para mejorar la fertilidad de los suelos, además de ser un alimento proteínico para plantas y animales.

- ✓ Contiene 130mg/l en el agua, su biomasa 3.28 % de nitrógeno y es de gran utilidad en suelos altamente deteriorados pues tiene efectos biorremediadores a lo largo de su aplicación.

- ✓ Azolla *filiculoides* presenta un crecimiento exponencial con el pasar del tiempo del 15 %, con valor de R^2 de 0,98 al estar expuesto en a condiciones ambientales ingreso de precipitación y sin cubierta, con temperatura media del 21° C y humedad relativa de 80.5%, llegando a duplicar su biomasa en un periodo de entre 5 a 6 días.

- ✓ El contenido de nitrógeno bien expresado en el Azollario no tiene un comportamiento estable, después de la siembra del helecho hasta los 30 días se alcanza un valor de 130 ppm equivalente a 325 kg ha^{-1} a partir de los 90 a los 120 días, logra fijar 150 Kg ha^{-1} .

- ✓ NitrAgua continente, macroelementos en cantidades de 9,11 mg/l de K, 33,51 mg/l Ca, 9,80 mg/l Mg,4,16 mg/l Na, 0,1 mg/l B, 1,9 mg/l SO_4^- que también se encuentran en forma disponible para su absorción, una dureza 124,08 que indican que es un agua apta para el uso agrícola.

- ✓ Azolla en su biomasa es capaz de aportar macronutrientes debido a que en su composición química existe 3,28 % N, 0,76 % P, 2,10 % K, 0,22 % Mg y 1,05 % Ca, así mismo sirve como control para las plagas que se presentan en el cultivo.

- ✓ En cuanto a la aplicación en el cultivo de lechuga las estrategias de cumplimiento del requerimiento se obtuvo un ahorro de costos en fertilizantes con respecto al tratamiento de urea.

- ✓ Los mayores resultados en el cultivo con la aplicación de biomasa de azolla y nitragua fueron altura de la planta de 20 cm, numero de hojas 18, diámetro de 2 cm y peso fresco en la cosecha 1,1 kg/planta.

9. Recomendaciones

- ✓ Realizar análisis más a fondo con la biomasa obtenida para darle un valor agregado en el campo capacitar de mejor manera a las personas cercanas y de bajos recurso económico en el uso y el manejo de este helecho acuático ya que oferta un gran beneficio tanto en cultivos como alimento para sus animales.

- ✓ Desarrollar más cantidad biomasa en condiciones controladas para con eso poder suplir con cultivos de mayor requerimiento de nutrientes usando azollarios de mayor área de espejo de agua, para de esa manera ver más cantidad de resultado en kilos y/o toneladas de biomasa.

- ✓ No producir azolla en ríos o lagos, estos son muy invasores y deben ser manipulados con mucha responsabilidad.

- ✓ Con respecto a su crecimiento y producción azolla debe ser cosechada dentro del margen de 19 a 21 días para evitar pérdidas de nitrógeno siendo que durante ese rango el nitrógeno se encuentra en su punto máximo.

- ✓ Para efectos de investigaciones futuras se debe realizar análisis con intervalos de tiempo corto, este helecho presenta distintos beneficios los cuales remplazarían a los químicos.

10. Bibliografía

Abad, G. (2022). Generación y evaluación de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica Azolla-Anabaena para producción de brócoli (Brassica oleracea L.) en la quinta experimental “La Argelia”.

Aguiar-Arguello, K. O. (2020). La Azolla: Importancia y usos para mejorar la fertilidad y calidad del suelo y del agua en la agricultura.”.

Aguilar, M. G. C. (2008). INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA. 93.

Alcántar González Gabriel & Trejo Téllez Libia Iris. (2009). Nutrición de cultivos. https://isbn.cloud/9786077153245/nutricion-de-cultivos/

Aldás-Jarrín, J. C., Zurita-Vásquez, J. H., Cruz-Tobar, S. E., Villacís-Aldaz, L. A., Pomboza-Tamaquiza, P. P., & León-Gordón, O. A. (2016). Efecto biofertilizante de azolla—Anabaena en el cultivo de maíz (Zea mays L.). Journal of the Selva Andina Biosphere, 4(2), 109-115.

Alvarado Díaz, E. E. (2017). Evaluación de la producción de biomasa de Azolla filiculoides (helecho acuático) en función de la concentración y tipo de fertilizante, en condiciones de laboratorio, Centro de Biología de la Universidad Central del Ecuador. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/12941

Álvarez Dianelys Ondarse. (2021). Ciclo del Nitrógeno—Concepto, importancia y etapas. Concepto. https://concepto.de/ciclo-del-nitrogeno/

Álvarez, R. C., Pulido, M. R., Morales, G. E. Á., Pérez, M. G., Sordo, R. N., Menduiña, R. C., & Solís, S. H. D. (2007). Efecto de la incorporación del abono verde Azolla en la reducción de afectaciones causadas por fitonematodos en cultivos de organopónicos. 6.

Andrade, F. H. (2016). Los desafíos de la agricultura. 136.

Angamarca, C. (2022). Generación y aprovechamiento de Nitrógeno bien expresado mediante la producción del simbionte Azolla–Anabaena, en el cultivo de acelga (Betavulgaris L.) en la parroquia Gualel, cantón y provincia Loja.

Angamarca-Ipiales, F. G., & Pinango-Nuñez, J. P. (2013). La evaluación de cuatro niveles de porquinaza, aplicados mediante dos sistemas de riego en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) var. Chrisphead., en la parroquia San Francisco cantón Ibarra. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2641

Angulo, J. R. de. (2020, diciembre 14). Lechuga batavia. Características, cultivo y propiedades. Agromática. https://www.agromatica.es/lechuga-batavia/

Aruani, M. C., Gili, P., Fernández, L., González Junyent, R., Reeb, P., & Sánchez, E. (2008). UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO EN DIFERENTES MANEJOS DE FERTILIZACIÓN EN LECHUGA (Lactuca sativa L.) Y SU EFECTO SOBRE ALGUNAS VARIABLES BIOLÓGICAS DEL SUELO, NEUQUEN - ARGENTINA. Agro Sur, 36(3), 147-157. https://doi.org/10.4206/agrosur.2008.v36n3-04

Bharali, A., Baruah, K., Bhattacharya, S. S., & Kim, K.-H. (2021). The use of Azolla caroliniana compost as organic input to irrigated and rainfed rice ecosystems: Comparison of its effects in relation to CH4 emission pattern, soil carbon storage, and grain C interactions. Journal of Cleaner Production, 313, 127931. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127931

Bogotá. (2015). Manual Lechuga.

Bonilla, S., Aubriot, L., Brena, B., Britos, A., Conde, D., Challar, G., De Leon, L., Fabre, A., Gabito, L., Gravier, A., Hein, V., Kruk, C., Pérez Baliero, M. del C., Piccini, C., Rodríguez-Gallego, L., & Vidal, L. (2009). Cianobacterias Planctónicas del Uruguay Manual para la identificación y medidas de gestión.

Bou, M. (2019, junio 4). Lechuga batavia: Tipos, características y propiedades. EspanaDiario.tips. https://espanadiario.tips/consejos/lechuga-batavia-propiedades

Bracamonte, S. (2015). La invasión del helecho acuático Azolla filiculoides en la marisma del Parque Nacional Doñana en 2005-2008. https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/16349-la-

invasion-del-helecho-acuatico-azolla-filiculoides-en-la-marisma-del-parque-nacional-donana-en-2005-2008?offset=7

Cabezas, R. (2011). PARA LA PRODUCIÓN DE NITRÓGENO EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA DE CAYAMBE, 2010.”. 83.

Cadena Jojoa, S. A. (2013). Efecto de Azolla sp., en la productividad y mejoramiento del suelo en la granja experimental Yuyucocha, Imbabura [BachelorThesis]. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2068

Camacho, E. C. (2017). Revolución Verde Agricultura y suelos, aportes y controversias: Eduardo Chilón Camacho. Apthapi, 3(3), 844-859.

Carabalí, J. A. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. Siembra, 6(2), Art. 2. https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641

Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yánez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). LOS APORTES DE NITRÓGENO EN LA AGRICULTURA. Revista Chapingo Serie Horticultura, X(2), 173-178. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.07.039

Castillo, C., & Mario, C. (s. f.). Determinacion de los efectos en rendimiento de la produccion de lechuga hidroponica y convencional en condiciones de El Zamorano, Honduras. 40.

Castro, R. (2002). Comunicación corta USO DEL GÉNERO AZOLLA COMO BIOFERTILIZANTE EN EL CULTIVO DEL ARROZ (Oryza sativa L.). 7.

Cedano, D. (2017). Efecto de tres fuentes nitrogenadas en el rendimiento y calidad Lactuca sativa L. HÍBRIDO RAIDER PLUS en Moche, Trujillo. Universidad Nacional de Trujillo. http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9575

Cervantes, I. (2011). Dinámica de crecimiento de variedades de lechuga Lactuca sativa L., con diferentes tratamientos de fertigación. https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3486

Chaux F, G., Caicedo B, J. R., & Fernandez M, J. E. (2013). TRATAMIENTO DE EFLUENTES PISCÍCOLAS (TILAPIA ROJA) EN LAGUNAS CON Azolla pinnata. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11(2), 46-56.

Coll, F. (2020). Tipos de agricultura. En Economipedia. https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-agricultura.html

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and subtropical agroecosystems, 14(2), 597-612.

Eda, E. (2009). MARCKO THEODORACOPOULOS, RICARDO LARDIZABAL & SALVADOR ARIAS. 36.

El Azolla filiculoides. (2008).

ESPOL-ICQ. (2004). APLICACIÓN DE LA SIMBIOSIS DIAZOTRÓFICA ENTRE AZOLLA Y ANABAENA COMO ABONO VERDE PARA EL CULTIVO DEL ARROZ EN EL LITORAL ECUATORIANO (IG-CV-053). UEFC-NRI-PROMSA.

FAO. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. 33.

García, S. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. 14.

Ghifari, Z. H. (2021). EN VARIOS TIPOS COMBINACIÓN DE FERTILIZANTE LÍQUIDO SISTEMA HIDROPÓNICO FLOTANTE. 10.

Gómez, C. F. L. (2019, marzo 5). Anabaena: Características, hábitat, reproducción y nutrición. Lifeder. https://www.lifeder.com/anabaena/

Guilcamaigua, D., & Chancusig, E. (2019). Evaluación de la calidad del agua de riego en tres agrosistemas: Tradicional, orgánico y convencional. http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/6932

Hidayat, R., Ma'sum, A. H., & Guniarti, G. (2022). Kajian Dosis Kompos Azolla Dan Pupuk Urea Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada (Lactuca Sativa). Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pertanian UNS, 6(1), 194-200.

infoagronomo. (2021, septiembre 28). Investigadores advierten crisis de fertilizantes—InfoAgronomo. https://infoagronomo.net/investigadores-advierten-crisis-de-fertilizantes/

Intagri. (2017). Guía de Fertilizantes Nitrogenados para Cultivos | Intagri S.C. https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/guia-de-fertilizantes-nitrogenados-para-cultivos

Iñon, D. (2018). CICLO DEL NITROGENO. 74.

La Rosa Villarreal, O. J. (2015). Cultivo de lechuga (Lactuca sativa) bajo condiciones del valle del Rímac, Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/948

Larrazabal, M. (2020, agosto 26). Fertilizantes NPK. ¿Qué son y para qué sirven? Tipos de Nutrientes. Sembralia. https://sembralia.com/fertilizantes-npk/

Lazo, R. P., & Gonzabay, J. Q. (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, 31(1), 118-130.

León Cayo, M. E. (2015). Respuesta de lechuga (Lactuca sativa L. var. Crispa) y remolacha (Beta vulgaris L. var. Conditiva) a la aplicación al suelo del consorcio de microalgas (Chlorella sp.) y (Scenedesmus sp.). [BachelorThesis, Quito: UCE]. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6757

María Florencia Benimeli, Adriana Plasencia, Roberto D. Corbella, & Dorkas Andina Guevara. (2019). El nitrogeno del suelo.

Martínez Barreno, B. A. (2019). Evaluación del biosol generado en la producción de biogás, como biofertilizante en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa). https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/29476

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

Medina, F. (s. f.). Necesidades nutricionales y de riego de la lechuga.

Meléndez, I. F. S., Almazán, R. C., & Alba, J. A. D. (s. f.). CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN SUELOS AGRÍCOLAS Y CULTIVOS DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO. 11.

Mendez, Y., Pérez, Y., Reyes, J., & Puente, V. (2018). Azolla sp., UN ALIMENTO DE ALTO VALOR NUTRICIONAL PARA LA ACUICULTURA. XX(1), 40.

Méndez-Martínez, Y., Pérez-Tamames, Y., Pérez, J. J. R., & Jimenez, V. D. P. (2018). Azolla sp., UN ALIMENTO DE ALTO VALOR NUTRICIONAL PARA LA ACUICULTURA. Biotecnia, 20(1), Art. 1. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v20i1.527

Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). Principios de Nutrición Vegetal (Cuarta). https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf

Molinero, M. (2009). Determinación de la dureza del agua por el método complexométrico en ciclo formativos. https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_17/M_JESUS_MOLINERO_1.pdf

Montaño, M. (2011). Azolla-Anabaena nuevo paradigma.pdf. http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16527/1/Azolla-Anabaena%20nuevo%20paradigma.pdf

Montaño, M. (Director). (2020, julio 2). DR. MARIANO MONTAÑO - PROMOTOR DE LA AGRICULTURA BIOGÉNICA. https://www.youtube.com/watch?v=hFBBnmGZHvA

Montaño, M. (2021). AGRICULTURA BIOGÉNICA. RevistArmonizate / Temas Holisticos. http://revistarmonizate.com/agricultura-biogenica/

Monteros, R. J. C. (2011). PARA LA PRODUCIÓN DE NITRÓGENO EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA DE CAYAMBE, 2010.”. 83.

Montoro, Y., Moreno, R., Gomero, L., & Reyes, M. (2009). Características de uso de plaguicidas químicos y riesgos para la salud en agricultores de la sierra central del Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 26(4), 466-472. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-46342009000400009&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Mora, H., Sandoval García, K., & García, R. V. (2017). FIJACIÓN DE NITRÓGENO EN MEDIOS ACUÁTICOS.

Morales, F. (2020). Agricultura sostenible y Ecotoxicología –. https://www.idab.csic.es/agricultura-sostenible-y-ecotoxicologia/

Mula, J. A. (2014, agosto 5). La conductividad eléctrica del agua de riego. Agromática. https://www.agromatica.es/conductividad-electrica-del-agua/

Namiq. (2020). (PDF) IMPACT OF NATURAL AZOLLA FILICULOIDES POWDERS ON SOME PHYSIOLOGICAL, NUTRITIONAL AND BIOLOGICAL PARAMETERS OF COMMON CARP (CYPRINUS CARPIO L.). https://www.researchgate.net/publication/344000120_IMPACT_OF_NATURAL_AZOLLA_FILICULOIDES_POWDERS_ON_SOME_PHYSIOLOGICAL_NUTRITIONAL_AND_BIOLOGICAL_PARAMETERS_OF_COMMON_CARP_CYPRINUS_CARPIO_L

Noreña, J. J., Aguilar, P. A., Malagón, E. M. E., Molano, P. J. T., Argüello, O., & Arroyave, M. G. (s. f.). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el Oriente Antioqueño. 154.

Olivieri, D. (2020, junio 19). La calidad del agua para riego. SAB spa. https://www.sabspa.com/es/la-calidad-del-agua-para-riego/

ONU. (2015). La Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detail-news/es/c/277124/

Ortega, L. (2012). Efectos de los nutrientes sobre la interacción entre el helecho acuático Azolla filiculoides y el gorgojo Stenopelmus rufinasus: Implicaciones para el control biológico. https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2063/1/104379.pdf

Paggi, S., & Mansour, G. (2017, julio 25). Contacto. Azolla para Todos. https://azollaparatodos.wordpress.com/contacto-2/

Pazos-Rojas, L. A., Marín-Cevada, V., García, Y. E. M., Baez, A., Villalobos-López, M. A., & Pérez-Santos, M. (s. f.). Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. 3(7), 14.

Peters, G. A., TOIA JR, R. E., EVANS, W. R., CRIST, D. K., MAYNE, B. C., & POOLE, R. E. (1980). Characterization and comparisons of five N2-fixing Azolla-Anabaena associations, I. Optimization of growth conditions for biomass increase and N content in a controlled environment. Plant, Cell & Environment, 3(4), 261-269.

Pineda Ortiz, dDanny. (2011). UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO. 55.

Portela, R. (2017, junio 6). Especies invasoras (X): Azolla, el asombroso helecho de agua. Ciencia y Biología. https://cienciaybiologia.com/azolla-helecho-agua/

PROMSA. (2004). Aplicación de la simbiosis diazotrófica entre azolla y anaena como abono verde para el cultivo del arroz en el litoral Ecuatoriano. https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24481/1/Promsa%20Informe%20t%C3%A9cnico%20final.pdf

Quinteros, S. (2019). Propuesta de Fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de Helianthus annuus L en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador. 48.

Ravelo Navarrete, A. A. (2019). Respuesta agronómica de la lechuga Lactuca sativa L: Con dos tipos de fertilizantes, químico y orgánico a diferentes dosis. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/45261

Redondo, F. (2021, abril 21). Riego V: Interpretación de Análisis Agua de Riego. CSR Laboratorio. https://csrlaboratorio.es/laboratorio/aguas/aguas-de-riego/riego-v-interpretacion-analisis-agua-de-riego/

Redondo, M. A. M. (2017, abril 24). Interpretación de un análisis de agua para riego [Text]. iAgua; iAgua. https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego

Ricardo, J. (2019). Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica Lactuca sativa L. en raíz flotante bajo diferentes soluciones nutritivas. https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4808

Rincon, L. (2008). La fertirrigación de la lechuga. https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484763550/la-fertirrigacion-de-la-lechuga

Rivera, L. M. (2020). Comportamiento de la azolla (Azolla spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. Cumbres, 3(2), 95-105. https://doi.org/10.48190/cumbres.v3n2a9

Robledo. (2021). Helecho de agua, una fuente de proteína en la ganadería | CONtexto ganadero. https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/helecho-de-agua-una-fuente-de-proteina-en-la-ganaderia

Rodríguez, A., Fernández, R., García, P., & Muñoz, J. (2019). Climatic Niche Shift during Azolla filiculoides Invasion and Its Potential Distribution under Future Scenarios. Plants, 8(10), Art. 10. https://doi.org/10.3390/plants8100424

Rosales-Loaiza, N., Díaz, L., Aiello-Mazzarri, C., & Avendaño, E. M.-. (s. f.). Cultivos a cielo abierto de las cianobacterias Nostoc LAUN0015 y Anabaena MOF015 para la producción de biomasa enriquecida. Pruebas piloto para cultivos masivos. 48(3), 6.

Ruiz, J. (2015). Elaboración de un abono orgánico a partir de Azolla filiculoides con hiperacumulación de hierro. (p. 128). https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9051/1/UPS-QT06731.pdf

Salas, R. (2015). SALINIDAD. Scribd. https://es.scribd.com/document/254931526/SALINIDAD-Presentacion

Salinas Toapanta, C. D. (2014). Introducción de cinco variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) en el barrio Santa Fe de la parroquia Atahualpa en el cantón Ambato [B.S. thesis].

Sanchez, K. (2020). “Evaluación de la Inversión Pública del Sistema de Riego por micro aspersión y goteo en la asociación campesina 15 de diciembre, cantón Paján 2016—2018”. 113.

Santos Rivas, B. E. (2019). Uso de la planta acuática flotante azolla sp. Como suplemento alimenticio de consumo directo en el cultivo de cyprinus carpio. http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14669

Sevillano García, F., Subramaniam, P., & Rodríguez Barrueco, C. (1986). La asociación simbiótica fijadora de nitrógeno atmosférico Azolla-Anabaena. CSIC - Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca (CEBA). https://digital.csic.es/handle/10261/85747

Sierra, C. (2013). Fertilización y Manejo del Suelo en Hortalizas: Alcachofa, Apio, Lechuga,Pepino Dulce, Pimiento ,Tomate y Zanahoria. 112.

SMEAP. (2020). SMEAP México. https://smeapmexico.org/

Swistock, B. (2021). Interpretación de los análisis del agua de riego. Penn State Extension. https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego

Ube Anchundia, J. L. (2021). Importancia del nitrógeno para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivó de café (Coffea spp.) en Ecuador [BachelorThesis, BABAHOYO: UTB, 2021]. http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9351

Urzúa, H. (2005). Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile. Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura, 32(2), 133-150.

Vanegas, J., González, G., & Vergara, A. (2010). Manual de procesamiento y conservación de lechugas (Lactuca sativa L.) variedades verde y morada crespa mínimamente procesadas.

Vinueza Albán, J. M. (2012). Determinación del aporte de oxígeno disuelto en ambientes acuíferos por la relación simbiótica de Azolla sp. Y Anabaena sp. Cayambe/2010 [BachelorThesis]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3733

Yara Latinoamerica. (2020). Ciclo del Nitrógeno—Nitratos vs Urea—YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=mMskSnJUNIg

11. Anexos

Anexo 1.
Formato para toma de datos de campo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TOMA DE DATOS DE CAMPO																								
NOMBRE:											**FECHA DE SIEMBRA**													
CULTIVO											REPETICION													
FECHA DE REGISTRO																								
TRATAMIENTO	**T0**					**T1**					**T2**					**T3**					**T4**			
VARIABLES	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4
Nº hojas																								
Ancho del tallo																								
Altura de la planta																								
Largo de la Hoja																								
Ancho de la hoja																								

Anexo 2.
Construcción del azolario.

Anexo 3.
Siembra de azolla y monitoreo de azollarios.

Anexo 4.
Invernadero rústico.

Anexo 5.

Proceso del cultivo de lechuga.

T2 Urea (N
T4 Azolla + Agua N

T3R1
AZOLLA
+
NITRAGUA
T4R1
AZOLLA
+
AGUA

T3R1
AZOLLA
+
NITRAGUA
T4R1
AZOLLA
+
AGUA
T4R2
AZOLLA
+
AGUA

T4R1
AZOLLA
+
AGUA
T3R1
AZOLLA
+
NITRAGUA

Anexo 6.

Socialización de resultados en Vilcabamba Asociación De Café Orgánico APECAEL.

Socialización de resultados en Vinces.

Anexo 7

Altura en cm del cultivo de Lechuga.

Altura_Planta

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Altura Planta	50	0,84	0,82	4,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	137,57	4	34,39	57,63	<0,0001
Tratamiento	137,57	4	34,39	57,63	<0,0001
Error	26,86	45	0,60		
Total	164,43	49			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,5968 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.				
Testigo	15,79	10	0,24	A			
NitrAgua	16,63	10	0,24		B		
Urea	17,40	10	0,24			C	
Azolla+NitrAgua	19,70	10	0,24				D
Azolla	19,95	10	0,24				D

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

Anexo 8

Diámetro de planta de Lechuga.

Diametro

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Diametro	50	0,60	0,57	8,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,07	4	0,27	17,11	<0,0001
Tratamiento	1,07	4	0,27	17,11	<0,0001
Error	0,71	45	0,02		
Total	1,78	49			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0157 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
Azolla+NitrAgua	1,36	10	0,04	A	
NitrAgua	1,37	10	0,04	A	
Testigo	1,40	10	0,04	A	
Urea	1,42	10	0,04	A	
Azolla	1,75	10	0,04		B

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

Anexo 9

Numero hojas de planta de Lechuga.

No_Hojas

Variable	N	R²	R² Aj	CV
No Hojas	50	0,81	0,80	7,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	231,20	4	57,80	49,26	<0,0001
Tratamiento	231,20	4	57,80	49,26	<0,0001
Error	52,80	45	1,17		
Total	284,00	49			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,1733 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.				
Testigo	11,80	10	0,34	A			
NitrAgua	15,00	10	0,34		B		
Urea	15,40	10	0,34		B		
Azolla	16,40	10	0,34			C	
Azolla+NitrAgua	18,40	10	0,34				D

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

Anexo 10

Peso de planta de Lechuga.

Peso

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Peso	50	0,80	0,79	11,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20492,68	4	5123,17	46,31	<0,0001
Tratamiento	20492,68	4	5123,17	46,31	<0,0001
Error	4978,30	45	110,63		
Total	25470,98	49			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 110,6289 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
NitrAgua	68,20	10	3,33	A		
Testigo	71,20	10	3,33	A		
Urea	102,90	10	3,33		B	
Azolla	113,30	10	3,33			C
Azolla+NitrAgua	114,30	10	3,33			C

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

Anexo 11

Costos de producción.

Costos variables del cultivo de lechuga

Tratamiento	Cantidad de N Kg/ha	Precio De N $/kg	Costo N	Aplicación	Costos variables
Testigo	0	1,2	0	0	0
Urea	0,07	1,2	0,084	2	0,168
NitrAgua	130	1,2	156	100	15600
Azolla+NitrAgua	130,32	1,2	156,384	100	15638,4
Azolla	32800	1,2	39360	15	590400

Ingreso bruto en el cultivo de lechuga

Tratamiento	Rendimiento Kg/planta	Número de plantas	Kg/trat.	Precio Kg	Ingreso bruto $	Cosecha + Trasporte	Ingreso bruto
Testigo	0,02	50000	1000	1	1000	200,00	800
Urea	0,26	50000	13000	1	13000	200,00	12.800,00
NitrAgua	0,24	50000	12000	1	12000	200,00	11700
Azolla+NitrAgua	0,31	50000	15500	1	15500	200,00	15200
Azolla	0,1	50000	5000	1	5000	200,00	4700

Dominancia de tratamiento

Tratamiento	Costos variables	Ingresos Brutos	Beneficio Neto	Análisis de dominancia
Testigo	0	800	800	
Urea	0,168	12800	12800	
NitrAgua	15600	11700	11700	
Azolla+NitrAgua	15638,4	15200	15200	D
Azolla	590400	4700	4700	

Tasa de retorno marginal en los tratamientos del cultivo de lechuga

Tratamiento	Costos variables $/trat	Costos marginales	Beneficio neto $/trat.	Beneficios Netos marginales $/trat.	Tasa de retorno marginal %
Testigo	0		800	0	0,00
Urea	0,168	0,168	12800	12000	7142857,1
NitrAgua	15600	15600	11700	10900	69,87
Azolla+NitrAgua	15638,4	15638,4	15200	14400	92,08
Azolla	590400	590400	4700	3900	0,66

Anexo 12
Certificación de traducción Abstract

Loja, 7 de noviembre de 2022

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 integración curricular o de titulación denominado **"Generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica azolla-anabaena en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) en la parroquia Vilcabamba, cantón y provincia de Loja.** de autoría de **Yajahira Alexandra Calle Herrera,** portadora de la cédula de identidad, número **1105764268**, estudiante de la carrera de Ingeniería Agrícola 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