



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

### 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”.

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

AUTORA:

Gabriela Natali Abad Calva

DIRECTOR:

Edison Ramiro Vásquez, PhD.

Loja – Ecuador

2022

## Certificación del trabajo de titulación

Loja, 1 de julio de 2022

Edison Ramiro Vásquez, PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del trabajo de titulación denominado: **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”.**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Gabriela Natali Abad Calva**, con cédula de identidad Nro.1105987042, 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.



**FIRMA**

Edison Ramiro Vásquez, PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Gabriela Natali Abad Calva**, declaro ser autor/a del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular o de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:** 

**Cédula de identidad:** 1105987042

**Fecha:** 13 de septiembre del 2022

**Correo electrónico:** gabriela.abad@unl.edu.ec

**Teléfono celular:** 0982595896

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

Yo, **Gabriela Natali Abad Calva** declaro ser autora de la tesis titulada: **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”.**, 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, a los 13 días del mes de septiembre de dos mil veintidós.

**Firma:** 

**Autor:** Gabriela Natali Abad Calva

**Cédula:** 1105987042

**Dirección:** Sucre, Loja Ecuador

**Correo electrónico:** gabriela.abad@unl.edu.ec

**Teléfono celular:** 0982595896

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del trabajo de titulación:** Edison Ramiro Vásquez, PhD.

**Tribunal de Grado:**

Mg.Sc. Pedro Manuel Guaya      **Presidente**

Mg.Sc. Miguel Ángel, Villamagua **Vocal**

Mg.Sc. Jimmy Javier Cordero      **Vocal**

## **Dedicatoria**

Dedico con todo mi corazón mi proyecto de investigación de manera especial a mi madre Rosa Isabelina, quien con su paciencia y esfuerzo me apoyo con sus sabios consejos e invirtió su tiempo para educarme con amor y valores.

A mi abuelita Ermandina por ser un ángel, y un ejemplo de fortaleza, humildad, paciencia, y perseverancia en mi vida.

A mi familia y compañeros por brindarme tantas lecciones de motivación, cariño y ofrecerme esa mano solidaria a cada instante.

Finalmente, dedico mi trabajo a todos los docentes que aportaron con sus conocimientos, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria, además de brindarme el apoyo para desarrollarme profesionalmente tanto en valores como académicamente con una visión distinta para solucionar múltiples problemas que se presentan en el sector social, sobre todo en el campo agrícola donde están concentrados la mayor parte de gente de nuestra provincia y el país, garantizando así una mejor calidad de vida.

*Gabriela Natali Abad Calva*

## **Agradecimiento**

Debo agradecer de manera especial y sincera a mi director de tesis Dr. Edison Ramiro Vázquez por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección, puesto que su apoyo y confianza ha sido un aporte invaluable, en la calidad de mi trabajo como estudiante.

Para mi mejor amiga Mía y compañeros Jhuly, María, Sulema, Edison, Fabricio, Jeremy y Alex no tengo más que agradecimiento, especialmente por los momentos compartidos tanto en lo personal como en lo académico durante este largo paso por la carrera.

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo, naturalmente, va para mis tíos Alvarita, Josefina, Miguel, Juan, Manuel y Francisco ya que, sin su apoyo, asistencia e inspiración, no hubiera sido posible culminar este trabajo. Y por encima de todo y con todo mi amor a mi madre, Rosa Isabelina, por ser un modelo a seguir de perseverancia, honestidad, tenacidad y triunfo en mi vida, también quiero aprovechar la oportunidad para agradecerle a su esposo Ángel Ramón en vista de que sin su apoyo durante todos estos años no habría sido posible conseguir este sueño.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, profesores, y administrativos que contribuyeron a mi formación profesional.

Finalmente, agradezco a los técnicos de la quinta experimental “La Argelia”, quienes con su disposición me acompañaron en los talleres y socialización de la presente investigación.

***Gabriela Natali Abad Calva***

## Índice de contenidos

	Página
<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación del trabajo de titulación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Carta de autorización del Trabajo de Titulación</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de contenidos</b> .....	vii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xiii
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2.Resumen</b> .....	2
2.1.Abstract.....	3
<b>3.Introducción</b> .....	4
<b>4.Marco teórico</b> .....	7
4.1.La Agricultura y la importancia del nitrógeno.....	7
4.1.1.Agricultura.....	7
4.2.Agricultura en el Ecuador .....	8
4.3.El nitrógeno.....	9
4.3.1El ciclo del nitrógeno .....	10
4.3.2.El nitrógeno en la agricultura.....	11
4.3.3.Fertilizantes.....	11
4.4.Urea.....	12
4.5.Fijación biológica de nitrógeno .....	12
4.6.Nitrógeno bien expresado .....	13
4.6.1.¿Qué diferencia a una proteína de la otra?.....	14
4.6.2.Generalidades de Azolla .....	15
4.7.Anabaena.....	16
4.7.1.Condiciones ambientales .....	17
4.8.Simbiosis Anabaena-Azolla.....	17

4.8.1.Reproducción y composición de Azolla .....	17
4.9.Azolla en Ecuador.....	18
4.9.1.Cultivo de la Azolla-Anabaena.....	18
4.9.2.Ventajas y desventajas .....	19
4.9.3.Importancia de Azolla en la producción agropecuaria .....	19
4.10.Brócoli.....	22
4.10.1.Definición y taxonomía del cultivo.....	22
4.10.2.Fases de fenológicas .....	22
4.10.3.Requerimientos hídricos .....	23
4.10.4.Calidad de agua de riego.....	23
4.10.5.Clima y suelo .....	24
4.10.6.Requerimiento de nitrógeno en el cultivo de brócoli.....	24
4.10.7.Plagas y enfermedades .....	26
4.10.8.Control fitosanitario .....	27
4.10.9.Control cultural.....	27
4.10.10.Control biológico .....	28
<b>5.Metodología .....</b>	<b>29</b>
5.1.Ubicación del experimento .....	29
5.2.Materiales y equipos .....	30
5.3.Metodología para el primer objetivo.....	30
5.4.Metodología para el segundo objetivo.....	31
<b>6.Resultados .....</b>	<b>34</b>
6.1.Obtención de nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores .34	
6.1.1.Crecimiento de Azolla .....	35
6.1.2.Producción de biomasa de Azolla.....	35
6.1.3.Contenido de nitrógeno en NitrAgua.....	36
6.1.4.Contenido de nitrógeno en biomasa de Azolla .....	37
6.1.5.Contenido de P en NitrAgua .....	37
6.1.6.Contenido de potasio en NitrAgua.....	38
6.1.7.Contenido de Ca y Mg en NitrAgua .....	38
6.1.1.Contenido de B en NitrAgua.....	39
6.1.2.Contenido de cloro en NitrAgua .....	40
6.1.3.Contenido de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> y Na en NitrAgua .....	40
6.1.4.pH en NitrAgua.....	41

6.1.1. Conductividad eléctrica en NitrAgua.....	42
6.1.2. Relación de absorción de sodio (RAS) en NitrAgua .....	42
6.1.3. Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en NitrAgua.....	43
6.1.4. Dureza en NitrAgua .....	43
6.1.5. Evolución de cultivo de Azolla.....	44
6.2. Evaluación el nitrógeno bien expresado en el cultivo Brócoli ( <i>Brassica oleracea</i> ).....	44
6.2.1. Altura de planta.....	44
6.2.2. Número de hojas .....	47
6.2.3. Peso de la pella.....	48
<b>7. Discusión.</b> .....	49
7.1. Obtención de nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores .	49
7.1.1. Crecimiento de Azolla filiculoides .....	49
7.1.2. Producción de Azolla.....	50
7.1.3. Contenido de nitrógeno en la NitrAgua .....	50
7.1.4. Contenido de nitrógeno en biomasa de Azolla .....	51
7.1.5. Contenido de potasio en NitrAgua.....	52
7.1.6. Contenido de Ca y Mg en NitrAgua .....	52
7.1.7. Contenido de Na, B, Cl y $\text{SO}_4^-$ en NitrAgua.....	52
7.1.8. Contenido de pH, CE y RAS en la NitrAgua.....	53
7.1.9. Dureza en NitrAgua .....	53
7.1.10. Contenido de $\text{HCO}_3^-$ en la NitrAgua.....	54
7.2. Evaluar el nitrógeno bien expresado en el cultivo Brócoli .....	54
7.2.1. Altura de la planta.....	54
7.2.2. Diámetro de planta.....	55
7.2.3. Número de hojas .....	55
7.2.4. Peso de la pella.....	55
<b>8. Conclusiones</b> .....	56
<b>9. Recomendaciones</b> .....	57
<b>10. Bibliografía</b> .....	58
<b>11. Anexos</b> .....	82

## Índice de tablas

	Página
<b>Tabla 1.</b> Estados de oxidación del nitrógeno. ....	10
<b>Tabla 2.</b> Clasificación taxonómica de Azolla. ....	16
<b>Tabla 3.</b> Condiciones ambientales para Anabaena.....	17
<b>Tabla 4.</b> Composición química de Azolla. ....	18
<b>Tabla 5.</b> Distribución geográfica del género Azolla en el Ecuador. ....	18
<b>Tabla 6.</b> Clasificación taxonómica del cultivo de brócoli.....	22
<b>Tabla 7.</b> Coeficiente de cultivo de brócoli. ....	23
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de calidad de agua de riego. ....	24
<b>Tabla 9.</b> Requerimientos nutricionales del cultivo de brócoli. ....	24
<b>Tabla 10.</b> Requerimientos nutricionales de cultivos hortícolas. ....	25
<b>Tabla 11.</b> Necesidades nutricionales de brócoli.....	25
<b>Tabla 12.</b> Tratamientos del experimento.....	31
<b>Tabla 13.</b> Tratamientos del experimento.....	32
<b>Tabla 14.</b> Propiedades químicas del suelo. ....	34
<b>Tabla 15.</b> Propiedades químicas del agua del Azollario. ....	34
<b>Tabla 16.</b> Composición química de biomasa de Azolla.....	37

## Índice de figuras

	Página
<b>Figura 1.</b> Ciclo del nitrógeno en la naturaleza. ....	11
<b>Figura 2.</b> Esquema de proteínas bien y mal plegadas. ....	14
<b>Figura 3.</b> Azolla filiculoides (Abad, 2021). ....	16
<b>Figura 4.</b> Curva de absorción de N en cultivo de brócoli Variedad Legacy. ....	26
<b>Figura 5.</b> Larva del falso medidor, Abad (2021). ....	26
<b>Figura 6.</b> Larva de gusano soldado, Abad (2021). ....	27
<b>Figura 7.</b> Mapa de ubicación de proyecto de investigación. ....	29
<b>Figura 8.</b> Dimensiones del Azollario. ....	30
<b>Figura 9.</b> Diseño experimental. ....	31
<b>Figura 10.</b> Esquema de unidad experimental. ....	33
<b>Figura 11.</b> Crecimiento de biomasa de Azolla en m <sup>2</sup> . ....	35
<b>Figura 12.</b> Producción de biomasa de Azolla ....	36
<b>Figura 13.</b> Contenido de nitrógeno. ....	36
<b>Figura 14.</b> Contenido de P en NitrAgua. ....	37
<b>Figura 15 .</b> Contenido de K en NitrAgua. ....	38
<b>Figura 16.</b> Contenido de Ca y Mg en NitrAgua. ....	39
<b>Figura 17.</b> Contenido de B en NitrAgua. ....	39
<b>Figura 18.</b> Contenido de Cl <sup>-</sup> en NitrAgua. ....	40
<b>Figura 19.</b> Contenido de Na y SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> en NitrAgua. ....	41
<b>Figura 20.</b> pH en NitrAgua. ....	41
<b>Figura 21.</b> Conductividad eléctrica en NitrAgua. ....	42
<b>Figura 22.</b> RAS en NitrAgua. La Argelia, Loja. 2021. ....	42
<b>Figura 23.</b> Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) en NitrAgua. ....	43
<b>Figura 24.</b> Dureza en NitrAgua. ....	43
<b>Figura 25.</b> Evolución del cultivo de Azolla ....	44
<b>Figura 26.</b> Modelo de regresión lineal para altura de brócoli. ....	45
<b>Figura 27.</b> Altura de planta de brócoli. ....	45
<b>Figura 28.</b> Modelo de regresión lineal para diámetro en brócoli. ....	46
<b>Figura 29.</b> Diámetro del tallo en brócoli. ....	46
<b>Figura 30.</b> Modelo de regresión lineal para número de hojas de brócoli. ....	47
<b>Figura 31.</b> Número de hojas en brócoli. ....	48

**Figura 32.** Peso de la pella de brócoli..... 48

## Índice de anexos

	Página
<b>Anexo 1.</b> Elaboración de Azollarios.....	82
<b>Anexo 2.</b> Trasplante y crecimiento de Azolla. ....	82
<b>Anexo 3.</b> Monitoreo de Azollario.....	83
<b>Anexo 4.</b> Monitoreo del cultivo de Azolla. ....	83
<b>Anexo 5.</b> Monitoreo del cultivo de brócoli. ....	84
<b>Anexo 6.</b> Alimentación de animales menores. ....	84
<b>Anexo 7.</b> Control de precipitación y evapotranspiración del Azollario. ....	85
<b>Anexo 8.</b> Control manual de plagas. ....	85
<b>Anexo 9.</b> Control de parámetros climáticos. ....	86
<b>Anexo 10.</b> Emergencia del cultivo de brócoli. ....	86
<b>Anexo 11.</b> Cosecha del cultivo de brócoli.....	87
<b>Anexo 12.</b> Pellas del cultivo de brócoli.....	88
<b>Anexo 13.</b> Altura en cm del cultivo de brócoli. ....	89
<b>Anexo 14.</b> Diámetro de planta de brócoli.....	89
<b>Anexo 15.</b> Numero hojas de planta de brócoli. ....	90
<b>Anexo 16.</b> Peso de planta de brócoli. ....	90
<b>Anexo 17.</b> Costos de producción.....	91
<b>Anexo 18.</b> Certificación de traducción Abstract .....	92

**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”.**

## 2. Resumen

El nitrógeno es un elemento presente en la atmosfera en un 78%, sin embargo, las cantidades disponibles en el suelo no son suficientes para la nutrición vegetal. Hace varios años el ser humano aprendió a sintetizar y fabricar fertilizantes inorgánicos nitrogenados con el fin de suplir la deficiencia del nutriente en el suelo, actualmente la dependencia de este macronutriente amenaza la seguridad alimentaria debido a sus precios desbocados. Por consiguiente, se busca alternativas seguras y sustentables para reemplazar las necesidades del sector agrícola. La implementación de Azolla, un helecho acuático, capaz de fijar nitrógeno mediante la simbiosis con la cianobacteria *Anabaena*, podría ser la solución para enriquecer el suelo con macronutrientes y micronutrientes. En la presente investigación se aplicó Azolla como fuente natural de nitrógeno para la producción de cultivo de brócoli, en la parroquia Sucre en las propiedades de la quinta experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja. Se establecieron cinco tratamientos: Testigo (25 kg suelo), Urea (25 kg de suelo + 40 mg l<sup>-1</sup> N), NitrAgua (25 kg de suelo + 100 mg l<sup>-1</sup> N), Azolla (18 kg de suelo + 8,33 kg de Azolla) y Azolla más NitrAgua (Azolla 18 kg de suelo + 8,33 kg de Azolla + 100 mg l<sup>-1</sup> N). Los datos recopilados fueron: altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y peso de pella a los 15, 30, 60, 75 días. Obteniendo los mejores resultados a los 75 días aportando biomasa de Azolla más NitrAgua; en altura de planta (70 cm); diámetro de tallo (19 mm), número de hojas (21), y, peso de pella (305 g). En conclusión, el uso de la biomasa de Azolla más la aplicación de NitrAgua es un eficaz biofertilizante ya que el cultivo de brócoli se beneficia del aporte de nitrógeno bien expresado.

**Palabras clave:** Biofertilizante, Fijación, Nitrógeno, Azolla, NitrAgua (Nbe), Azollario.

## 2.1. Abstract

Nitrogen is an element present in the atmosphere at 78%, however, the quantities available in the soil are not sufficient for plant nutrition. Several years ago, the human learned to synthesize and manufacture inorganic nitrogen fertilizers so as to supply the nutrient deficiency in the soil, currently the dependence on this macronutrient threatens food security due to its runaway prices. Therefore, safe and sustainable alternatives are sought to meet the needs of the agricultural sector. The implementation of Azolla, an aquatic fern, capable of setting nitrogen through symbiosis with the *Anabaena* cyanobacterium, may be the solution to enrich the soil with macronutrients and micronutrients. In the present research, Azolla was applied as a natural source of nitrogen for the production of broccoli crops, in the Sucre parish on the properties of the experimental farm "La Argelia" of the Universidad Nacional de Loja. Five treatments were established: Testigo (25 kg soil), Urea (25 kg soil + 40 mg l<sup>-1</sup> N), NitrAgua (25 kg soil + 100 mg l<sup>-1</sup> N), Azolla (18 kg soil + 8.33 kg of Azolla) and Azolla plus NitrAgua (Azolla 18 kg of soil + 8.33 kg of Azolla + 100 mg l<sup>-1</sup> N). The data gathered was: plant height, number of leaves, stem diameter and pella weight at 15, 30, 60, and 75 days. Obtaining the best results at the 75 days, providing Azolla biomass plus NitrAgua, in plant height (70 cm), stem diameter (19 mm), number of leaves (21), and, pella weight (305 g). To sum up, the use of Azolla biomass plus the application of NitrAgua is an effective biofertilizer owing to the fact that the broccoli crop benefits from the well-expressed nitrogen supply.

**Keywords:** Biofertilizer, Fixation, Nitrogen, Azolla, NitrAgua (Nbe), Azollario.

### 3. Introducción

Desde tiempos ancestrales la agricultura es una de las actividades que ha servido de sustento en el proceso de alimentación de los seres humanos, enriquecimiento económico, y desarrollo social de los países (Borja & Valdivia, 2015; Bula, 2020). De la misma manera según las Naciones Unidas (2018), en la agenda 2030 se plantea como una herramienta necesaria para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, disminuir la pobreza, el hambre y alcanzar seguridad alimentaria para la población mundial.

En un principio los seres humanos no tenían que preocuparse por el rendimiento de sus cultivos, pero evidentemente a partir del siglo XX, la agricultura intensiva fue agotando la calidad de estos recursos (Arévalo et al., 2019), actualmente se utiliza nuevas tecnologías (fertilizantes químicos) que generan un aumento significativo en la producción de los cultivos (López & Barrantes, 2017); a pesar de ello González (2019), manifiesta que su uso provoca impactos negativos en el suelo: variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y de la micro fauna.

Por otro lado, Goitía & Romero (2011) expresan que otros efectos se evidencian en aguas superficiales y subterráneas conduciendo a su degradación conocida como eutrofización. Así mismo, Vega (2017) argumenta que las acumulaciones de fertilizantes nitrogenados tienen relación directa con padecimientos en los seres humanos.

Por estas razones durante décadas surgieron diferentes tipos de agricultura alternativa: permacultura, orgánica, sustentable, biológica y agroecológica cuya principal característica es beneficiarse de los recursos que se encuentran en la naturaleza, pero sin disminuirlos. Otra particularidad importante es su contribución al óptimo cuidado del ambiente y en especial el manejo y conservación de los recursos agua y suelo (Condiza, 1998; Pazmiño et al., 2017). Un nuevo modelo agrícola que transita los mismos lineamientos es el que expresa Montaña (2021), “la agricultura biogénica”, que consiste en generar “nitrógeno bien expresado” (Nbe) a partir de la asociación simbiótica de Azolla- Anabaena.

El nitrógeno es un elemento esencial, considerado un macronutriente que influye en el desarrollo vegetativo de las plantas y se encuentra en el aire aproximadamente en un 78% como  $N_2$  Orchardson (2020), tras su ciclo se integra de la atmósfera al suelo a través de dos procesos: la oxidación y la fijación biológica (Benimeli et al., 2019). Paredes (2013) señala que, simbiosis es una forma de fijación del nitrógeno que se caracteriza por la asociación que existe entre los organismos que la conforman, “estos pueden ser: bacterias, algas verde-azules, cianobacterias

y actinomicetos”, entre ellos la más conocida la asociación de la cianobacteria Anabaena con el helecho acuático del género Azolla (Figuroa, 2004).

Azolla (*Azolla filiculoides*) es una especie de helecho que se desarrolla en cuerpos de agua, de fácil propagación y tratamiento, se caracteriza por unirse con la cianobacteria Anabaena, formando una asociación simbiótica capaz de fijar nitrógeno atmosférico (Aldás-Jarrín et al., 2016). Cabezas (2011) en estudios realizados en campo sostiene que las principales ventajas son aumento de materia orgánica, ahorro del uso de fertilizantes, mejora de estructura del suelo, control de malezas acuáticas y proporciona forrajes nutritivos para alimentación de animales de granja; efectos que la convierten en una atractiva alternativa para reemplazar los fertilizantes comerciales. Montaña (2010), hace notar que la capacidad de fijación biológica alcanza los 1 200kg N/ha/año bajo óptimas condiciones.

Van Hove 1989 y Domínguez 1997; citados en (Mendez et al., 2018), señalan que Azolla en sistemas acuáticos permite una alta capacidad de acumulación de nutrientes, teniendo un rendimiento de N de (155 a 250 mg/m<sup>2</sup>/día) y de P (60 a 75 mg/m<sup>2</sup>/día). Al rededor del mundo el cultivo de Azolla se encuentra integrado en diferentes zonas de abundante radiación solar; antiguamente originaria de Europa en la actualidad se ha extendido desde el norte al sur de América, en gran parte de Asia y la costa de África tropical incluyendo Alaska, en países como Vietnam se utiliza como alimento para el ganado, la piscicultura y puede reemplazar el 50% de suplemento alimenticio para cerdos, generando oportunidad de asociar un nuevo modelo de manejo que garantiza una producción rentable que protege aspectos: ambientales, económicos y sociales (Magues & Ruiz, 2004)

De igual manera, en Ecuador se está llevando a cabo un sinnúmero de investigaciones en distintas provincias encabezados por el movimiento nacional “Ecuador Biogénico”; entre ellas se encuentran: Los Ríos, El Oro, Pichincha, Guayas y Loja (Montaña, 2010). Según investigaciones realizadas en Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL) se prevé que el cultivo de Azolla puede llegar a sustituir la urea (CON<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) en un 100%, resultados obtenidos en los sitios Arrozal y El Boquerón, del cantón Daule, donde se obtuvieron rendimientos de 5,98 t/ha de arroz, fertilizadas con Azolla, mientras que, en los cultivos inoculados con urea, a nivel mundial se presentan promedios de 4,5 t/ha (EL UNIVERSO, 2010)

Desde el punto de vista de González (2019) la mayoría de la agricultura convencional depende de la fertilización química para rendimiento de los cultivos, a nivel mundial los agricultores usaron 181,9 millones de toneladas de fertilizantes químicos entre el 2014 y 2015, de los cuales 102,5 millones le corresponden al N; mientras que, en Ecuador su consumo en el

2014 fue de aproximadamente 442 791,166 t y en el 2017 aumento a 460 396,464 t lo que convierte al país dependiente de este insumo (ARCAL, 2017; Arrien, 2018).

En la provincia de Loja el uso de fertilizantes es de 20,46 % en cultivos permanentes y de 52,63 % en cultivos transitorios de la misma manera en el cantón Loja, el consumo de agroquímicos por parte del sector agrícola representa: 65,6 % agricultura familiar, medianos productores 57,7 % y 65,7 % agricultura empresarial,(GAD-LOJA, 2019; Pozo, 2017). Por su parte Benítez et al. (2016) argumentan que la baja productividad, el deterioro y contaminación de los suelos se da por el uso de agroquímicos, que no solo afecta a los productores sino también a los consumidores finales. En el territorio de Loja la agricultura familiar produce una variedad de hortalizas: brócoli (*Brassica oleracea*), lechuga *Lactuca sativa*), acelga(*Beta vulgaris*), apio (*Apium graveolens*), tomate(*Lycopersicon*), espinaca(*Spinacia oleracea*), las mismas que para su desarrollo requieren altos contenidos de N (Mendieta, 2003), dado que los suelos del cantón tienen bajo contenido de N, (0,07 a 0,13 %), es necesario implementar alternativas menos costosas y orgánicas necesarias para incrementar el contenido de este elemento en el suelo (Guáman & Yaguana, 2010).

#### **Objetivo general**

- Contribuir a la agricultura familiar campesina con la elaboración y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado mediante la simbiosis de Azolla-Anabaena.

#### **Objetivos específicos**

- Obtener nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores del cantón y provincia de Loja.
- Evaluar el nitrógeno bien expresado en el cultivo Brócoli (*Brassicca oleracea*)

## 4. Marco teórico

### 4.1. La Agricultura y la importancia del nitrógeno

#### 4.1.1. Agricultura

Borja & Valdivia (2015) consideran que la agricultura es una actividad básica constituida por dos términos: agri sinónimo de “campo” y cultura que se interpreta como “cultivo o cultivado”, es decir campo de cultivo o labor de la tierra que involucra varias áreas del conocimiento mediante las cuales se logra la alimentación de personas y animales, del mismo modo que genera materias primas de varios tipos para ser usadas en otras industrias, aspectos fundamentales para el sustento de la seguridad alimentaria y desarrollo económico de la población mundial (Sarandón, 2020).

Históricamente la agricultura tuvo sus orígenes hace aproximadamente 15 000 años en la región del suroriente de Asia, que poseía condiciones climatológicas favorables para el crecimiento de un sinnúmero de cultivos. 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. Con base a este descubrimiento, los pobladores comenzaron a sembrar, cuidar e incluso regar sus cultivos, estos cambios juntamente con la domesticación de animales, trajeron consigo el desarrollo de las primeras civilizaciones, facilitado por el sedentarismo. La difusión mundial de la agricultura hace aproximadamente 10 mil años, sucedió cuando migrantes llevaron consigo los cultivos de trigo, cebada y centeno desde el Medio Oriente a Egipto y Europa. En la misma época comenzó la propagación de cultivos de mijo y arroz en el este de Asia. Asimismo, se difunden los cultivos de maíz, quinua y papa al continente americano a través de la migración de aborígenes americanos (Andrade, 2016).

FAO (2012) señala que desde ese momento 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. Décadas más tarde, surge un nuevo concepto en la agricultura, la denominada Revolución Verde a mediados del siglo XIX, este proceso dio paso a fertilizantes nitrogenados relativamente económicos, el acceso a herbicidas y el creciente rendimiento de los cultivos (Andrade, 2017).

Existen distintas formas de llevar a cabo la agricultura, basadas en la disponibilidad del agua, la magnitud de la producción, su relación con el mercado, los objetivos de rendimiento,

los métodos y objetivos. Los tipos de agricultura con base a los métodos son: agricultura industrial realizada a gran escala, para ello invierte la utilización de maquinaria agrícola generando terrenos empobrecidos, vulnerables a enfermedades y plagas (Greenpeace, 2017). Por otro lado, existe la agricultura tradicional, que tiene como finalidad la subsistencia y se practica con maquinaria tradicional (Coll, 2020).

En las últimas décadas, la agricultura alternativa ha representado una nueva forma de cultivar; otra forma de agricultura es la ecológica, esta se basa en generar productos no contaminantes para la obtención de la producción; la agricultura natural: no requiere de maquinaria agrícola y recursos para producir y la agricultura orgánica: no deteriora el terreno en el que se realiza (Coll, 2020).

Otra alternativa de producción surge bajo el nombre de agricultura biogénica, constituyendo la era de conocimiento tropical, esta es capaz de producir nitrógeno natural; el término biogénico significa que genera vida, permitiendo cumplir una de las funciones originales de la naturaleza (Montaño et al., 2014).

La agricultura familiar representa un mecanismo para incrementar la economía campesina; además, es “la explotación familiar campesina la que conforma la unidad primaria básica de la sociedad y la economía” Shanin, 1976 citado en (Martínez, 2015).

#### **4.2. Agricultura en el Ecuador**

Valarezo & Torres (2004), afirman que desde la creación del Ecuador en 1830, la agricultura ha sido uno de los grandes motores productivos que permite el aprovechamiento de la riqueza de los suelos y, Martínez (2015), que es una de las principales fuentes generadoras de empleo e ingresos para el sector rural, debido a que el 30 % de la población se dedica a actividades agrícolas. Además, es un sector económico, fundamental para el país debido a que la población vive y se alimenta de la agricultura (Sánchez et al., 2018).

La agricultura es uno de los ejes principales en los que se desenvuelve la economía y la seguridad alimentaria del país. El reporte de Productividad Agrícola del Ecuador indica que esta actividad aporta un promedio de 8.5 % al Producto Interno Bruto, siendo el sexto sector que aporta a la producción del Estado (Andrade, 2017).

Para que se puedan producir alimentos son necesarios: agua, suelo, aire, flora y fauna, que son recursos naturales denominados renovables, aunque en los últimos años esta información está en cuestión por los acelerados cambios globales; su uso y explotación se ha realizado de forma inadecuada alterando las condiciones naturales (Serrato, 2017).

Para Loaiza (2010), el suelo es un sistema natural abierto ideal para el desarrollo de las plantas; se forma en la superficie de la corteza terrestre y alberga una gran diversidad de seres vivos; además, es considerado un recurso esencial y natural, sin embargo, día a día se van agravando los problemas medioambientales como erosión agrícola a causa de la demanda agrícola, compactación, asociada al uso de maquinaria agrícola pesada y uso de fertilizantes nitrogenados.

Según FAO (2013), en la agricultura, para el óptimo desarrollo de los cultivos el suelo debe aportar fertilidad, y es el contenido de nutrientes para ser aprovechado por las plantas quien la provee. En el suelo existen macro y micronutrientes; los macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio(K) y magnesio (Mg) son indispensables para el crecimiento y productividad y se requieren en grandes cantidades, mientras que los micronutrientes son demandados por las plantas en pequeñas cantidades, pues su deficiencia ocasiona en la mayoría de los casos de desórdenes fisiológicos en las plantas; sin embargo, un nivel adecuado de micronutrientes en la planta permite que los macronutrientes sean usados eficientemente por los cultivos. Los principales micronutrientes son: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) y Azufre (S) (Kirkby & Romheld, 2008).

### **4.3. El nitrógeno**

El nitrógeno es un elemento químico esencial para los seres vivos, considerado un macronutriente y un componente básico de proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos celulares (Benimeli et al., 2019). Además, durante décadas se ha demostrado que es un factor limitante en el crecimiento de las plantas, y su deficiencia puede provocar notables descensos en la producción vegetal (Navarro & Navarro, 2003).

El nitrógeno ( $N_2$ ) como elemento químico en el planeta se encuentra aproximadamente en un 98% dentro de la estructura química de las rocas, suelo y sedimentos, el resto oscila en un ciclo dinámico entre la atmósfera, el agua, plantas y animales, pero esa forma el N no está disponible para las plantas. En la naturaleza existen fuentes de reserva de N aprovechables para el reino vegetal, el aire es la más importante, ahí el nitrógeno se encuentra en forma molecular ( $N_2$ ) un gas diatómico, inodoro e incoloro que constituye un 78% de nuestra atmósfera (Kingston et al., 2000).

El nitrógeno molecular ( $N_2$ ) en la naturaleza sufre una serie de procesos: oxidación y fijación biológica, con el fin de estar disponible para las plantas (Benimeli et al., 2019). La transformación de N mediante el proceso de oxidación es compleja debido a que es llevado a

cabo por organismos vivos y a los muchos estados que puede asumir.Ávila & Canul (2002), afirman que en química inorgánica existen siete estados de oxidación (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Estados de oxidación del nitrógeno.*

<b>Compuesto</b>	<b>Estado de oxidación</b>
NH <sub>3</sub>	-III
N <sub>2</sub>	0
N <sub>2</sub>	I
NO	II
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	III
NO <sub>2</sub>	IV
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V

**Fuente:** (Ávila & Canul, 2002)

El segundo proceso se denomina 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 (Benimeli et al., 2019).

#### **4.3.1. El ciclo del nitrógeno**

Los átomos de nitrógeno están en constante movimiento, formando un ciclo cerrado denominado ciclo del nitrógeno. La estabilidad del nitrógeno dificulta la combinación con otros elementos, siendo difícil de asimilar por los organismos, los cuales toman directamente el nitrógeno del aire, originando compuestos capaces de incorporarse a las plantas. El ciclo es continuado por los animales herbívoros que sintetizan las proteínas absorbidas, posteriormente, mediante los excrementos o la descomposición de los cadáveres el nitrógeno nuevamente se incorpore al suelo (Figura 1).

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

Benimeli et al. (2019) declaran que mediante todas las ya mencionadas entradas y salidas de nitrógeno en ciclo de la naturaleza el porcentaje total de nitrógeno disponible para las plantas es menor al 10%. Las raíces toman del suelo N principalmente como iones disueltos de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) absorbido fundamentalmente por los microorganismos y algunos vegetales (arroz y



formas de presentación. Se pueden encontrar con formulaciones en estado sólido o líquido (IFFA, 1992; IDAE, 2007; TvAgro, 2015).

Durante la última década para mejorar la fertilidad del suelo e incrementar el rendimiento de los cultivos, los agricultores optan por insumos disponibles en su localidad, accesibles y de bajo costo. El nutriente limitante en la producción agrícola es el nitrógeno, frente a esto, el sector industrial ha creado un sinnúmero de fertilizantes nitrogenados, entre los que se encuentran: urea, amoníaco, fosfonitrato, ureico amoniacal y nítrico (UAN-32), sulfato amónico y nitrato de amonio (Alcántar & Trejo, 2009; Fertilab, 2022).

Como expresan Pazos-Rojas et al. (2016), 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 a sus elevados costos de obtención por ello se buscan alternativas sustentables para su generación. Camacho (2017), manifiesta que los fertilizantes tienen más acogida con la aparición de la “revolución verde” la cual fue determinante por el gran potencial de rendimiento, debido al uso intensivo de fertilizantes nitrogenados químicos y agroquímicos para el crecimiento agrícola.

#### **4.4. Urea**

La Urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) es la mayor fuente de nitrógeno con una concentración del 46%, se obtiene a partir de la síntesis del amoníaco. Su aplicación en cultivos requiere de buenas prácticas agrícolas, para evitar pérdidas por evaporación en el aire. (Alcántar & Trejo, 2009; Morales-Morales et al., 2021).

Witte (2011), menciona en los cultivos, el nitrógeno ureico ingresa a la planta ya sea directamente en forma de amonio o nitrato, durante los dos días de ser aplicado al suelo sufre una serie de transformaciones mediante el proceso de hidrólisis, donde se desprenden gases que contaminan el aire  $\text{CO}_2$  causante del efecto invernadero, otra desventaja es el desprendimiento de amonio por volatilización, lo que significa pérdida parcial del nitrógeno presente en la urea (YARA, 2020).

#### **4.5. Fijación biológica de nitrógeno**

La fijación del nitrógeno se refiere a la oxidación o reducción del nitrógeno para formar amonio u óxidos; es decir, la conversión de nitrógeno atmosférico a formas en que puedan ser incorporadas por las plantas. Estas formas son el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o los iones nitrito ( $\text{NO}^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (García, 2011).

La fijación biológica de nitrógeno es un proceso llevado a cabo por algunos microorganismos capaces de aprovechar directamente el nitrógeno del aire a través de bacterias, formando estructuras radiculares resultantes de la simbiosis entre la planta y la bacteria, denominados nódulos (García, 2011). Dicho proceso además de permitir usar el nitrógeno atmosférico, contribuye con la reducción de la degradación del suelo y puede ser llevado a cabo por microorganismos en simbiosis con plantas o en vida libre (Vance et al., 2000)

Precedentemente de la incorporación de los fertilizantes químicos la producción agrícola dependía de la fijación biológica de nitrógeno (Torres et al., 2006). En la opinión de Montaña (2020), señala que se admite la ahora segunda revolución verde con la fijación biológica del nitrógeno, puesto que esta habla de una agricultura saludable generada a través del cultivo de Azolla, un helecho acuático que brinda gran cantidad de nitrógeno bien expresado (Nbe).

Figueroa (2004), sostiene que entre los microorganismos capaces de realizar la FBN se encuentran actinomicetos, bacterias y algas verde azules (cianobacterias) quienes son capaces de fijar nitrógeno viviendo de manera libre o en asociaciones. Urzúa (2005), sostiene la posibilidad de obtener un importante suministro de nitrógeno para ciertas especies vegetales, mediante la simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno. En el suelo el nitrógeno se pierde por lixiviación, erosión, volatilización y desnitrificación, para reponer este nutriente se realiza la aplicación de fertilizantes industriales, debido a su fácil acceso en el mercado, o mediante la siembra de leguminosas, lo cual permite que estos cultivos al finalizar su ciclo vegetativo fijen nitrógeno en el suelo, por ello se realiza la rotación de cultivos.

Frente a ello, surge una alternativa novedosa como es la aplicación de NitrAgua (agua producto de la fijación de nitrógeno por asociación simbiótica de Azolla-Anabaena en los Azollarios) y biomasa de Azolla los cultivos (Montaña, 2020).

#### **4.6. Nitrógeno bien expresado**

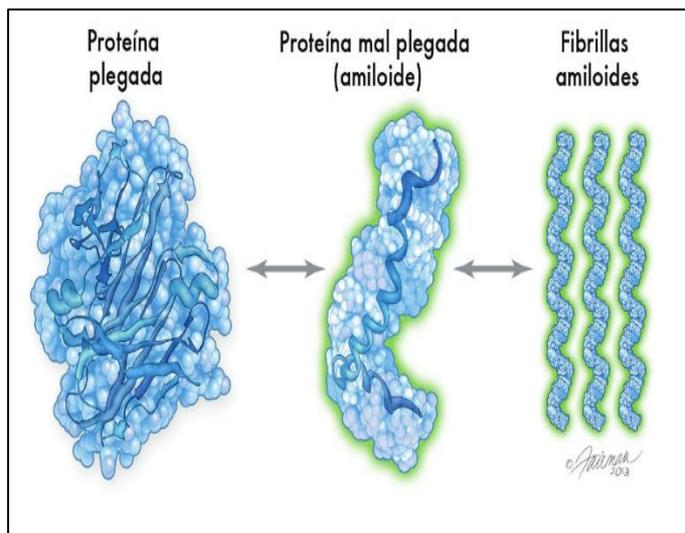
Específicamente, las proteínas son moléculas grandes y complejas formadas por una o más cadenas de aminoácidos que se pliegan generando una estructura tridimensional (3D), en los vegetales intervienen en diferentes funciones: enzimáticas, de transportación, catálisis de reacciones bioquímicas, procesos de fotosíntesis, respiración, síntesis de azúcares almidones y otros compuestos. (Mengel & Kirkby, 2000; Santos, 2009; Educatina, 2011).

#### 4.6.1. ¿Qué diferencia a una proteína de la otra?

Todas las proteínas poseen la misma estructura química, a pesar de eso son las secuencias de aminoácidos a partir de la cual están hechas, lo que diferencia una de la otra, tales secuencias se conocen como estructuras de las proteínas. El plegamiento de una proteína surge cuando alcanza la estructura tridimensional, para esto los aminoácidos se dividen en cuatro estructuras la primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. Estas estructuras son las que determinará la función que realizará más tarde una proteína, es decir el número de aminoácidos presentes y el orden en que están enlazados y la forma en que se pliega las cadenas de aminoácidos influyen en la formación de la estructura tridimensional de las mismas y posterior eficiencia en sus respectivas funciones. El mal plegamiento de una proteína (Figura 2) ocurre cuando la cadena de aminoácidos no tiene una forma definida, no es estable o pierde un aminoácido, fenómeno más conocido como desnaturalización (Gayo & Calbo, 2002; Montero, 2009). En algunos casos el mal plegamiento de las proteínas está asociado a enfermedades como el Alzheimer, diabetes, el Parkinson, fibrosis quística y el enfisema pulmonar familiar (Olivares-Quiroz & Scherer, 2004).

#### Figura 2

*Esquema de proteínas bien y mal plegadas.*



**Fuente:** (Disponible en Briceño, 2016).

Frente a lo expuesto y a las tradicionales formas de agricultura (Montaño 2011, 2020, 2021 y 2022) afirma que surge la “Agricultura biogénica”, como una de las funciones originales de la naturaleza, al producir a partir de formas de vida; este modelo no solo reduce el CO<sub>2</sub>, si

no que aumenta la cantidad de N mediante un proceso natural y biológico a través de simbiosis Azolla-Anabaena. Por la forma biológica de generación de nitrógeno se denomina “nitrógeno bien expresado” y la dado el contenido de nitrógeno presente en el agua, se ha dado por identificarla como “NitrAgua”.

Además, en el 2018 plantea un nuevo postulado basado en anteriores investigaciones: Louis Pasteur, 1854” Los microorganismos patógenos son la causa de las enfermedades en el hombre”; Claude Bernard en 1876 “La enfermedad en un desequilibrio, una desarmonía de la energía vital”; Christopher Dobnson en 1851, “Las enfermedades se deben al mal plegamiento de las proteínas”. que dice “Todo elemento puede tener dos o más átomos diferentes” refutando la teoría del padre de la química Antoine-Laurent Lavoisier en 1808 que sugiere que todos los átomos en un elemento son idénticos. Razón por la cual asevera que en la actualidad existen dos tipos de nitrógeno el mal expresado artificial y tóxico (Urea-nitratos) y el otro bien expresado natural y saludable Producto De la simbiosis entre Azolla y Anabaena.

#### **4.6.2. Generalidades de Azolla**

El término se origina del griego *Azo* (secar) y *ollya* (matar), que significa muerte por sequía Rivera et al. (2017), Azolla es un helecho acuático de fácil propagación (Figura 3), se puede desarrollar desde los 0 a los 5 000 m.s.n.m., prefiere climas fríos y sombreados, con altos porcentajes de fósforo, al principio presenta una coloración verde cambiando de parda a rojiza con el pasar del tiempo, posee un área foliar de aproximadamente 5 cm (Espinoza & Gutierrez, 2006; Schneider et al., 2021), se desarrolla a una temperatura de 7 a 28°C, pH de 6 a 7, se recomienda tener una profundidad de no menos de 30 cm y hasta 25 mg de fosforo en el sustrato, humedad del 80 a 95%, intensidad de luz del 50% (Lemonie, 2017 y Monteros, 2011). Se conocen cinco especies de Azolla ampliamente distribuidas a nivel mundial: *A. caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. microphylla*, *A. pinnata*, *A. mexicana*, *A. microphylla* Lumpkin & Plucknett (1980), (Tabla 2).

### Figura 3

*Azolla filiculoides* (Abad, 2021).



### Tabla 2

*Clasificación taxonómica de Azolla.*

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

**Fuente:** (Gavilanes, 2015).

#### 4.7. Anabaena

Es un género de cianobacterias fotosintéticas pertenece al reino Bacteria y el phylum Cyanobacteria, son conocidas como algas verde-azules por su coloración, además, son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, presentar clorofila y hacer fotosíntesis (Lira, 2019). Han colonizado una variedad de ecosistemas, la mayor parte de especies viven y se reproducen en sistemas acuáticos, semi-acuáticos y terrestres. Algunas especies funcionan como simbioses un caso claro se evidencia en el helecho *Azolla sp.*, que se asocia a la cianobacteria *Anabaena Azollae* Aubrio et al., (2009). Se encuentran ampliamente distribuidas en regiones templadas

y tropicales, además, tiene la característica de asociarse simbióticamente con plantas como hongos, musgos y helechos (Figuerola, 2004).

Es un género de cianobacterias fotosintéticas pertenece al reino Bacteria y el phylum Cyanobacteria, son conocidas como algas verde-azules por su coloración, además, son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, presentar clorofila y hacer fotosíntesis (Lira, 2019).

#### 4.7.1. *Condiciones ambientales*

Según Dow & Swoboda, 2000 como se citó en Cantoral et al.(2017) y (Coello, 2008), las condiciones que favorecen el desarrollo de la *Anabaena* se describen a continuación (Tabla 3):

**Tabla 3**

*Condiciones ambientales para Anabaena.*

Parámetro	Descripción
Temperatura	15 ° C a 30 ° C.
Intensidad de luz	Indispensable
Aireación	Necesaria
Rango de pH	8 – 9
Salinidades	15 g/l

**Fuente:** (Coello, 2008).

#### 4.8. *Simbiosis Anabaena-Azolla*

La asociación *Anabaena-Azollae* funciona mediante la acogida de la cianobacteria en las cavidades de las hojas del helecho acuático *Azolla*. La cianobacteria por medio de sus células heterocities, captan el N<sub>2</sub> de la atmósfera y lo reducen a (NH<sup>4+</sup>), que es una forma en la que los organismos autótrofos es decir las plantas logran asimilarlo (Cabezas, 2011)

##### 4.8.1. *Reproducción y composición de Azolla*

Los elementos necesarios para su crecimiento son el agua y sustrato ya sea suelo o abono orgánico (estiércol de ganado). Su reproducción es de tipo asexual por fragmentación y sexualmente mediante esporas como todos los helechos (Ruiz, 2015). En condiciones óptimas con temperaturas de 20 a 22°C a es capaz de duplicar su biomasa cada tres días (Comunitat Valenciana, 2008).

Se registra una tasa de crecimiento lineal de 1 kg/m<sup>2</sup>, luego de esto se proyecta exponencialmente con valores de 8 kg/m<sup>2</sup> hasta lograr un espesor mayor a 1 cm (Paggi & Mansour, 2017).

El helecho se caracteriza por un alto índice de producción de biomasa, posee propiedades nutritivas y fertilizantes con macro y micronutrientes (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Composición química de Azolla.*

Nutriente	(Méndez et al., 2018)	(Cabezas, 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

#### 4.9. Azolla en Ecuador

La distribución de Azolla en Ecuador va desde los 0 - 2300 m.s.n.m., (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Distribución geográfica del género Azolla en el Ecuador.*

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

**Fuente:** (Alvarado, 2017).

##### 4.9.1. Cultivo de la Azolla-Anabaena

En varias investigaciones mencionan que el cultivo de Azolla-Anabaena se da en un Azollario (poza de cultivo de Azolla) Montaña (2010), en áreas abiertas donde reciba luz directa durante el día, si bien este helecho acuático puede crecer en contenedores pequeños, no es óptimo, ya que los resultados de producción nutricional son bajos. Para generar de 15 a 25 kg de Azolla semanal se necesita construir o disponer de un estanque de 2 m de ancho por 6 m de largo. La Azolla no solo se alimenta de la simbiosis con la cianobacteria, también absorbe nutrientes disueltos en el agua como son los abonos orgánicos (estiércol de ganado, sustratos fértiles) esto permite tener una microfauna amplia, su cosecha se da de entre 15 a 20 días

después, si no se realiza en ese tiempo, la Azolla empieza a perder su contenido nutricional (Aguiar, 2020).

#### **4.9.2. Ventajas y desventajas**

Desde el punto de vista de López et al. (2011), es una práctica sustentable, funciona, económicamente, no consume energía, se realiza a base de prácticas agrarias convencionales, no daña al ambiente, permite recuperar propiedades nutricionales del suelo y a que forma una cubierta verde, se limita a lugares que tengan contaminación superficial, puede favorecer a la diseminación de plagas en medio acuáticos, la principal desventaja radica en la invasión de lagos o ríos donde podría perjudicar a la fauna marina que se encuentre debajo de ella ya que forma un manto o tapiz sobre el agua llegando a provocar su muerte, en consecuencia se debe cultivar en áreas específicamente destinadas para este propósito.

#### **4.9.3. Importancia de Azolla en la producción agropecuaria**

En Ecuador el uso de este helecho se ha vuelto novedoso, debido a las distintas investigaciones en varias provincias, donde se ha evidenciado exitosamente que es posible producir y aplicar *Azolla* en los cultivos de manera sustentable y lo más importante de forma orgánica. El peso que alcanzó en g cada una de las especies, determinaron la productividad en t/día/ha a los 12 días de cosecha, 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 (Monteros, 2011).

Jojoa (2013), Evaluó el impacto de tres sustancias orgánicas en el cultivo de lechuga: compost, azolla., y humus de lombriz en la calidad del suelo, productividad y mejoramiento de la Finca Experimental Yuyucocha en Imbabura. Los resultados determinaron que las especies de *Azolla* sp., tienen un mayor contenido de nutrientes que el compost y el humus. El análisis del suelo posterior al cultivo reveló que la aplicación de *Azolla* sp., mejoró la capacidad del suelo para retener la humedad, así como la calidad de sus nutrientes. A los 45 días del trasplante se determinó significancia estadística en cuanto al diámetro de la altura, el número de libros y el peso de la lechuga. El tratamiento *Azolla* sp., tuvo el mayor rendimiento y la mejor relación costo-beneficio. No hubo cambio significativo en la diversidad de la endofauna antes, durante y después de la aplicación de los tratamientos. Según la investigación, la azolla es muy útil para mejorar las características físicas, químicas y biológicas de los suelos que han sido sometidos a procesos productivos. Incluso produce resultados superiores a los obtenidos con humus y compost.

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 15 días una altura de planta de 15,0 cm, a los 30 días 35,9 cm, a los 60 días 53,2 cm y 66,1 cm a los 90 días; para porcentaje de nitrógeno los 15 días 0,54 %, a los 30 días, 0,90 %, a los 60 días 1,68 % y a los 90 días 2,08 %.

Rivera et al. (2017), señalan que a medida que la población mundial crece y los sistemas de producción continúan deteriorándose, es imprescindible el uso de alternativas alimentarias amigables con el medio ambiente; *Azolla* sp., se caracteriza por ser una especie acuática de helechos terrestres adaptables y ricos en nutrientes; propio de ser utilizado en entornos contaminados.

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, mostrando el potencial de adaptación y producción de biomasa. Para ello, se utilizó en el cantón Pasaje (El Oro) cuatro tratamientos que involucraron el uso de un sustrato orgánico húmedo bajo agua y bajo condiciones establecidas de sombra o luz, *Azolla* se trasplantó a un embalse de la finca El Cisne, se tomaron mediciones de biomasa meses después del trasplante y se llegó a la conclusión que se propaga fácilmente en ambientes húmedos y altas temperaturas, alcanzando un incremento en peso en el tratamiento donde se usó sustratos orgánicos con una columna de agua sin techo, con valores de 230,5 g considerados los más altos, en comparación a los demás tratamientos (Intriago et al., 2020).

Rosales-Loaiza et al. (2017), manifiesta, *Azolla* como abono orgánico rico en nitrógeno es factible, pues en diferentes indagaciones se evidencia su elevado porcentaje de ayuda a la productividad de distintos cultivos; se usa como biofertilizante en varios países de América y Asia, mayormente en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) por inundación, esto a causa de que este helecho alberga en la cavidad de sus hojas a la cianobacteria *Anabaena*, la cual fija nitrógeno del aire y puede llegar a producir 1 200 kg N/ha. La *Azolla* se aplica al cultivo al voleo y aporta más de la mitad del nitrógeno necesario que requiere el cultivo de arroz. La biomasa de la *Azolla* es equivalente a la concentración del fertilizante al igual que su contenido de proteína.

Para Peña & Ruiz (2020), *Azolla* es un helecho acuático que aunque es considerada una planta invasora en países europeos. “Estas pequeñas plantas tienen la capacidad de asociarse con un organismo todavía más pequeño, imperceptible a simple vista, pero que habita en las raíces. Este organismo microscópico, la cianobacteria *Anabaena Azollae*, es capaz de absorber nitrógeno del ambiente, por lo cual está muy ligado con la planta acuática, ya que los dos hacen

un equipo perfecto: mientras el primero absorbe el nitrógeno, la planta lo almacena y usa para su metabolismo esencial”

Restrepo (2020), declara en la ganadería se necesitan insumos e implementos costosos ecológicamente insostenibles; además, contribuyen a la degradación de los sistemas productivos y requiere una considerable atención. En su investigación analiza y plantea alternativas de alimentación amigables con el ambiente; propone el cultivo de *Azolla-Anabaena*, con altas potencialidades alimenticias en ganado porcino, bovino y avícola; ha realizado estudios implementando el cultivo en un sistema acuático de la finca (municipio La Victoria Caldas, 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<sup>2</sup> producen 1 000 litros de *Azolla*, equivalente a 500 kg/día en materia seca que se administran al ganado.

Rivas (2019) expresan, existen resultados en uso de planta acuática flotante, como suplemento alimenticio de consumo directo en el cultivo de carpa común (*Cyprinus carpio*), se evidencia que pueden resistir a las variaciones física y químicas del agua, lo que los hace compatibles para iniciar cultivos en conjunto, ambos organismos dejan ver cuán rentable puede ser el cultivo, al reproducirse en casi cualquier medio acuático y con la capacidad de adaptarse a nuevas condiciones.

Namiq et al. (2021), investigó en tilapia (*Oreochromis niloticus*), Tilapia (*mossambica*, *Tilapia zillii*) y ciprínidos (*Labeo rohita*, *Catla*, *labeo calbasu*, *Labeo fimbriatus*, *Ctenopharyngodon idella*, *Barbonymus gonionotus*) e incorporó *Azolla* en sus dietas, lo que resultó ser un buen sustituto de la proteína, siendo una de las mejores opciones para la producción de biomasa de peces.

Bharali et al. (2021), evaluaron la importancia de *A. caroliniana* con compost como un componente del manejo integrado de nutrientes en referencia a algunos otros insumos orgánicos (abono verde, polvo de cáscara de arroz) y estiércol de bovinos en dos ecosistemas de arroz (regadío y seco). Curiosamente, la aplicación de *A. caroliniana* con compost condujo de 1,1 a 1,4 veces más secuestro de carbono en el suelo y 1,2 a 1,4 veces más bajo potencial de calentamiento global en comparación con los tratamientos de estiércol de bovinos y transgénicos; la *A. caroliniana* con compost a su vez registró un crecimiento de 2,8 % y 5,1 % en el rendimiento de grano relativo a estiércol de bovinos y abono verde. También se observó que los insumos orgánicos friables (*A. caroliniana*) con compost y polvo de cáscara de arroz) podrían suprimir eficientemente el metano aproximadamente de un 30 a 36 %, mediante el

aumento de la porosidad, el almacenamiento de carbono y las fracciones de carbono recalcitrante en el suelo. Por lo tanto, *A. caroliniana* con compost y polvo de cáscara de arroz son candidatos potenciales para el cultivo de arroz sostenible en los subtrópicos con bajas emisiones de metano y alta productividad.

#### 4.10. Brócoli

##### 4.10.1. Definición y taxonomía del cultivo

Es una hortaliza anual de 0,60 a 1 m de altura vigorosa y de gran valor nutritivo, cultivada en la estación de invierno, y cuya parte comestible es su inflorescencia, que tiene un diámetro de aproximadamente de 15 cm (Zamora, 2016). Su clasificación taxonómica se presenta a continuación (Tabla 6):

**Tabla 6**

*Clasificación taxonómica del cultivo de brócoli.*

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
División	Fanerógama Magnoliophyta
Clase	Dicotiledónea Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae (crucíferas)
Género	Brassica L.
Especie	<i>Brassica oleracea</i>

**Fuente:** (Acosta et al., 2018).

##### 4.10.2. Fases de fenológicas

Según Orellana et al., (2008) durante el desarrollo del brócoli se pueden considerar las siguientes fases:

Vegetativo inicial, es el primer estado que desarrolla el crecimiento y producción de biomasa foliar de la que dependen posteriores procesos metabólicos de la planta, también se caracteriza por desarrollar una alta tasa de fotosíntesis y respiración celular,

Vegetativo medio, en este periodo el proceso de formación de las hojas es cualitativo, existe la formación de la base de la flor y formación del primordio de la hoja. Además, se diferencia metabólicamente la fotosíntesis que produce la planta orientándola a la consolidación de la formación de la pella.

Inducción floral, aquí ocurre la formación de pella, de esta manera, la yema superior comienza en dos puntos. En esta etapa, la fotosíntesis se resuelve formar la base de soporte del primordio de la flor.

#### **4.10.3. Requerimientos hídricos**

El cultivo de brócoli necesita grandes cantidades de agua de riego para su óptima producción durante el trasplante, requiere riegos moderados y frecuentes, mientras que en su desarrollo se debe evitar los desequilibrios de agua debido a que provoca la formación acelerada de la inflorescencia. En época de otoño-invierno se advierte de una lámina de alrededor de 50 cm a campo abierto, alcanzando su mayor requerimiento en época de otoño-verano e inicios de su floración (Zamora, 2016).

Determinar las necesidades hídricas de los cultivos implica la combinación de varios factores tales como transpiración, evaporación y coeficiente de cultivo que dan respuesta a la evapotranspiración de las plantas y por ende a la cantidad de agua suficiente para que prosperen durante su crecimiento según el clima y diferentes localidades. Según Allen et al., (2006) durante las etapas: inicial, desarrollo, media y final, existen diferentes coeficientes de cultivos que determinaran la demanda de agua (Tabla 7).

**Tabla 7**

*Coefficiente de cultivo de brócoli.*

<b>Etapa</b>	<b>Días</b>	<b>Kc</b>
Inicial de crecimiento	25	0,70
Desarrollo de cultivo	35	0,70
Mediados de temporada	40	1,05
Final de temporada	20	0,95
Total	120	

**Fuente:** (Allen et al., 2006).

#### **4.10.4. Calidad de agua de riego**

La composición físico-química del agua para riego influye principalmente en el desarrollo de las plantas y deterioro del suelo, esta puede variar según el tipo de cultivo (Amaya, 2015). De acuerdo con INTAGRI (2017); García (2015) los principales indicadores que afectan calidad del agua son: Conductividad eléctrica (CE) o sales totales, relación de absorción de sodio (RAS), potencial de hidrógeno (pH) y concentración altamente tóxica de elementos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , B) (Tabla 8).

**Tabla 8***Parámetros de calidad de agua de riego.*

Parámetro	Unidades	Grado de restricción		
		Ninguno	Moderado	Severo
CE	milimhos/cm	0,7	3,0	>3,0
TDS	mg/l	<450	2000	>2000
RAS	U	<0,3	<9,0	>9,0
Cloruros	meq/l	<4,0	10	>10
Boro	mg/l	<0,7	3,0	>3,0
Nitratos	mg/l	<5,0	30	>30,0
Manganeso	meq/l	<0,1	1,5	>1,5
Hierro	mg/l	<0,1	1,5	>1,5
Bicarbonatos	meq/l	<1,5	8,5	>8,5
pH			6,5 a 8,4	

**Fuente:** Nakayama,1982; Ayers y Wescot, 1985, citados en ( INTAGRI, 2018)

#### 4.10.5. *Clima y suelo*

Esta hortaliza se caracteriza por desarrollarse en climas fríos y frescos con temperaturas que oscilan los 15 y 18 ° C y una humedad relativa entre 70 y 80% (Acosta et al., 2018). Se adapta a suelos ligeros, profundos y de buen drenaje con un pH óptimo de 6 a 7,5, y buena tolerancia a la acidez (Santoyo & César, 2011).

#### 4.10.6. *Requerimiento de nitrógeno en el cultivo de brócoli.*

En todas las fases el cultivo necesita extraer del suelo una cierta cantidad de requerimientos nutricionales para su eficaz desarrollo vegetativo (Tabla 9 y10).

**Tabla 9***Requerimientos nutricionales del cultivo de brócoli.*

N	P	k	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
		Kg ha <sup>-1</sup>				g ha <sup>-1</sup>		
345	19	246	119	23	1253	46	257	379

**Fuente:** Soto J y Quirós E, 2003 citados en (Bertsch, 2009)

**Tabla 10***Requerimientos nutricionales de cultivos hortícolas.*

Cultivo	N	P	S	Ca	K	Mg	Fe	Mn	B	Cu	Zn
ppm											
Tomate	150		150	150	150	15	40	3	0,6	0,1	0,1
Judía	558	97	192	264	129	24	1	0,5	0,2	0,2	0,1
Pepino	195	129	192	90	195	24	1	0,5	0,2	0,2	0,1
Lechuga	190	50	113	200	210	40	5	0,5	0,4	0,1	0,1

**Fuente:** Sarro y Peñalosa (1994) y (1995) citados en (Cadahia et al., 2000)

Hay una demanda significativa de macronutrientes en brassicáceas. Por ejemplo, el brócoli utiliza más de 3 kg/ha/día de N, K y Ca con el pico de absorción durante el inicio del desarrollo de la cabeza. Según YARA, (2018) los requerimientos totales de nitrógeno varían de acuerdo con el tipo de brassica y oscila entre 1,6 kg t<sup>-1</sup> y kg t<sup>-1</sup> de producto (Tabla 11).

**Tabla 11***Necesidades nutricionales de brócoli.*

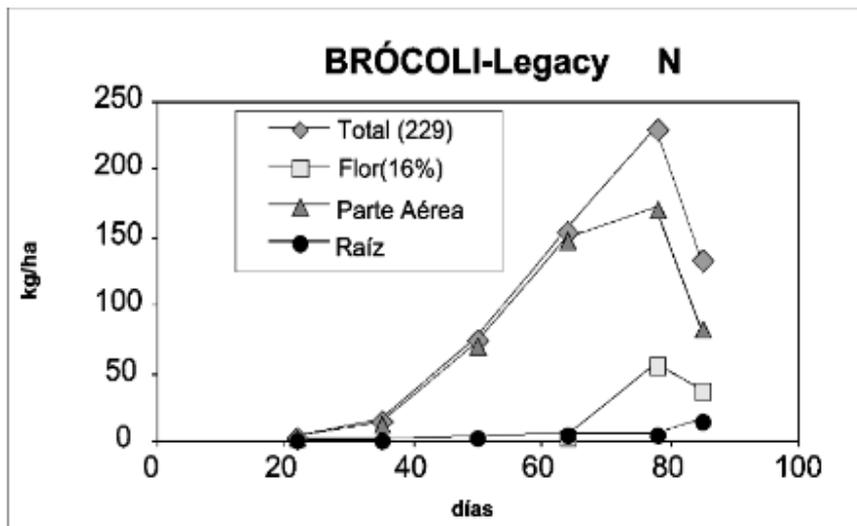
Rendimiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
t/ha	Kg/ha			g/ha					
23,7	229	23	288	83	11	858	41	323	297
48,4	345	19	246	119	23	1253	46	257	379

**Fuente:** Soto J y Quirós E, 2003 citados en (Bertsch, 2009)

La época de aplicación del nitrógeno es importante en cada etapa del desarrollo del cultivo. El conocimiento de las curvas de absorción nutrimental a través del ciclo de cultivo permite conocer y arrojar cantidades exactas de la necesidad del nutriente durante todo el ciclo (Figura 4).

**Figura 4**

*Curva de absorción de N en cultivo de brócoli Variedad Legacy.*



**Fuente:** Bertsch, (2009).

#### **4.10.7. Plagas y enfermedades**

El falso minador (Figura 5) es una plaga anual que se alimenta de diversos cultivos entre ellos las crucíferas, sus adultos son palomillas con alas delanteras moteadas de color café marcadas en el centro con una figura pequeña, plateada y en forma de ocho. Los huevos son pequeños, redondos, de color blanco verdoso y eclosionan en larvas de color verde que alcanzan una longitud de 3,17 cm con líneas blancas que registran a lo largo de su cuerpo. Se reproducen en invierno y se desarrollan a temperaturas promedio de 21 a 32°C y se alimentan del hojas de la planta (Webb et al., 2017).

**Figura 5**

*Larva del falso medidor, Abad (2021).*



El gusano soldado (*Spodóptera exigua*) es un insecto omnívoro muy nocivo se reproducen bajo temperaturas de alrededor de 20°C, la mayoría de las larvas (Figura 6) son de color verde, sin embargo, también existen cafés, con rayas blancas o verde amarillento a los lados, su tamaño es de 3 cm aproximadamente, al eclosionar las larvas se alimentan de las hojas, dejando únicamente la nervadura. En cuanto al control químico se emplea Metomyl, Lannate, Talstar y bifetrina (Villavicencio et al., 2003).

### **Figura 6**

*Larva de gusano soldado, Abad (2021).*



#### **4.10.8. Control fitosanitario**

El control fitosanitario son los métodos y técnicas utilizadas para prevenir, controlar, eliminar o tratar enfermedades de las plantas mientras se intenta mantener la estabilidad y el bienestar de la finca o agroecosistema. Hay muchas prácticas de fitosanidad diferentes; algunos de los más comunes son el control cultural, mecánico, biológico y químico, que podemos agrupar en preventivo, control y eliminación (Moya et al., 2012).

#### **4.10.9. Control cultural.**

El uso de prácticas agrícolas comunes o ciertas variaciones de estas tiene como objetivo prevenir la propagación de enfermedades y parásitos, haciendo que el medio ambiente sea menos propicio para su crecimiento, así como disminuir el daño que causan. En el curso regular de la producción agrícola, el resultado de la planificación previa incluye medidas como limpieza y desinfección de sustratos, materiales e infraestructura del lugar de siembra (Moya et al., 2012).

#### **4.10.10. Control biológico**

Es un método de control que busca disminuir e incluso eliminar el impacto de enfermedades y plagas en las plantas y el suelo mediante el uso de controladores naturales de plagas. Si bien esta estrategia no es novedosa ni de vanguardia, los expertos coinciden en que es una alternativa beneficiosa que permite reducir el consumo de químicos y, en consecuencia, la contaminación ambiental (Pérez, 2018).

La tierra de diatomeas es un compuesto derivado de los restos fósiles del fitoplancton marino que al ser aplicado a insectos con exoesqueleto les provoca la muerte por deshidratación (Toro, 2017).

## 5. Metodología

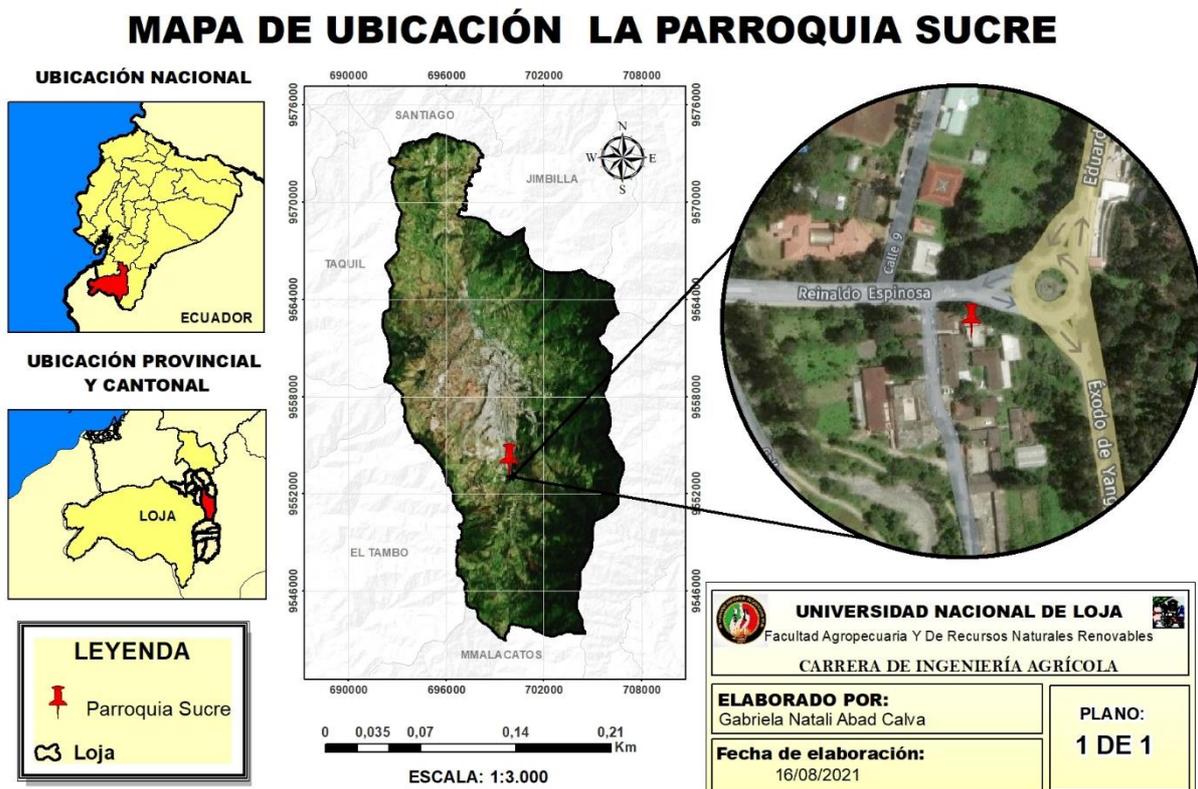
### 5.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se desarrolló en la quinta experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional De Loja; perteneciente a la parroquia Sucre del cantón y provincia de Loja (Figura 7). El lugar de estudio se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas geográficas: a una latitud de 4° 1' 58” Sur, una longitud de 79° 11' 57” Oeste y una altitud de 2 140 m.s.n.m. en la Zona 17 Sur. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2019), asegura que el sector de estudio presenta las siguientes características:

- Zona de vida: Mesotérmico Semi – Húmedo.
- Temperatura media: 17 °C
- Precipitación: 1031,4 mm/ año
- Evapotranspiración potencial: 1012,86 mm/ año
- Humedad relativa: 78%

**Figura 7**

*Mapa de ubicación de proyecto de investigación.*



## 5.2. Materiales y equipos

Para el desarrollo del ensayo se utilizó un área total de  $7,80 \text{ m}^2$ , cepa de Azolla drenada durante 24 horas, cámara fotográfica, geomembrana de 200 micras, cinta métrica, agua, suelo, macetas de 19,82 L, plántulas, semilla de brócoli, saquillos de polipropileno, agua de riego, fundas Ziploc, herramientas agrícolas, manguera de riego, conductímetro, pH-metro, termómetro, flexómetro, rótulos de madera-suelo, libreta de apuntes, computador, calculadora, material de impresión y suministros.

## 5.3. Metodología para el primer objetivo

**Obtener nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores del cantón y provincia de Loja.**

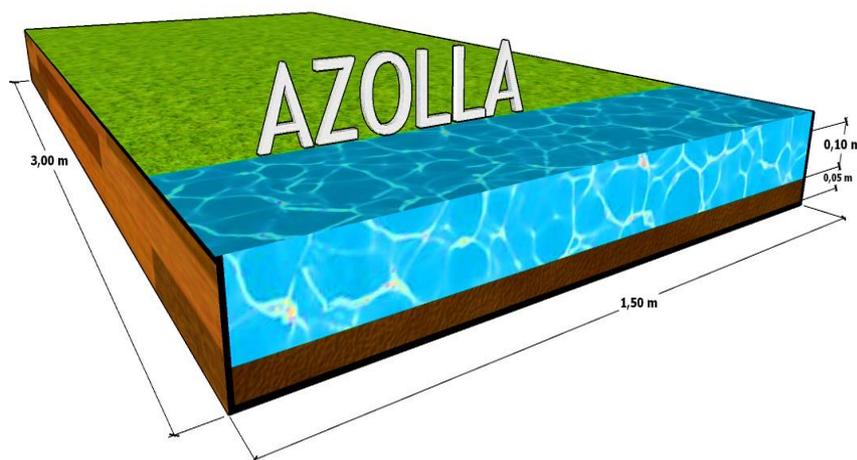
Se realizaron las siguientes actividades:

Reconocimiento del terreno, toma de muestras de suelo y agua para hacer el respectivo análisis en el laboratorio del INIAP.

Construcción de un Azollario de  $3 \text{ m} \times 1,50 \text{ m}$  y  $0,15 \text{ m}$  de profundidad, con capacidad de  $0,68 \text{ m}^3$ , se impermeabilizaron con geomembrana de 200 micras, se colocó  $5 \text{ cm}$  de tierra agrícola, y se llenó con agua hasta los  $10 \text{ cm}$  (Figura 8), al tercer día se trasplantó  $284 \text{ g}$  de Azolla drenada durante  $24 \text{ h}$ , equivalente a  $0,13 \text{ m}^2$  de superficie.

### Figura 8

*Dimensiones del Azollario.*



Desde el primer día se llevó a cabo el control de la superficie que ocupaba el helecho e incluso se registró su equivalencia en peso hasta que el Azollario se encontró completamente lleno, así mismo cada 15 días se hizo el análisis químico del agua.

Se adquirió turba rubia, bandejas germinadoras, semillas de brócoli y se elaboró el almácigo, a los 30 días se realizó el trasplante.

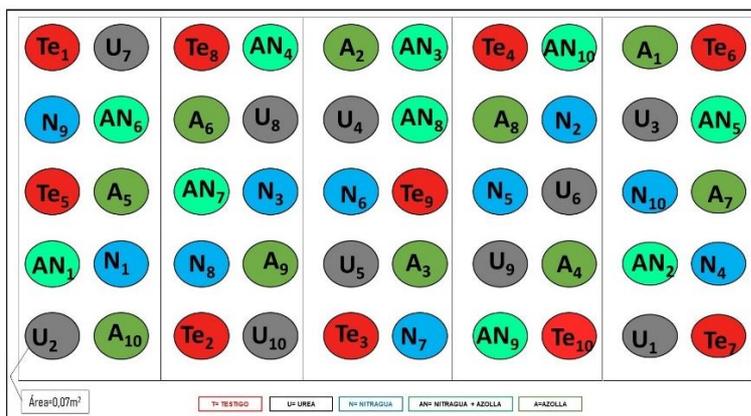
#### 5.4. Metodología para el segundo objetivo

##### Evaluar el nitrógeno bien expresado en el cultivo Brócoli (*Brassica oleracea* L).

En un invernadero de la Quinta Experimental la Argelia, se estableció un diseño experimental completamente al azar (Figura 9) con cinco tratamientos y diez repeticiones o unidades básicas (Tabla 12).

**Figura 9**

*Diseño experimental.*



**Tabla 12**

*Tratamientos del experimento.*

Tratamientos	Nombre	Repeticiones
T0	Testigo	10
T1	Urea	10
T2	NitrAgua	10
T3	Azolla+ NitrAgua	10
T4	Azolla	10

**Modelo matemático:**

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

$$i = 1, 2, \dots, 5$$

$$j = 1, 2, \dots, 10$$

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

$\mu$  Media general del experimento.

$\alpha_i$  Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

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

En total se utilizaron 50 macetas cilíndricas de 0,35 m de altura y 0,07 m<sup>2</sup> de área equivalente a un volumen de 19,82 L, 10 por cada tratamiento (Figura 10) en las que se trasplantó las plántulas, llenando hasta una altura de 30 cm distribuidas de la siguiente manera (Tabla 13); en el (testigo T<sub>0</sub>) se realizó tal como el agricultor realiza sus labores agrícolas; en el (Urea T<sub>1</sub>) se aplicó fertilizantes con fuente de N (urea) en relación a los análisis del suelo, de agua y necesidades nutricionales del cultivo (Tabla 15); (NitrAgua T<sub>2</sub>) riego con agua del Azollario o NitrAgua; (NitrAgua + Azolla T<sub>3</sub>) riego con el agua del Azollario o NitrAgua más 1/3 de biomasa de Azolla; (Azolla T<sub>4</sub>) el suelo fue mezclado con un 1/3 de biomasa de Azolla como sustrato. En los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>3</sub> el sustrato de biomasa de Azolla se usó en estado fresco previo a 24 h de drenaje (Tabla 13).

**Tabla 13**

*Tratamientos del experimento.*

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
T <sub>0</sub> =Testigo	25 kg de suelo
T <sub>1</sub> =Urea	25 kg de suelo + 40 mg l <sup>-1</sup> N
T <sub>2</sub> =NitrAgua	25 kg de suelo + NitrAgua (100 mg l <sup>-1</sup> N)
T <sub>3</sub> =NitrAgua y Azolla	18 kg de suelo + 8,33 kg de Azolla (NitrAgua 100 mg l <sup>-1</sup> N)
T <sub>4</sub> =Azolla	18 kg de suelo + 8,33 kg de Azolla

## Figura 10

*Esquema de unidad experimental.*



La lámina de riego se estableció a partir de la determinación de los parámetros hídricos del suelo según la puesta a capacidad de campo en las macetas, variables meteorológicas y disponibilidad de agua en el suelo. El tiempo de irrigación estuvo dado por el periodo de drenaje, necesidades hídricas del cultivo, humedad aprovechable. Se regó con intervalos de dos a tres días según la etapa del cultivo.

Las variables y métodos de evaluación se realizaron desde el día 0 en el trasplante hasta la cosecha en cada uno de los tratamientos: la altura de plantas se midió en cm desde la base del cuello hasta la parte más alta de la planta con las hojas extendidas en estado natural, el número de hojas se contabilizó desde la parte inferior hasta el ápice, el peso de la pella se registró en g y el diámetro de tallo se reconoció en mm usando un calibre. Finalmente, la revisión fitosanitaria se realizó desde la etapa inicial del cultivo, se eliminó de forma manual las plagas y ecológicamente al aplicar tierra de diatomeas en la parte foliar del cultivo.

## 6. Resultados

### 6.1. Obtención de nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores

Las condiciones climáticas presentes durante la investigación corresponden a una temperatura media mensual de 17°C, con humedad relativa de 78 % y precipitación de 85 mm/mes; otros parámetros relevantes son las propiedades del suelo y agua que se usaron en el Azollario para la siembra de Azolla.

El suelo es de clase textural Franco, con pH moderadamente ácido, contenido medio de N, Mg, Ca, alto en Cu, Fe y Mg y bajo contenido de P, S, B, K, Zn, materia orgánica (0,60 %), con CIC (16,6 meq/100ml), que indica poca capacidad de retención de nutrientes (Tabla 14).

**Tabla 14**

*Propiedades químicas del suelo.*

pH	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	N	P	K	Mn	Fe <sup>+++</sup>	Cu	Zn	S	B
meq/100gr			ppm								
5,95	2,67	0,35	60	9,2	39,1	39,6	170	4,4	1,5	9,7	0,37

**Fuente:** INIAP, 2021

El agua tuvo pH neutro (7,3), con valores bajos de CE (0,03 mS/cm), N, P, K, Ca, Mg, Na, B, Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, de dureza muy blanda y baja presencia de sales, (Tabla 15).

**Tabla 15**

*Propiedades químicas del agua del Azollario.*

N	P	K	Ca	Mg	Na	B	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	RAS	Dureza
Ppm											
30	0,27	0,71	3,47	0,59	1,45	0,01	3,5	17,6	1,6	0,2	11,1

**Fuente:** INIAP, 2021

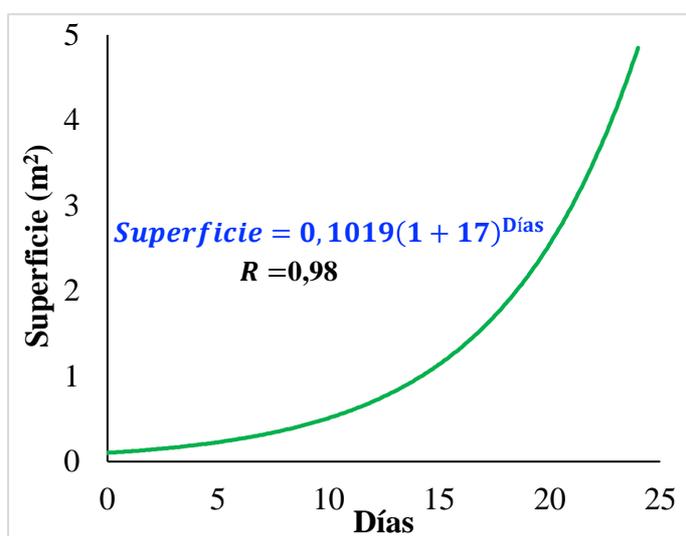
Las variables climáticas tomadas con termómetro digital en campo y corroboradas con la página web del INAMHI, no tuvieron grandes diferencias, así como las características químicas del agua y suelo, fueron adecuadas para el desarrollo del cultivo.

### 6.1.1. Crecimiento de Azolla

En la Figura 11 se muestra el crecimiento de Azolla, cuya superficie al momento del trasplante ocupó 0,13 m<sup>2</sup>, al transcurrir 24 días alcanzó 4,50 m<sup>2</sup> cubriendo por completo el Azollario. El modelo matemático presenta un crecimiento exponencial del 17 % esto es 0,11 m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup>, dicho de otro modo, duplica su biomasa cada cinco días. Dadas las condiciones ambientales expuestas con anterioridad es capaz de cubrir una hectárea en un periodo de aproximadamente 72 días.

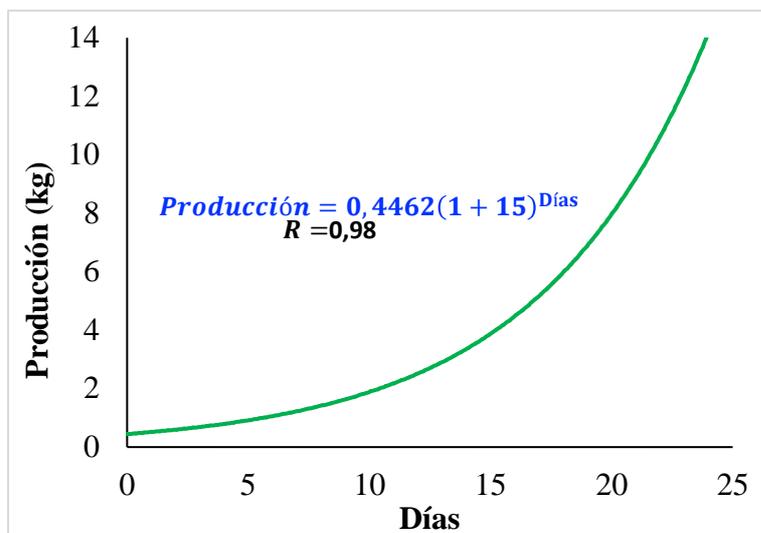
#### Figura 11

Crecimiento de biomasa de Azolla en m<sup>2</sup>.

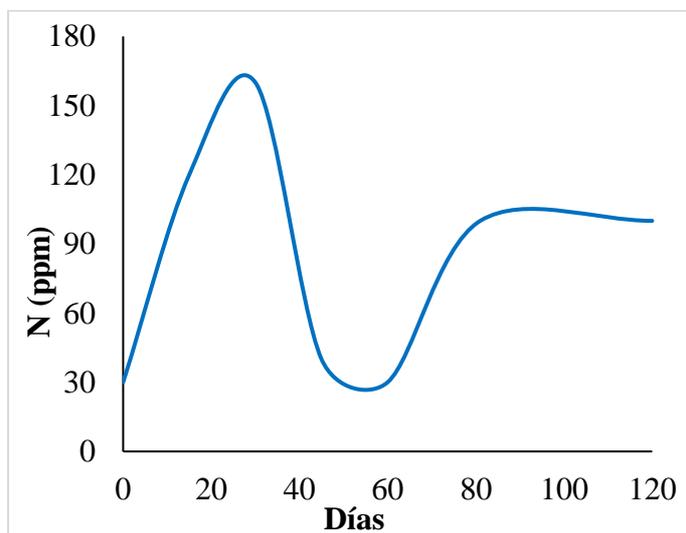


### 6.1.2. Producción de biomasa de Azolla

Para la propagación de Azolla se sembró la cantidad inicial de 0,28 kg, en 28 días incrementó su biomasa a 12,10 kg puesto que aumentó a razón de 0,45 kg día<sup>-1</sup>; es decir el incremento fue de 15 %, un rendimiento equivalente a 25,53 t ha<sup>-1</sup>.

**Figura 12***Producción de biomasa de Azolla***6.1.3. Contenido de nitrógeno en NitrAgua**

La evaluación del contenido de nitrógeno se muestra en la Figura 13, el agua utilizada en un principio tuvo un valor de 30 ppm, después de 15 días el contenido de N producto de la simbiosis Azolla–Anabaena ascendió a las 120 ppm y al transcurrir un mes se alcanzó el valor más alto 160 ppm, a los 45 días descendió a 40 ppm, a pesar de ello a partir de los 81 días la dosis de N aumentó a 100 ppm hasta los 120 días por lo tanto, la cantidad máxima de N fijada en NitrAgua está entre 180 kg N ha<sup>-1</sup> a 240 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Figura 13***Contenido de nitrógeno.*

#### 6.1.4. Contenido de nitrógeno en biomasa de Azolla

El análisis foliar del helecho en la Tabla 16 muestra la composición química de Azolla por cada 100 g de materia seca en una superficie de 4,5 m<sup>2</sup>, Azolla rindió 12,1 kg equivalente a 417,45 g N en biomasa fresca; por consiguiente, en una hectárea se producirá 885,2 kg N; 200,13 kg P; 898 kg K; 461,84 kg Ca y 71,84 kg Mg.

**Tabla 16**

*Composición química de biomasa de Azolla.*

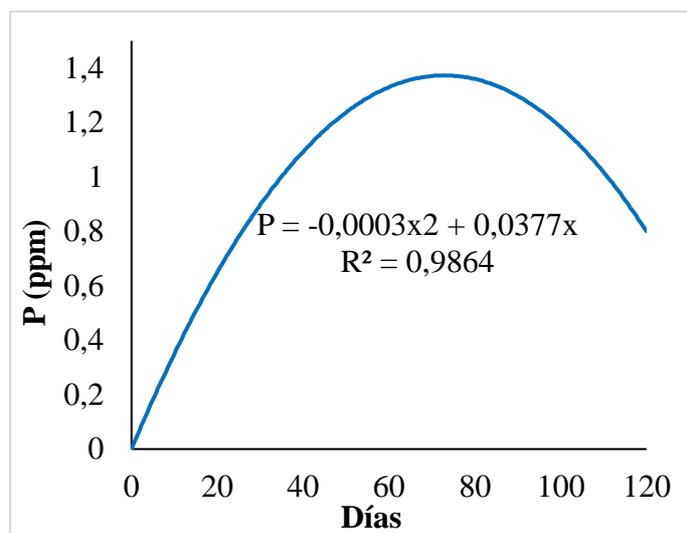
N	P	K	Ca	Mg
%				
3,45	0,78	3,5	1,18	0,28

#### 6.1.5. Contenido de P en NitrAgua

En la Figura 14, se expresa la cantidad de P en NitrAgua que ascendió de 0,27 ppm a 1,33 ppm hasta los 60 días, mientras que, a los 120 días descendió a 0,8 ppm.

**Figura 14**

*Contenido de P en NitrAgua.*

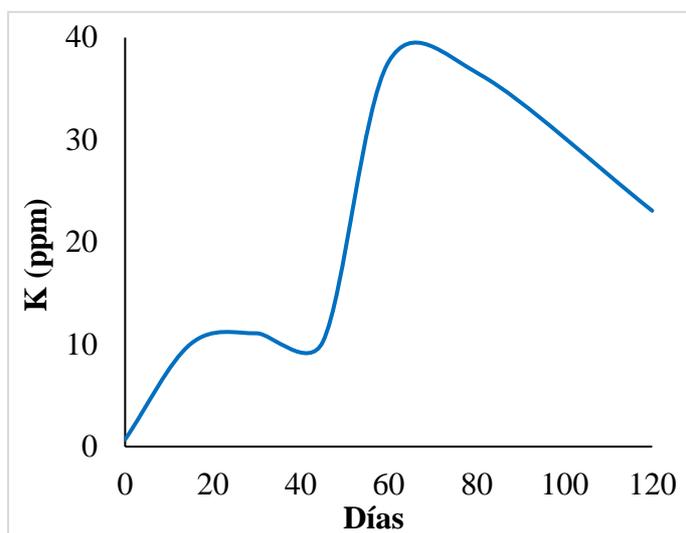


### 6.1.6. Contenido de potasio en NitrAgua

El contenido inicial K en NitrAgua fue de 0,71 ppm; en la Figura 15 el N se manifiesta que, a los 30 días, se obtiene 11,07 ppm (16,6 kg ha<sup>-1</sup>), a los 60 incrementa a 37,63 ppm y a los 120 días disminuyó en 3,45 %.

#### Figura 15

Contenido de K en NitrAgua.

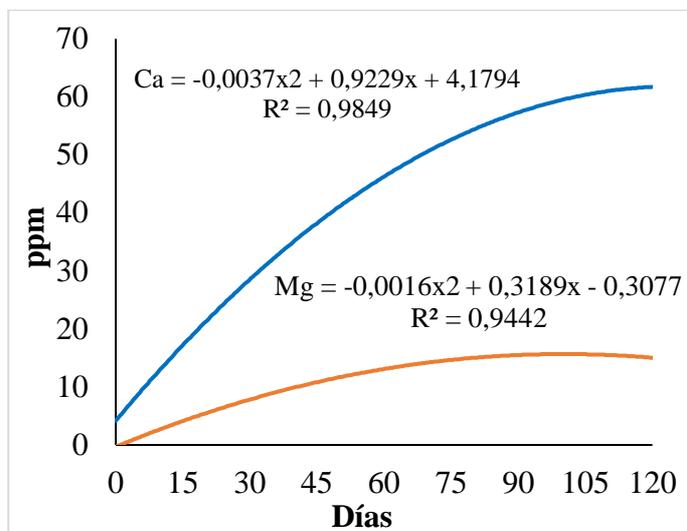


### 6.1.7. Contenido de Ca y Mg en NitrAgua

En la Figura 16, se evidencia el contenido de Ca, inicialmente tuvo un valor de 0,71 ppm en NitrAgua a los cuatro meses subió a 63,07 ppm equivalente a 78,84 kg ha<sup>-1</sup>. El Mg por su parte fue de 3,47 ppm y a los tres meses alcanzó 15,44 ppm (19,13 kg/ha), máximo valor que mantuvo hasta los 120 días.

**Figura 16**

*Contenido de Ca y Mg en NitrAgua.*

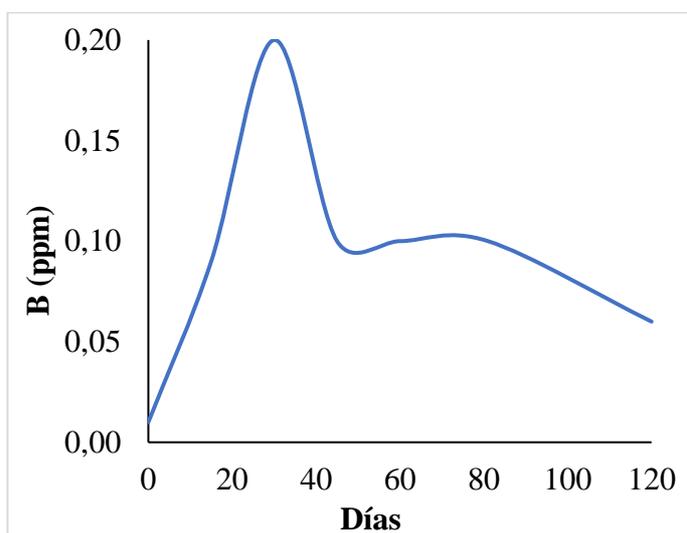


### 6.1.1. Contenido de B en NitrAgua

Al inicio, el contenido de B que aportó el sustrato fue de cero, mientras que, el agua 0,01 ppm, en la Figura 17 refleja el comportamiento del B en NitrAgua cuyo desarrollo fue estable y su valor máximo de 0,20 ppm a los 30 días; no obstante, a los 120 días desciende en un 70 % (0,06 ppm).

**Figura 17**

*Contenido de B en NitrAgua.*

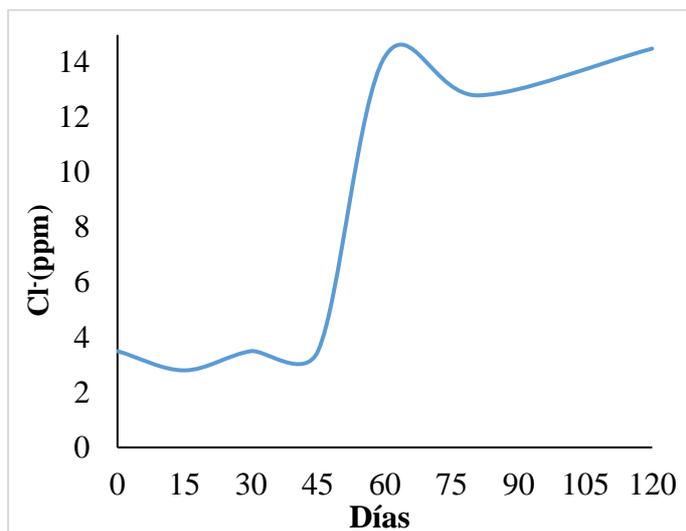


### 6.1.2. Contenido de cloro en NitrAgua

El contenido de  $\text{Cl}^-$  en NitrAgua permaneció constante, la cantidad proporcionada por el agua al inicio fue de 3,5 ppm, perdurando hasta los 45 días; de los 60 a 120 incrementó en 75,9 % (14,5 ppm).

#### Figura 18

Contenido de  $\text{Cl}^-$  en NitrAgua.

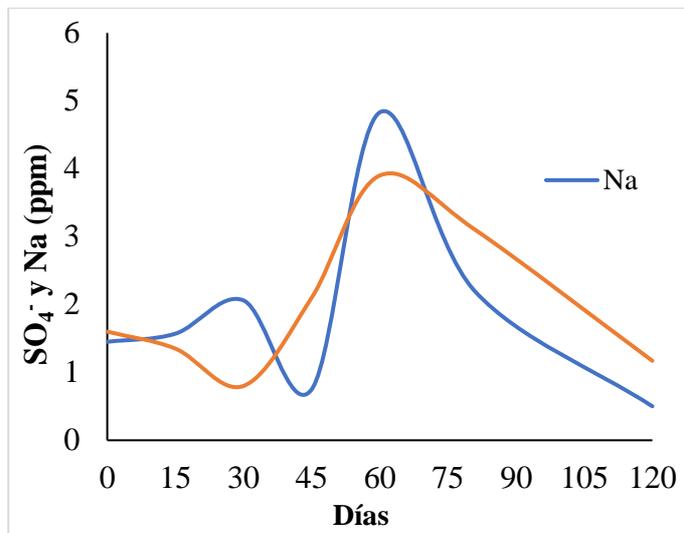


### 6.1.3. Contenido de $\text{SO}_4^-$ y Na en NitrAgua

El valor de los sulfatos se presenta en la Figura 19 es invariable, el sustrato del Azollario no contenía el nutriente; sin embargo, el agua poseía 1,6 ppm, a los 30 días bajó a 0,8 ppm, a los 760 días se obtuvo 3,9 ppm; a los cuatro meses descendió a 1,17 ppm menor al valor inicial. El Na por su parte fue estable, el contenido inicial era de 1,45 ppm, a los 60 días alcanza 4,83 ppm, a partir de ahí la cantidad de sodio disminuye hasta 0,5 ppm a los 120 días.

**Figura 19**

Contenido de Na y  $SO_4$  en NitrAgua.

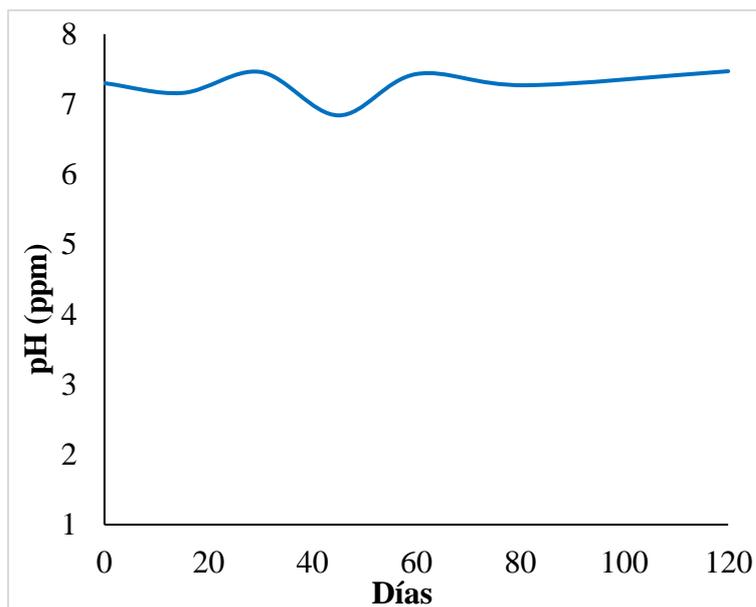


#### 6.1.4. pH en NitrAgua

EL pH del agua del Azollario se mantuvo alcalino en un rango de 6,8 a 7,47, durante los 120 días.

**Figura 20**

pH en NitrAgua.

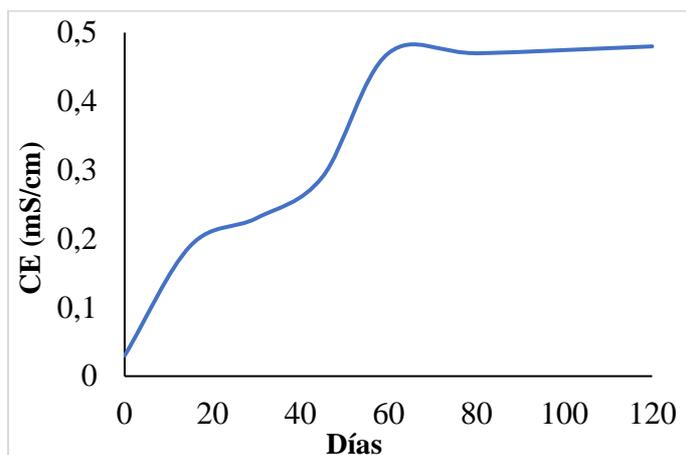


### 6.1.1. Conductividad eléctrica en NitrAgua

La Conductividad eléctrica en el Azollario fue baja de 0,03 a 0,48 mS/cm, de igual manera la relación de absorción sodio se mantuvo de 0,0 a 0,2 hasta los 120 días.

**Figura 21**

*Conductividad eléctrica en NitrAgua.*

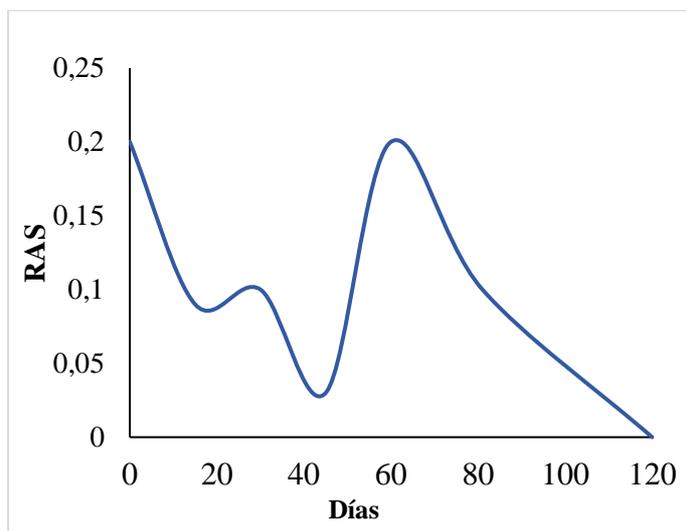


### 6.1.2. Relación de absorción de sodio (RAS) en NitrAgua

La Figura 22 representa la absorción de sodio en NitrAgua que va de 0,2 a 0 ppm, niveles aceptables para agua de regadío.

**Figura 22**

*RAS en NitrAgua. La Argelia, Loja. 2021.*

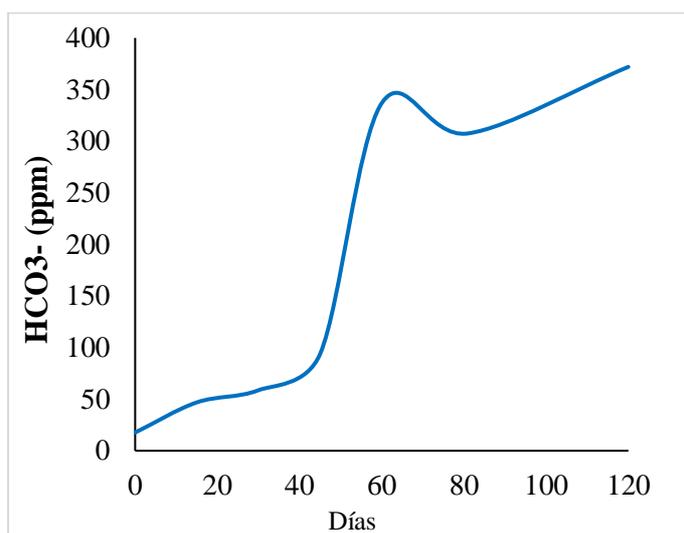


### 6.1.3. Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en NitrAgua

En un principio el contenido de  $\text{HCO}_3^-$  fue 17,6 ppm, a los dos meses el contenido de bicarbonatos en la NitrAgua se elevó a 336,6 ppm y se mantuvo hasta los 120 días.

**Figura 23**

*Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en NitrAgua.*

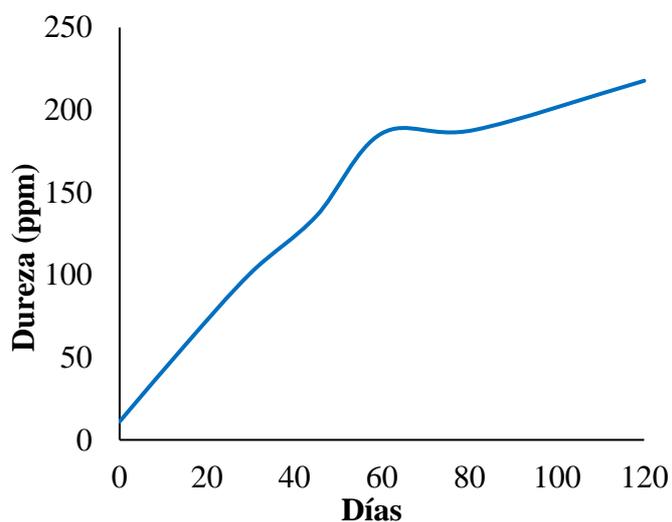


### 6.1.4. Dureza en NitrAgua

La dureza del agua al inicio fue de 11,1 ppm; no obstante, con el tiempo aumentó, a 185 ppm en 60 días, y a los 120 días a 217,7 categorizada como agua totalmente dura.

**Figura 24**

*Dureza en NitrAgua.*



### 6.1.5. Evolución de cultivo de Azolla

El cultivo de Azolla presentó diferente coloración durante su evolución en un comienzo su color era verde claro y oscuro con una longitud promedio de raíz de 2,0 cm y diámetro del área foliar 1,6 cm hasta los 45 días después cambia a tonos amarillo y marrón, incrementa la longitud de raíz a 3,5 cm y, con un diámetro de 1,4 cm; a los 90 días la raíz se prolonga, hasta alcanzar 5,5 cm y el diámetro disminuya a 1,0 cm, predominando tonos rojizos con bordes marrones.

### Figura 25

*Evolución del cultivo de Azolla*



### 6.2. Evaluación el nitrógeno bien expresado en el cultivo Brócoli (*Brassica oleracea*)

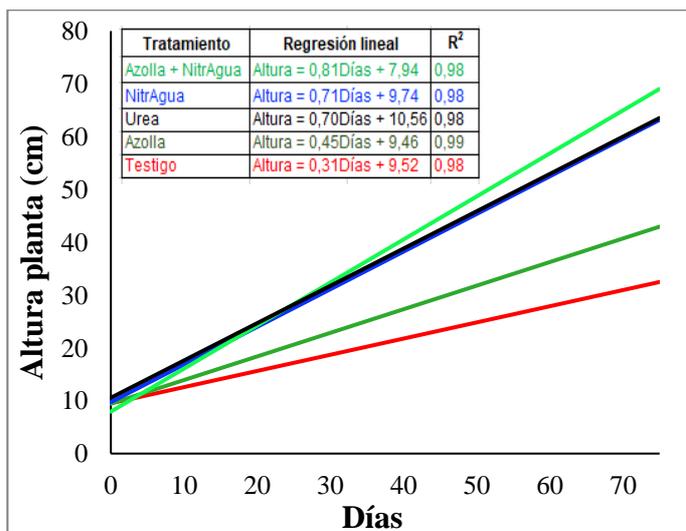
Las plántulas de brócoli se sembraron en época lluviosa, con rangos de temperatura, humedad y luminosidad óptimas para el cultivo. Para evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el desarrollo de las plantas, desde la siembra hasta la cosecha se midieron las variables altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas y peso de la pella o inflorescencia.

#### 6.2.1. Altura de planta

La altura inicialmente fue en promedio 9,0 cm en los cinco tratamientos. El modelo de regresión lineal en la Figura 26, reporta un bajo crecimiento en el testigo de 0,31 cm/día, en tanto que en Urea y NitrAgua se obtuvieron resultados similares de 0,70 y 0,71 cm/día, la mayor altura se obtuvo con la aplicación de NitrAgua más Azolla con 0,81cm día<sup>-1</sup>.

**Figura 26**

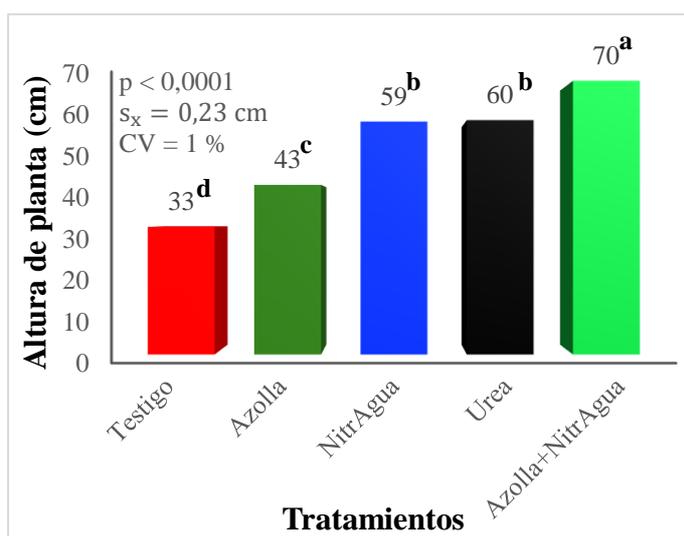
Modelo de regresión lineal para altura de brócoli.



En la Figura 27, a los 75 días se presentan diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ); con coeficiente de variación de 1% y error estándar de la media de 0,23 cm, en todos los tratamientos a excepción de NitrAgua y Urea que muestran una altura final que va de 59 a 60 cm. Al mismo tiempo se lograron los mejores resultados al usar biomasa de Azolla más NitrAgua, con altura promedio de 70 cm.

**Figura 27**

Altura de planta de brócoli.

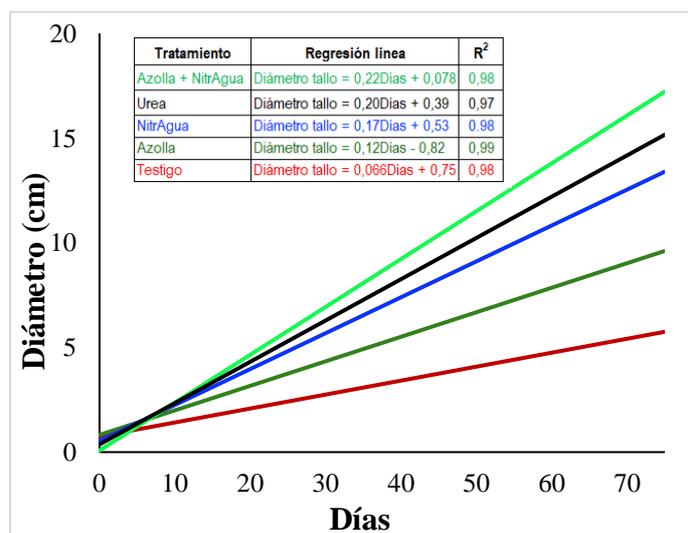


El modelo de regresión lineal para el diámetro del tallo de brócoli se muestra en la Figura 28, en el testigo el grosor del tallo aumentó en  $0,06 \text{ mm día}^{-1}$  y fue menor comparado con los demás tratamientos; le sigue Azolla que subió hasta  $12 \text{ mm día}^{-1}$ , en cuanto a Urea y NitrAgua

el espesor alcanzó entre 0,17 a 20 mm día<sup>-1</sup>; por otra parte, al obtener 0,22 mm día<sup>-1</sup> se logró los mejores resultados al suministrar Azolla más NitrAgua.

**Figura 28**

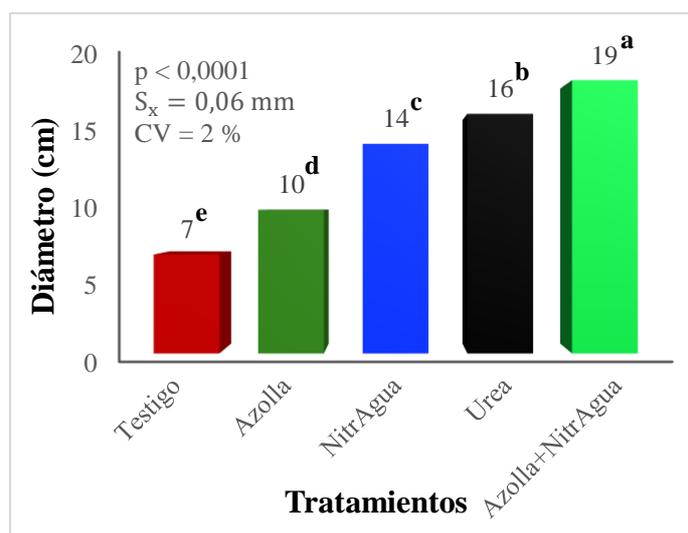
*Modelo de regresión lineal para diámetro en brócoli.*



En la Figura 29, todos los tratamientos se diferenciaron estadísticamente; a los 75 días el testigo llegó a un diámetro de 7 mm, los valores más altos se obtuvieron en 19 mm de diámetro con aplicación de NitrAgua más sustrato de Azolla.

**Figura 29**

*Diámetro del tallo en brócoli.*

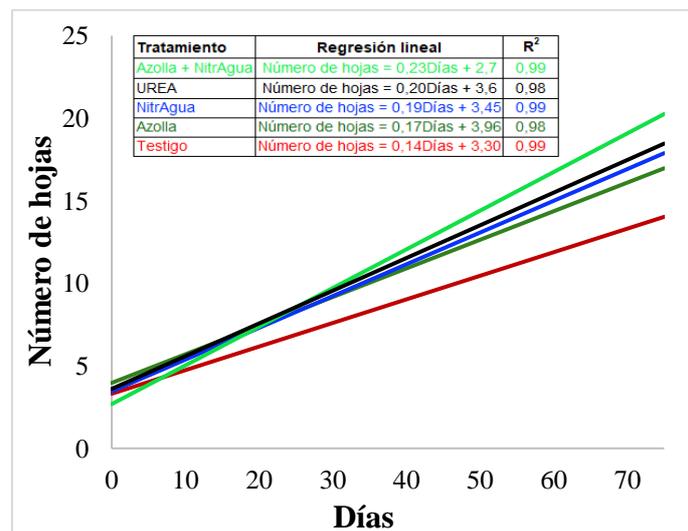


### 6.2.2. Número de hojas

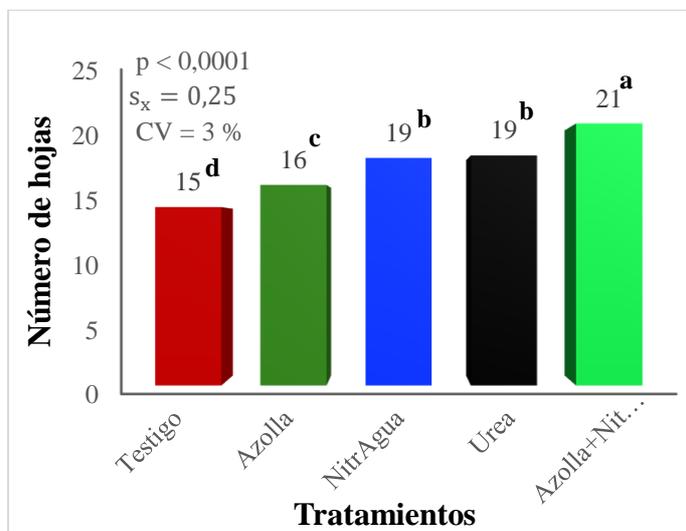
En la proyección lineal (Figura 30) el número de hojas del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*) se desarrolla diariamente entre 0,14 y 0,23; la mayor cantidad de hojas se consiguió al utilizar NitrAgua y Azolla.

**Figura 30**

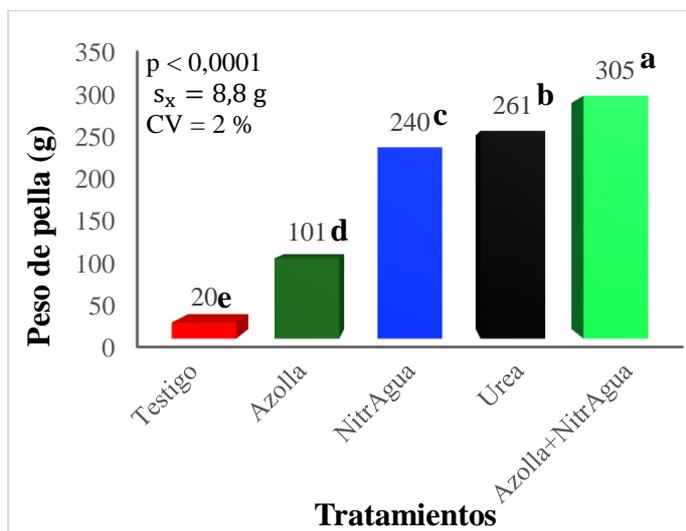
*Modelo de regresión lineal para número de hojas de brócoli.*



En el análisis de varianza (Figura 31) para el número de hojas a los 75 días presenta diferencia significativa entre los tratamientos; las plantas testigo tuvieron en promedio 15 hojas, pese a que en Urea y NitrAgua se tuvieron en promedio 19 hojas, valores más altos se dieron al utilizar NitrAgua más biomasa de Azolla 21 Hojas.

**Figura 31***Número de hojas en brócoli.***6.2.3. Peso de la pella**

En la Figura 32 se manifiesta, el análisis de varianza para el peso registrado al momento de la cosecha, el valor de todos los tratamientos indicó diferencia significativa, se detectaron distintos pesos; en el testigo se recolectaron pellas de alrededor de 20 g con rendimiento esperado de  $0,83 \text{ t ha}^{-1}$ , al colocar biomasa de Azolla se logró 101 g, en NitrAgua 240 g, en Urea 261 g mientras que, añadiendo Azolla más NitrAgua se obtiene los mejores resultados a razón de obtener 305 g ( $12,5 \text{ t ha}^{-1}$ ).

**Figura 32***Peso de la pella de brócoli.*

## 7. Discusión

### 7.1. Obtención de nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores

#### 7.1.1. Crecimiento de *Azolla filiculoides*

El crecimiento de las poblaciones del helecho es veloz en la parroquia Sucre del cantón Loja, se registró una producción de  $0,11 \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$  duplicando su biomasa de 5 a 6 días, resultados similares a los que obtiene, Elvira et al. (2016) en México al evaluar 17 ecotipos de *Azolla* trasplantados en un solución nutritiva sin nitrógeno con el fin de prevenir la proliferación de algas que dificultan el crecimiento del helecho después de 26 días, reporta que el ecotipo Jiutepec, Atlangatepec y Cerro gordo en periodos de 3 a 6 días logran doblar su biomasa propagándose  $76 \text{ gm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , según Payawal y De Macale citados en Elvira et al. (2016), las condiciones en las que se desarrolla la especie pueden limitar su capacidad para ser utilizada como biofertilizante ya que pueden perturbar su producción de biomasa y fijación biológica de nitrógeno.

En la investigación de Peters et al. (1980) la biomasa de *Azolla* se duplicó en 2 días o menos en un medio de  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatura más alta a la de la parroquia Sucre, con 16 horas luz. Sin embargo, Pulluquina (2013), afirma que diferentes profundidades y condiciones climáticas repercuten en el aumento o disminución en la reproducción del helecho, en su estudio se evidenció que *Azolla* duplica su biomasa en un tiempo aproximado de 5 a 6 días.

En evaluaciones entre la simbiosis *Azolla*-*Anabaena* en condiciones diferentes de luz y cantidad de nitrógeno Lenti & Rodríguez (2002), indican que el helecho en el tratamiento sin N presentó mayor tasa de crecimiento ( $0,092 \text{ día}^{-1}$ ) y presencia de la cianobacteria *Anabaena Azollae* en comparación a las plantas crecidas en el medio con N que fue de  $0,027 \text{ día}^{-1}$ , independientemente de la cantidad de luz suministrada. Lo que significó que *Azolla* duplicó su biomasa en un promedio de 7,54 días en el medio sin N, y 25,2 días en el medio con N, estas diferencias se pueden relacionar a los iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , debido al tiempo de contacto con la planta podrían haberla intoxicado. El total de pigmentos fotosintéticos primarios y auxiliares que componen la asociación simbiótica *Azolla*-*Anabaena* permiten al organismo utilizar una gama más amplia de energía luminosa disponible, es probable que esta característica sea la que provoque el rápido crecimiento y la gran acumulación de biomasa en períodos tan breves.

Silva et al. (2022) argumenta, que altas intensidades de luz ( $20\ 000 \text{ lx}$ ) estimulan el crecimiento de *Azolla* en un 32% logrando un aumento de  $0,321 \text{ día}^{-1}$  con tiempo de

duplicación de 2, 16 días, sucede lo mismo con la humedad al 90 %, en tanto que a valores entre 60 y 75 % disminuye su desarrollo.

### **7.1.2. Producción de Azolla**

El género *Azolla* se caracteriza por tener elevada tasa de crecimiento y producción en el estudio se propagó a razón de 2,39 kg/m<sup>2</sup> equivalente a 25,66 t ha<sup>-1</sup>, estos resultados son similares a los encontrados por Montaña (2011) de 22,5 t ha<sup>-1</sup> en la provincia del Guayas, y mayores a los de Rivera et al., (2017) 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 g en estanque sin cubierta difiriendo de una producción de 150 g utilizando techo; además, al sembrar *Azolla* en agua residuales con y sin pretratamiento, se obtienen densidades de 76,67 g/m<sup>2</sup>/d, 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 baja la temperatura y las 8,28 horas luz influenciaron el aumento de su biomasa.

Los resultados para la producción de *Azolla* en la parroquia Sucre son menores a los obtenidos por PROMSA (2004) al evaluar su producción a nivel de invernadero obteniendo 36,46 t/ha/m eliminando por completo el Zn y hasta 7,99 t/ha/m eliminando el K en tanto que usando microorganismos benéficos se obtuvo rendimiento de 18,87 y 5,87 t/ha/m, en cambio a nivel de campo con exposición a radiación solar se estimó 2,08 t/ha/m a 45,87 t/ha/m, este fenómeno se deriva de las temperaturas del ambiente controlado del invernadero y nulo ingreso de precipitación en los Azollarios, caso contrario de experimento a campo abierto que realizó en la presente investigación, donde el cultivo de *Azolla* estuvo expuesto a las variaciones climáticas del sector.

### **7.1.3. Contenido de nitrógeno en la NitrAgua**

La asociación simbiótica entre *Azolla*-*Anabaena* en un periodo de 15 días hasta un mes de la siembra generó entre 180 a 240 kg N ha<sup>-1</sup>, entre los 45 y 60 días del cultivo el contenido de N en la NitrAgua fue de (45 a 67,5 kg/ha) debido al exceso de entrada de precipitación en el Azollario responsable de la disolución de nutrientes, a partir de los 81 días el contenido de N subió a 150 kgNha<sup>-1</sup> permaneciendo así hasta los 120 días, en tanto que en zonas arroceras de Chile se obtuvo cantidades de 50 a 60 kg ha<sup>-1</sup>, según estudios de Vidal & Longeri (1993), a temperaturas medias mensuales superiores a 14 °C entre octubre y marzo, en un periodo de 15

días se fijó de 25 a 60 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que de abril a septiembre las bajas temperaturas y altas precipitaciones el desarrollo fue insignificante. De igual manera García (2010) afirma que la Pteridofita acuática de la familia de las Salviniáceas en simbiosis con la cianobacteria *Anabaena azollae* es capaz de fijar entre 3 a 5 Kg ha<sup>-1</sup>.

Stewart (1977) citado en (Paredes, 2013) asevera que organismos fijadores en simbiosis como leguminosas, captan N atmosférico y producen nitrógeno asimilable: *Rhizobium* Prom. 200 kg. N/ha/año, *Bradyrhizobium* 500 Kg N/ha/año, *Actinomycetos Frankia* 40 a 200 Kg N/ha/año. Finalmente, Sevillano García et al. (1986) indica que el helecho tiene un crecimiento rápido, y se lo puede emplear bajo siembra conjuntamente con otros cultivos, en virtud de que es capaz de fijar entre 103 a 162 kgNha<sup>-1</sup> valores similares a los obtenidos en la parroquia Sucre. Por otro lado Campillo et al. (2003), asegura que las leguminosas como el trébol y alfalfa fijan nitrógeno entre 60 y 770 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

En cuanto a la concentración de nitrógeno establecida por la asociación Azolla-*Anabaena* bajo la influencia de varias concentraciones de cobalto, se determinó que el mayor valor obtenido (3,36%) corresponde a una concentración de 2,00 ug/l de cloruro de cobalto, y en el caso del tratamiento con molibdeno fue de 3,21%, valor superior al obtenido en el control que fue de 2, 84 %. Adicionalmente, en cuanto a la relación entre el carbono y el nitrógeno, se descubrió que se obtuvo una mejor relación carbono-nitrógeno en comparación con el mando (9,77 ), para el tratamiento con cobalto (10,06) a una concentración de 0,02 ug/l y molibdeno (9,93) a una concentración de 10 ug/l (Merma, 2016).

Azolla se adaptó inicialmente al laboratorio; a medida que crecían, se trasladaban a un invernadero para seguir analizando sus requerimientos de crecimiento; posteriormente se examinó su desarrollo en campo bajo diversas condiciones de fertilización. El rendimiento de Azolla fresca fue de 20 t/ha/mes, lo que equivale a 600 kg de nitrógeno por hectárea cada año. La capacidad de fertilización de la Azolla se mide por el rendimiento de 7,42 t/ha de arroz que se obtuvo durante el cultivo de invierno dosificando 40 t/ha de Azolla con fertilizante. La producción de Azolla es un negocio rentable con una tasa interna de retorno del 50,60% (Armijos, 2005).

#### **7.1.4. Contenido de nitrógeno en biomasa de Azolla**

La composición química de *Azolla filiculoides* depende del balance de nutrientes, de la columna de agua y del manejo del cultivo; además, no solamente está compuesta de N si no otros macronutrientes indispensables para el desarrollo de las plantas por cada kg de Azolla se tiene un rendimiento de 3,45 % N, 0,78 % P, 3,5 % K, 1,18 % Ca y 0,28 % Mg, en contraste

con investigaciones realizadas por Méndez et al. (2018), la composición química de Azolla, es el siguiente: N en peso fresco (4,0 a 5,0 %), N en peso seco (0,2 a 0,3 %),  $P_2O_5$  (0,4 a 0,5 %), Ca (0,4 a 0,5 %)  $K_2O$  (2,0 a 4,5 %), Mg (0,5 a 0,65 %) y Fe (0,06 a 0,22 %); es decir, los porcentajes de nutrientes obtenidos en el experimento se encuentran dentro de estos rangos.

Suárez & González García (1998) en su trabajo “Las plantas acuáticas en un contexto de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales Azolla spp.I” afirman que el helecho posee las siguientes cantidades de macronutrientes en biomasa seca: N 3,8%, P 0,7%, Ca 1,7%, K 1,8%; valores similares de N (3,72 %) se obtienen en Perú específicamente en el valle del Mantaro por Mandujano (2019). Otros resultados similares son los realizados por Reyes (2021) sostiene que el N presente en Azolla es alrededor de 4,5 % y de fósforo de 0,49 %. El contenido de N en Azolla para la alimentación de Tilapia Roja es de 1,51 % (Ordoñez, 2005).

#### **7.1.5. Contenido de potasio en NitrAgua**

El contenido de K en NitrAgua tuvo un comportamiento estable hasta los 60 días de 37,63 ppm, después de cuatro meses descendió en 38,68 %; por lo tanto, en dos meses NitrAgua produciría un valor equivalente a 56,44 kg K ha<sup>-1</sup> al confrontar estos resultados con otros insumos que contienen este elemento, Martínez (1994) afirma que el estiércol de ganado mayor al año produce 83 kg de K, entonces Azollario originaría la misma cantidad de K en menos tiempo. Así mismo, Mikkelsen (2007) afirma que la ceniza de madera aporta un 4 % de K mientras que los residuos de algas contienen un promedio de 0,4 g de K l<sup>-1</sup>.

#### **7.1.6. Contenido de Ca y Mg en NitrAgua**

Restrepo (1998), como se citó en Picado & Añasco (2005) afirma que en la naturaleza el calcio y magnesio se pueden obtener de fuentes de origen: animal por ejemplo la lombricomposta de vacuno (Ca 63 %; Mg; 0,66%), conejo (Ca 7,29 %; Mg 0,97 %) u oveja (Ca 5,98 %; Mg 0,80 %) y vegetales como broza de café (Ca y Mg 0,2%), casaca de caña (Ca 2,5% y Mg 0,2%). Gómez & Vázquez (2011), declaran los siguientes valores de Ca (2,6 %) y Mg (0,4%) en bocashi. La producción de Ca en el Azollario tuvo un rendimiento de 61,23 kg ha<sup>-1</sup> y Mg (19,3 kg ha<sup>-1</sup>).

#### **7.1.7. Contenido de Na, B, Cl y SO<sub>4</sub> en NitrAgua**

El Cl<sup>-</sup> y Na no se consideran elementos esenciales, las plantas los utilizan en pequeñas cantidades, los rangos aceptables para evitar toxicidad no deben excederse de 50 ppm en Na y 70 ppm Cl<sup>-</sup>, por lo tanto, las cantidades que se han obtenido en NitrAgua (3,5 a 14,5 ppm) hasta

los 120 días expresan niveles tolerables para los cultivos (Fertilab, 2015) y (J. López, 2021). El B es un micronutriente cuya deficiencia se presenta a nivel celular y vascular, pero la principal afección repercute en la disminución del contenido de azúcar en frutos y tubérculos, los síntomas de toxicidad se presentan a partir de 5 ppm provocando necrosis para las hojas y amarillamiento de los bordes y extremidades, de tal manera que NitrAgua está en los parámetros adecuados entre (0,01 a 0,1 ppm) (Yamada, 2000; Vera, 2001).

Sanzano (2019) y Cerveñansky (2011) se refieren al azufre como un elemento requerido en las mismas proporciones que el fósforo, aumenta la descomposición de residuos vegetales, abono verde y concentración de proteína cruda, su deficiencia trae retraimiento de la síntesis proteica afectando al proceso de fotosíntesis y fijación de nitrógeno, su absorción por las plantas se encuentra entre 10 y 50 kg/ha pero en el Azollario se encuentra en 1,00 y 4,88 kg/ha.

#### **7.1.8. Contenido de pH, CE y RAS en la NitrAgua.**

El pH en el Azollario fu apropiado (6,48 a 7,47), demostrado por Lemonie (2017) y Monteros (2011) que establecen rangos óptimos (6,5 a 7,0) para el desarrollo de *Azolla filiculoides* Ruiz(2015), sugiere que *Azolla* crece con las siguientes características del agua: pH de 5,78, conductividad eléctrica 7,4 us/cm, temperatura de 23,5 °C y que se tiene una buena reproducción incluso sometida a concentraciones elevadas de Hierro. Por otro lado, Espinoza & Gutierrez (2006), manifiestan que a pH 8,01 a 8,73) y CE de 0,70 a 13, 01 mmhos/cm también existe el buen desarrollo del helecho.

La calidad de aguas agrícolas para riego está determinada por varios parámetros entre ellos el RAS (relación de absorción de sodio) Nakayama (1982); Ayers y Wescot (1985) como se citó en Fertilab (2015) argumentan que a partir de 3,0 la salinización tiene efectos negativos en el suelo y el rendimiento de los cultivos.

#### **7.1.9. Dureza en NitrAgua**

AGROPRODUCTORES (2017), en la nota “La calidad de agua” expone que las aguas duras reducen la eficiencia de agroquímicos, y poseen conductividades eléctricas muy elevadas y generalmente se evita su consumo para la irrigación debido a la susceptibilidad de ciertos cultivos a niveles altos de CE. De esta manera, Rodríguez & Rodríguez (2010), establecen parámetros de dureza del agua categorizando como: blanda (0-7 mg/L CaCO<sub>3</sub>), semi dura (75 a 150 mg/L CaCO<sub>3</sub>), dura (150 a 300 mg/L CaCO<sub>3</sub>), muy dura (> 300mg /L CaCO<sub>3</sub>). Molinero

(2009), expresa la dureza en rangos de calidad: Buena (150 mg CO<sub>3</sub>Ca/l), media (150 a 300 CO<sub>3</sub>Ca/l), aceptable (300 a 500 mg CO<sub>3</sub>Ca/l), difícilmente utilizable (>600 CO<sub>3</sub>Ca/l). Con base a lo mencionado, NitrAgua a partir de los 15 días aumentado la dureza del agua de buena calidad para luego después de los 60 días llegar una calidad media.

#### **7.1.10. Contenido de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la NitrAgua.**

INTRAGI (2018) manifiesta que los carbonatos y bicarbonatos determinan la alcalinidad del agua; niveles altos elevan el pH, lo que provoca poca disponibilidad de absorción de nutrientes por partes de las plantas, el elemento Hierro es el más susceptible, repercutiendo en clorosis intervenal en las hojas jóvenes. Así mismo, se expresan niveles adecuados de calidad de agua en riego por gravedad o goteo: ninguno (1,5 meq/L), leve a moderado (1,5 a 8,5 meq/L), severo (8,5 meq/L); riego por aspersión: ninguno (0,6 meq/L), leve a moderado (0,6 a 3,0 meq/L), severo (3,0 meq/L). Por lo tanto, el agua del Azollario hasta los 45 días no presenta problemas de alcalinidad, de aquí en adelante la calidad de agua llegara leve o moderada.

## **7.2. Evaluar el nitrógeno bien expresado en el cultivo Brócoli**

### **7.2.1. Altura de la planta**

Chura & Tancara (2020) empleado abono orgánico líquido aeróbico al 20 y 30 % en sistema de riego por goteo se alcanzaron un promedio de 84,8 cm a 78,8 cm respectivamente de altura de planta. Martínez (2021), estudio dos variedades de brócoli con distancias de siembra diferente: (Brócoli Legacy 0,50 x 0,40 m), (Brócoli Legacy 0,30 x 0,60 m), (Brócoli Legacy (Testigo) 0,35 x 0,60), (Brócoli Marathon 0,50 x 0,40m), (Brócoli Marathon 0,30 x 0,60m), (Brócoli Marathon (Testigo) 0,35 x 0,60 m) midiendo la altura desde el cuello de la raíz hasta el extremo superior de la pella formada, tuvo los siguientes resultados; 55,25; 54,95; 54,17; 51,95; 53,82 y 53,40 cm, respectivamente; obteniendo los mejores resultados en variedad Legacy con superficie ocupada por 0,20 m<sup>2</sup>, seguido por la misma variedad con menor superficie 0,18 m<sup>2</sup> ocupada por planta, el promedio más bajo se dio en la variedad Marathon de 0,20m<sup>2</sup>, ante lo expuesto en el híbrido Avenger se estima una altura de 33 cm, empero los resultados más altos en altura de planta debido aplicación de Azolla + NitrAgua fueron de 70 cm con una superficie ocupada por planta de 0,066 m<sup>2</sup>, se justifican estos resultados debido al alto contenido de nitrógeno en el Azollario aplicado en cada riego.

### **7.2.2. Diámetro de planta**

En promedio el diámetro de tallo en el mejor tratamiento es de 20 mm debido a que durante el desarrollo del cultivo no se aplicó ningún producto hormonal en la parte aérea, siendo menor al resultado de Navas (2013), en su investigación usando biorreguladores orgánicos durante la germinación obtuvo las siguientes medidas; con Dilución de 2 g de Agrostemin en 1 litro de agua, presentó el mayor grosor a los 21 días 0,29 cm; con Dilución de 4 g de Agrostemin en 1 litro de agua, tuvo gran grosor a los 28 y 35 días después de la siembra 0,24 y 0,27 cm. Mediante a la utilización de ácidos húmicos y fúlvicos el híbrido Avenger H1, tuvo en promedio a los 30 días 0,26 cm a los 60 días 0,47 y 0,58 cm, a los 90 días. Por su parte Infoagro (2021), asegura que el diámetro del tallo principal varía entre 2 y 6 cm y su longitud desde el cuello de la raíz hasta el ápice varía entre (20 y 50 cm).

### **7.2.3. Número de hojas**

El promedio en número de hojas usando Azolla + NitrAgua fue de 21, a causa del contenido de N presente en NitrAgua, usado en cada riego, siendo los resultados superiores a los obtenidos por Catota & Ramírez (2020) que al aplicar abono químico foliar se registró a los 60 y 90 días. A los 60 días se tuvo el mayor número de hojas con promedios de 13 hojas/planta, con gallinaza dio un rendimiento menor de 12 hojas. obtenidos por Vargas Guillén et al. (2019) quien registró 6 hojas utilizando una mezcla de gallinaza y algas marinas como abono edáfico. El incremento de hojas en el tratamiento con abono químico es posible que se trate por la alta cantidad de nitrógeno presente en este fertilizante (González & Ulloa, 2008).

### **7.2.4. Peso de la pella**

La variable del peso tuvo un rendimiento de 12 t ha<sup>-1</sup> mediante el uso de Azolla más NitrAgua con una dosis de (100 mg N l<sup>-1</sup>), clasificada como una pella de cabeza mediana y 10,86 t ha<sup>-1</sup> con Urea (40 mg N l<sup>-1</sup>), el pH del suelo estuvo en un valor de 5,95, no alcanzó la cantidad de referencia 6,5 de referencia para producción del cultivo de brócoli, provocando resultados inferiores a los obtenidos por Raya-Montaña et al. (2018) que aplicó 120 kg N ha<sup>-1</sup> y obtuvo un rendimiento de 14,1 t ha<sup>-1</sup>. Pero son mayores a los de Rosero (2015), con abono edáfico 10-30-10, un quintal de compost en fertilización de fondo más fertilización foliar, en variedad Batavia tiene un peso de 29 392,36 kg/ha en rendimiento y en Avenger 24756,94 kg/ha. Mientras que Cifuentes (2014), realizó fertilización nitrogenada con Ferthigue con dosis de 405 kg N/ha desarrollo pellas con una media de 552,98 g frente al testigo con que se ubica en una media de 526 g.

## 8. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye:

- *Azolla filiculoides* presenta un crecimiento exponencial con el pasar del tiempo del 17 %, 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 17° C y humedad relativa de 78%. El valor del coeficiente de determinación indica que agentes como fenómenos meteorológicos no influyen de manera progresiva en su crecimiento, 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 160 ppm equivalente a 240 kg ha<sup>-1</sup> a partir de los 90 a los 120 días, logra fijar 150 Kg ha<sup>-1</sup>, valores suficientes de nitrógeno para el cultivo de brócoli.
- NitrAgua no solo continente nitrógeno, otros macroelementos como K, Ca, Mg, P, Na, B, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> que también se encuentran en forma disponible para su absorción.
- Azolla utilizada como sustrato es capaz de aportar macronutrientes debido a que en su composición química existe 3,45 % N, 0,78 % P, 3,05 % K, 1,18 % Mg y 0,28 % Ca., además mejora la estructura del suelo, mediante la porosidad. El pH se encuentra en estado alcalino, sin embargo, los niveles de dureza indican que es un agua apta para el uso agrícola.
- Los mejores resultados de altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, y peso de pella se presentaron en el tratamiento de biomasa de Azolla más NitrAgua.
- La construcción de Azollarios es una propuesta innovadora, de bajo costo, fácil de implementar, que contribuye fundamentalmente a la disminución de la contaminación ambiental, con bajos costos de producción de los agricultores.

## 9. Recomendaciones

- Realizar la investigación a nivel de invernadero para impedir el paso de las precipitaciones, y así determinar el contenido de nitrógeno asimilable y fijado exacto por parte de Azolla en el Azollario, contaminación por otras especies y pérdida por evapotranspiración.
- Medir con estación meteorológica, las distintas variaciones del clima todos los días hasta terminar el proyecto para aseverar el crecimiento de Azolla según el medio en el que se encuentra.
- Manejar el monitoreo de Azolla a diario en cuanto al crecimiento de esta, no remover la biomasa a pesar de que el estanque se encuentre lleno para corroborar hasta qué grado de espesor asciende el helecho.
- Probar Azolla como sustrato en biomasa seca y a diferentes dosis y pH de suelo.
- El pico más alto de nitrógeno se obtiene a los 30 días después del trasplante, se recomienda optar por la construcción de dos Azollarios que compensen los requerimientos hídricos del cultivo, para de esta forma tener siempre una cantidad fija de aporte de nutrientes.
- Se debe realizar otros ensayos con el fin de aclarar varios de los parámetros de esta investigación con y asegurar el efecto de la simbiosis Azolla-Anabaena en la producción de hortalizas. A demás de difundir de manera concreta y precisa al agricultor la tecnología para elaborar nitrógeno bien expresado.

## 10. Bibliografía

- Acosta, J., Martínez, B., Cerdá, A., Ferrández, B., & Núñez, E. (2018). *Alimentos de la región de Murcia: Brócoli*. [https://www.ucam.edu/sites/default/files/catedras/agro-santander/informe\\_brocoli\\_web.pdf](https://www.ucam.edu/sites/default/files/catedras/agro-santander/informe_brocoli_web.pdf)
- AGROPRODUCTORES. (2017). La dureza del agua (Calidad del agua) [https://agroproductores.com/dureza-del-agua/]. *La dureza del agua (Calidad del agua)*. <https://agroproductores.com/dureza-del-agua/>
- Aguiar, K. (2020). “*La Azolla: Importancia y usos para mejorar la fertilidad y calidad del suelo y del agua en la agricultura.*” [Universidda Técnica De Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8327/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000237.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcántar, G., & Trejo, L. (2009). *Nutrición de cultivos* (Colegio de Posgraduados y Mundi-Prensa.). [https://www.researchgate.net/publication/262588078\\_Nutricion\\_de\\_cultivos/link/039b2ad30cf21122b71df404/download](https://www.researchgate.net/publication/262588078_Nutricion_de_cultivos/link/039b2ad30cf21122b71df404/download)
- 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.
- Alesandri, D., & Alesandri, G. (2009). *Seminario sobre fertilización nitrogenada en pasturas* (p. 25). <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/Seminarios%202009/Texto%20-%20Fertilizacion%20Nitrogenada%20en%20Pasturas.pdf>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

- Alvarado, 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.* [BachelorThesis, Universidad Central del Ecuador.].  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/12941>
- Alvarez, F. (2012). *Producción de forraje verde hidropónico (Primera).* Pdf.  
[https://www.academia.edu/41547781/Manual\\_produccion\\_de\\_forraje\\_verde\\_hidropnico](https://www.academia.edu/41547781/Manual_produccion_de_forraje_verde_hidropnico)
- Amaya, Á. (2015). *Evaluación hidrogeoquímica e hidroquímica de la subcuenca del río aranchacal* [Universidad Del Salvador]. Pdf.  
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8237/1/Evaluaci%C3%B3n%20hidrogeoqu%C3%ADmica%20e%20hidroqu%C3%ADmica%20de%20la%20subcuenca%20del%20r%C3%A9o%20Aranchacal.pdf>
- Andrade, F. (Ed.). (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina: Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental.* Presidencia de la Nación, Ministerio de Agroindustria, INTA, Dirección Nacional Asistente de Información, Comunicación y Calidad.  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/lib\\_desafiosagricultura\\_2017\\_online\\_b.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/lib_desafiosagricultura_2017_online_b.pdf)
- ARCAL. (2017). *Acuerdo regional de cooperación para la promoción de la ciencia y la tecnología nucleares en América Latina y el Caribe* (p. 26). <https://www.arcal-lac.org/wp-content/uploads/documentos/informes/2016/Ecuador.pdf>
- Arevalo, J. I. F., Solórzano, G. J. R., García, E. R. F., Itzel, N., Saavedra, R., & Valdez, M. S. G. (2019). *Desarrollo y creación de fertilizantes naturales a base de lirio acuático fermentat.* 11(2), 182. Pdf.
- Armijos, M. M. (2005). Estudio de la aplicación de Azolla Anabaena como bioabono en el

cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 18(1), Art. 1.

<http://200.10.150.204/index.php/tecnologica/article/view/240>

Arrien, I. (2018). *Fertilizantes en Ecuador*.

<https://www.icex.es/icex/GetDocumento?dDocName=DAX2018791785&site=icexES>

Arroyave, S. M. S., & Restrepo, F. J. C. (2009). Análisis de la contaminación del suelo:

Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre*

*Económico*, 12(23), 22.

Aubrio, L., Bonilla, S., Brena, B., Britos, A., Conde, D., Guillermo, C., León, L., Fabre, A.,

Lourdes, G., Gravier, A., Valeria, H., Kruk, C., Pérez, M., Kruk, Piccini, C., Rodríguez,

L., & Vidal, L. (2009). *Cianobacterias planctónicas de Uruguay: Manual para la*

*identificación y medidas de gestión*.

[https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef\\_0](https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0)

000216319&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach\_important\_2c304103-8868-43c5-83af-

ad71fc30cd46%3F\_%3D216319spa.pdf&locale=en&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0

000216319/PDF/216319spa.pdf#%5B%7B%22num%22%3A86%2C%22gen%22%3

A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2Cnull%2Cnull%2C0%5

D

Ávila, J. P., & Canul, R. P. (2002). *Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con*

*relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos*. 6(3), 81.

Benimeli, M., Corbella, R., Sanzano, A., Fernández, J., Plasencia, A., Andina, D., & Sosa, F.

(2019). *El nitrógeno de suelo*. 11.

Benítez, C., González, G., Fierro, O., Margarita, A., Solano, Q., Quito, R., Alvarado, R.,

Fernando, L., Campoverde, V., Georgina, E., Torres, R., & Fernanda, M. (2016).

*Producción agrícola y construcción de indicadores de sostenibilidad en el cantón Loja*,

- provincia de Loja* [Universidad Técnica particular de Loja].  
<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/17192/3/1191759.pdf>
- Bertsch, F. (2009). *Absorción De Nutrimientos Por Los Cultivos*.  
<https://doku.pub/documents/absorcion-de-nutrimientos-por-los-cultivos-2009pdf-d0nxknmjglz>
- Bharali, A., Baruah, K. 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 CH<sub>4</sub> emission pattern, soil carbon storage, and grain C interactions. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127931.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127931>
- biologiadelsuelo.com. (2015, julio 2). Ciclo del Nitrógeno. *biología del suelo*.  
<https://biologiadelsuelo2015.wordpress.com/ciclo-del-nitrogeno/>
- Borja, J., & Valdivia, R. (2015). Introducción a la agronomía. 2015, 127.
- Briceño, A. (2016, abril 21). ¿Qué es la amiloidosis? *Amiloidosis - Que es, Sintomas, Tratamiento*. <http://amiloidosis.es/2016/04/que-es-la-amiloidosis/>
- Bula, A. (2020). *Importancia de la Agricultura en el Desarrollo socioeconómico*. 16, 29.
- Cabezas, R. (2011). *Para la producción de nitrógeno en ecosistemas acuáticos de la zona de cayambe, 2010.* [Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito].  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1830/12/UPS-YT00098.pdf>
- Cadahia, C., Eymar, E., Lucena, J., Montalvo, T., Segura, M., Abad, M., Castilla, N., López, D., & Noguera, P. (2000). *Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales* (Segunda). Editorial Paraninfo.  
<https://books.google.co.ve/books?id=wRpfAwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Cadena, S., & Enríquez, M. (2013). *Efecto de Azolla sp., en la productividad y mejoramiento*

- del suelo en la granja experimental Yuyucocha, Imbabura* [Universidda Técnica Del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2068>
- Camacho, E. (2017). «Revolución Verde» Agricultura y suelos, aportes y controversias<sup>1</sup>. *APTHAPI*, 3(3), 844.
- Campillo, R., Urquiaga C., S., Pino N., I., & Montenegro B., A. (2003). Estimación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas forrajeras mediante la metodología del 15N. *Agricultura Técnica*, 63(2), 169-179. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072003000200006>
- Cantoral, E. A., Asencio Martínez, A. D., Aboal Sanjurjo, M., Cantoral Uriza, E. A., Asencio Martínez, A. D., & Aboal Sanjurjo, M. (2017). Cianotoxinas: Efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención. *Hidrobiológica*, 27(2), 241-251.
- 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 Toglhuayco. *Siembra*, 6(2), Art. 2. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP*. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Catota, W., & Ramírez, J. (2020). *Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de brócoli (brassica oleracea) var. Avenger sakata con dos abonos orgánicos*. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6924/1/UTC-PIM-000265.pdf>
- Cerveñansky, A. (2011). *Azufre*. <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/azufre.pdf>
- Chura, A. B., & Tancara, F. B. A. (2020). Concentraciones de Abono Orgánico Líquido Aeróbico (AOLA) en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*) mediante riego por goteo. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 66-

72.

- Cifuentes, A. (2014). *Evaluación de tres niveles de Ferthigue en el rendimiento del cultivo orgánico de brócoli*. 102.
- Coello, M. (2008). *Aislamiento y caracterización de Anabaena sp. De la camaronera de San Agustín, Machala provincia del Oro, Ecuador 2007 y evaluación de su crecimiento en función de la concentración de sal* [Escuela Politécnica Del Ejército].  
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/829/1/T-ESPE-025571.pdf>
- Coll, F. (2020). *Tipos de agricultura—Qué es, definición y concepto*. Economipedia.  
<https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-agricultura.html>
- Comunitat Valenciana. (2008). *Ficha especies exóticas invasoras*.  
<https://agroambient.gva.es/documents/91061501/166569699/Ficha+n%C2%BA+09+Red+Alerta+EEI+Azolla+filiculoides++sep+2008.pdf/68248468-e7d9-4b5f-8a6a-96e3cbb20e79?t=1645444815629>
- Condiza, C. (1998). *Agricultura sostenible*.  
[http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4741/1/20061127145142\\_Definicion%20de%20agricultura%20sostenible%5b1%5d.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4741/1/20061127145142_Definicion%20de%20agricultura%20sostenible%5b1%5d.pdf)
- Costa, J., & Ocete, C. (s. f.). *Nitrogeno en suelos*. Recuperado 24 de agosto de 2022, de  
<http://www.ugr.es/~cjl/Nitrogeno%20en%20suelos.pdf>
- Educatina (Director). (2011, julio 18). *Qué son las proteínas* [Mp4].  
<https://www.youtube.com/watch?v=Q03JCbEH2QQ>
- EL UNIVERSO. (2010, enero 9). *La azolla, fertilizante natural para bajar costos en el arroz*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/2010/01/09/1/1416/azolla-fertilizante-natural-bajar-costos-arroz.html>
- Elvira, A., Quintero, R., Trinidad, A., & Leyva, G. (2016). *Tasas de crecimiento y tiempo de duplicación de 17 Ecotipos de Azolla, colectadas en México*. 7.

- Espinoza, Y., & Gutierrez, R. (2006). Caracterización agronómica de accesiones de Azolla de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(2), 135-150.
- FAO. (2012). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ; Mundi-Prensa.
- FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*.
- Fertilab. (2015). *Comportamiento del Cloro en Suelos y Planta*.  
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Comportamiento%20del%20Cloro%20en%20Suelos%20y%20Planta.pdf>
- Fertilab. (2016). *Nota: Importancia del Azufre (S) en las Plantas*.  
[https://www.fertilab.com.mx/blog/92-importancia-del-azufre-\(s\)-en-las-plantas/](https://www.fertilab.com.mx/blog/92-importancia-del-azufre-(s)-en-las-plantas/)
- Fertilab. (2022). *Fertilizantes Nitrogenados y sus características*.  
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Fertilizantes%20Nitrogenados%20y%20sus%20caracteristicas.pdf>
- Fertilab. (2022). *Nota: Fertilizantes Nitrogenados, Fuentes y Características*.  
<https://www.fertilab.com.mx/blog/17-fertilizantes-nitrogenados-fuentes-y-caracteristicas/>
- Figuroa, J. (2004). *Fijación biológica del nitrógeno*. 4(1), 20.
- GAD-LOJA. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. 2014, 547.
- GAD-LOJA. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincial de Loja 2015 -2025*. <https://prefecturaloja.gob.ec/documentos/lotaip/2019/PDOT-2019.pdf>
- García, P. (2010). *Las plantas acuáticas invasoras. El caso de azolla en Doñana*.  
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/51136/Plantas%20acu%C3%A1ticas%20invasoras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- García, S. C. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Cuadernos del Tomás*, 3, 173-186.
- García, Y. (2015). *Calidad del agua con fines de riego*. 35. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5362999.pdf>
- Garrido, S. (1994). *Interpretación de análisis de suelos*. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_05.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf)
- Gavilanes, E. (2015). *Evaluación del helecho de agua asociado con anabaena (azolla anabaena) como sustrato ecológico para producción de plantas de brócoli (brassica oleracea l, variedad itálica), en la parroquia montalvo [universidad técnica de AMBATO]*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10941/1/tesis-039%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20335.pdf>
- Gayo, A., & Calbo, F. (2002). Estructura de proteínas: Plegamiento y priones. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 20(4), 161-167. [https://doi.org/10.1016/S0213-005X\(02\)72779-1](https://doi.org/10.1016/S0213-005X(02)72779-1)
- Goitía, Y., & Romero. (2011). *Análisis preliminar de la metodología para obtener el perfil vertical de parámetros del nivel eutrófico de un embalse*. XXXII(3), 8.
- Gómez, D., & Vázquez, M. (2011). *Abonos organicos*. <https://www.metrocert.com/files/abonos%20organicos%2024-05-2011.pdf>
- González, L. P., & Ulloa, M. C. (2008). Evaluación de cuatro genotipos de brócoli (brassica oleracea l. Var itálica) con cuatro niveles de fertilización. Cayambe, pichincha. *Rumipamba*. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=EVALUACI%C3%93N+DE+CUATRO+GENOTIPOS+DE+BR%C3%93COLI+%28Brassica+oleracea+L.+var+It%C3%A1lica%29+CON+CUATRO+NIVELES+DE+FERTILIZACI%C3%93N.+CAYAMBE%2C+PICHINCHA&author=Luc%C3%ADa+Peralta+Gonz%C3%A](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=EVALUACI%C3%93N+DE+CUATRO+GENOTIPOS+DE+BR%C3%93COLI+%28Brassica+oleracea+L.+var+It%C3%A1lica%29+CON+CUATRO+NIVELES+DE+FERTILIZACI%C3%93N.+CAYAMBE%2C+PICHINCHA&author=Luc%C3%ADa+Peralta+Gonz%C3%A)

1lez&publication\_year=2008

González, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes.*

[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias\\_ambientales\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_fertilizantes.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf)

Google Earth. (2022). *Coordenadas geográficas del lugar de estudio.* Recuperado 17 de septiembre de 2022, de

[https://earth.google.com/web/search/Universidad+Nacional+de+Loja,+Loja/@-4.03319644,-](https://earth.google.com/web/search/Universidad+Nacional+de+Loja,+Loja/@-4.03319644,-79.19947301,2136.74867265a,43.51942813d,35y,132.70109594h,44.9935796t,-0r/data=CigiJgokCd2rt1WjXTNAEd2rt1WjXTPAGTQJxtC8cT9AId1mJFRBPFHA)

[79.19947301,2136.74867265a,43.51942813d,35y,132.70109594h,44.9935796t,-](https://earth.google.com/web/search/Universidad+Nacional+de+Loja,+Loja/@-4.03319644,-79.19947301,2136.74867265a,43.51942813d,35y,132.70109594h,44.9935796t,-0r/data=CigiJgokCd2rt1WjXTNAEd2rt1WjXTPAGTQJxtC8cT9AId1mJFRBPFHA)

[0r/data=CigiJgokCd2rt1WjXTNAEd2rt1WjXTPAGTQJxtC8cT9AId1mJFRBPFHA](https://earth.google.com/web/search/Universidad+Nacional+de+Loja,+Loja/@-4.03319644,-79.19947301,2136.74867265a,43.51942813d,35y,132.70109594h,44.9935796t,-0r/data=CigiJgokCd2rt1WjXTNAEd2rt1WjXTPAGTQJxtC8cT9AId1mJFRBPFHA)

Greenpeace. (2017). *El plan de reforma de la agricultura europea pasa por alto el impacto de la ganadería industrial en la salud y el medio ambiente—ES.* Greenpeace España.

<https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/el-plan-de-reforma-de-la-agricultura-europea-pasa-por-alto-el-impacto-de-la-ganaderia-industrial-en-la-salud-y-el-medio-ambiente/>

Guáman, J., & Yaguana, M. (2010). XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo | Manualzz. *manualzz.com*, 12.

IDAE (Ed.). (2007). *Ahorro, eficiencia energética y fertilización nitrogenada.* IDAE.

IFFA. (1992). *Los fertilizantes y su uso.* 83.

INAMHI. (2017). *Anuario meteorológico.*

[https://www.inamhi.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)

Infoagro. (2021, diciembre 9). Aspectos del cultivo de brócoli. *Revista InfoAgro México.*

<https://mexico.infoagro.com/aspectos-del-cultivo-de-brocoli/>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). *Datos meteorológicos 2019.*

Microsoft excel. <https://www.inamhi.gob.ec/>

- INTAGRI. (2017). *El uso de ácidos para mejorar la calidad de agua*. 16, 5.
- INTAGRI. (2021). *La calidad de agua para fertirriego*.  
file:///C:/Users/Usuario/OneDrive/Documentos/03.%20Calidad%20del%20agua%20e  
n%20fertirriego.pdf
- INTRAGI. (2018). *Clasificación de aguas para riego agrícola*. 20, 5.
- Intriago, L. M. R., Delgado, I. R., & Jaramillo, M. L. C. (2020). Evaluación de potencialidades del helecho acuático *Azolla Sp.* Utilizado como alternativa alimenticia de *Aequidens Rivulatus*. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), Art. 1.
- Iturri, M. P. (1999). *Los recursos de agua y suelo para la agricultura y el desarrollo rural*. 4(11), 10.
- Izquierdo, J. (2017). *Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín*. 67.
- Jaramillo, J., & Díaz, C. (2005). *El Cultivo Crucíferas*. Litomadrid - Cra. 50 No. 56 -38.  
[https://www.academia.edu/29823010/El\\_Cultivo\\_Cruciferas](https://www.academia.edu/29823010/El_Cultivo_Cruciferas)
- Jarrín, J., Zurita, J., Cruz, S., Villacís, L., Pomboza, P., & León, O. (2016). *Efecto biofertilizante de azolla—Anabaena en el cultivo de maíz (Zea mays L.)*. 4.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2308-38592016000200008](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200008)
- Jojoa, C. (2013). *“Efecto de azolla sp., en la productividad y mejoramiento del suelo en la granja experimental yuyucocha, imbabura”* [universidad técnica del norte].  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2068>
- Juárez, P. (2013). *Producción de forraje verde hidropónico*. 1(13), 22.
- Kingston, E., Bowersox, V., Claybrooke, R., & Zorrilla, G. (Eds.). (2000). *El nitrógeno en la lluvia Nacional*. <https://www.arlis.org/docs/vol1/123915417/nbrochespanol.pdf>
- Kirkby, E., & Romheld, V. (2008). *Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones*,

*absorción y movilidad. 6.*

- Lemonie, P. (2017). Condiciones Óptimas. *Azolla para Todos*.  
<https://azollaparatodos.wordpress.com/2017/07/25/condiciones-optimas/>
- Lemonie, P. (2017, julio 25). Proceso de Producción. *Azolla para Todos*.  
<https://azollaparatodos.wordpress.com/2017/07/25/proceso-de-produccion/>
- Lenti, J. M., & Rodríguez, A. C. (2002). Evaluación de parámetros bioquímicos y morfogenéticos en la simbiosis *Azolla Filiculoides* – *Anabaena Azollae* como respuesta a la interacción de la calidad de luz y dos niveles de nitrógeno. *Ecología Aplicada*, 1(1), 89-94.
- Lira, C. (2019). *Anabaena: Características, hábitat, reproducción y nutrición*. Lifeder.  
<https://www.lifeder.com/anabaena/>
- Loaiza, J. (2010). *El recurso suelo*. 13.  
<https://docs.google.com/a/unl.edu.ec/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVMYXVsdGRvbWFpbnxzZWVsb3NIY3VhdG9yaWFsZXN8Z3g6NTliNzA0MThkYzlmZDgzYg>
- López, A., Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, o. (2011). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. 16.
- López, E. P., & Barrantes, D. R. (2017). Estudio fisicoquímico para la formulación de un fertilizante líquido de composición completa. *Pensamiento Actual*, 17(29), Art. 29.  
<https://doi.org/10.15517/pa.v17i29.31551>
- López, J. (2021). *La función del sodio y del cloruro en el cultivo de plantas | PRO-MIX*.  
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Lopez, C. (2005). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales.: Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Editorial Paraninfo.
- Lumpkin, T. A., & Plucknett, D. L. (1980). *Azolla: Botany, physiology, and use as a green*

- manure. *Economic Botany*, 34(2), 111-153. <https://doi.org/10.1007/BF02858627>
- Magues, I. F., & Ruiz, F. B. (2004). *Azolla anabaena como un abono alternativo en la produccion de arroz el litoral ecuatoriano. Analisis economico-financiero.* [Universidad Católica de Chile]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/525/1/1015.pdf>
- Mandujano, J. (2019). *Potencialidad del helecho azolla sp. Como biofertilizante nitrogenado alternativo en el cultivo de cebada de pequeños productores – valle del mantaro.* <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4577/MANDUJANO%20MIESES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, F. (2021). *Comportamiento de dos variedades de brocoli con diferente distanciamiento de siembra en el centro experimental “Dr. JACOBO BUCARAM ORTIZ”.* <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANTILLAN%20FREIRE%20JHONNY%20ARON.pdf>
- Martínez, L. (1994). *El estiércol y las practicas agrarias respetuosas con el medio ambiente.* 24.
- Martínez, L. (2015). «*La agricultura familiar en el Ecuador*». *En La agricultura familiar en América Latina. Un nuevo análisis comparativo.* <https://www.flacsoandes.edu.ec/agora/la-agricultura-familiar-en-el-ecuador>
- Mendez, Y., Pérez, Y., Reyes, J., & Puente, V. (2018). *Azolla sp., un alimento de alto valor nutricional para la acuicultura.* XX(1), 40.
- Mendieta, L. (2003). *Analisis Multitemporal De Los Sistemas Productivos Del Suroccidente De La Provincia De Loja.* [FUNDACION HEIFER ECUADOR]. <http://www.heifer-ecuador.org/wp-content/uploads/2018/03/8.-Analisis-Multitemporal-de-sistemas-productivos-Loja.pdf>

- Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (Cuarta).  
[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod\\_resource/content/2/PRI  
 NCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRI<br/>
  NCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf)
- Merma, F. (2016). *Influencia del molibdeno y cobalto en el crecimiento y fijación biológica de nitrógeno en azolla filiculoides lam* [universidad nacional de san agustín de arequipa].  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1829>
- Mikkelsen, R. (2007). *Producción orgánica de cultivos*. 4.
- 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](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_17/M_JESUS_MOLINERO_1.pdf)
- Molloy, L. (2018). *El suelo: Concepto y formación*.  
<http://www.edafologia.net/introeda/tema01/introd.htm>
- Montaño, M. (2010a). *Azolla Salud Economía Medioambiente*.  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10257/1/Azolla%20Salud%20Econom%C3%ADa%20Medioambiente.pdf>
- Montaño, M. (2010b). *Ecosistema Guayas (Ecuador): Recursos, Medio Ambiente y Sostenibilidad en la perspectiva de Conocimiento Tropical* [Universidad Miguel Hernández De Elche Departamento De Agroquímica Y Medio Ambiente].  
[https://www.academia.edu/4206441/Montano\\_2010\\_Ph\\_D\\_Tesis\\_R](https://www.academia.edu/4206441/Montano_2010_Ph_D_Tesis_R)
- 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). (2020a, julio 2). *DR. MARIANO MONTAÑO - PROMOTOR DE LA AGRICULTURA BIOGÉNICA*. <https://www.youtube.com/watch?v=hFBBnmGZHvA>

- Montaño, M. (Director). (2020b, julio 2). *PROMOTOR DE LA AGRICULTURA BIOGÉNICA*.  
<https://www.youtube.com/watch?v=hFBBnmGZHvA>
- Montaño, M. (Director). (2021, octubre 24). *AZOLLA, NITROGENO, AGRICULTURA BIOGÉNICA Y SALUD* [Mp4.]. <https://www.youtube.com/watch?v=1oVdrwzFEuY>
- Montaño, M. (Director). (2022, enero 19). "Agricultura Biogenica. No mas Covid en el Ecuador". <https://www.youtube.com/watch?v=VCvkP-dwXfY>
- Montaño, M., Arízaga, E., Báez, O., Cruz, M., Guerrero, M., Guevara, J., López, S., Núñez, B., Ordóñez, G., Paladines, A., Paz, C., & Sáenz, M. (2014). *Primer simposio historia de las ciencias y el pensamiento científico en el Ecuador* (YACHAY E.P. y Academia Nacional de Historia del Ecuador).  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4460/1/Historia%20de%20las%20ciencias%20en%20el%20Ecuador.pdf>
- Montero, M. (2009). *Métodos Basados en Optimización por Colonia de Hormigas Aplicados al Modelo Hidrofóbico-Polar del Plegamiento de Proteínas* [Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica].  
<https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/446/1/RoseteMM.pdf>
- Monteros, R. J. C. (2011). *Para la producción de nitrógeno en ecosistemas acuáticos de la zona de cayambe, 2010.* ". 83.
- Morales-Morales, E., Arriaga, M., López, J., Martínez, Á., & Morales-Rosales, E. (2021). *Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales*. 10(8).  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1732>
- Moreno, I. (2018). *Evaluación nutricional y económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays) empleando grano comercial* [Universidad Nacional].  
<https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/14958>
- Moya, H., Ospina, T., Gallego, J., Restrepo, J., & Sánchez, R. (2012). *Manejo fitosanitario del*

*cultivo de hortalizas*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/bb883b42-80da-4ae5-851f-4db05edf581b/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-hortalizas.aspx>

Municipio de Loja. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. 2014, 547.

Municipio de Loja. (2022). *Ubicación geográfica | Municipio de Loja*.  
<https://www.loja.gob.ec/contenido/ubicacion-geografica>

Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).  
<https://bibliotecadigital.aecid.es/bibliodig/es/consulta/registro.do?control=ES-MAAEC20190011211>

Namiq, K., Mahmood, S. S., Abdulrahman, N. M., Hassan, B. R., Sadraddin, A. A., & Rashed, R. M. (2021). *Effect of feeding common carp (Cyprinus carpio (Linnaeus, 1758)) with water fern (Azolla filiculoides (Lam.)) on its fillet quality*. 1.  
<https://doi.org/10.15407/fsu2021.01.094>

Navarro, S., & Navarro, G. (2003). *El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (Segunda). Aedos, s. a.  
<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484766568/quimica-agricola--quimica-del-suelo-y-de-los-nutrientes-esenciales-para-las-plantas>

Navas, J. (2013). “*Diferentes dosis de bioregulador orgánico en la germinación y producción de plantas de brocoli (brassica oleraceae l.) En el cantòn salcedo*.” 79.

Olivares-Quiroz, L., & Scherer, L. G.-C. (2004). *Plegamiento de las proteínas: Un problema interdisciplinario*. 11.

Orchardson, E. (2020, diciembre 4). El nitrógeno en la agricultura. *CIMMYT en español*.  
<https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>

Ordoñez, O. J. O. (2005). *Estudio comparativo del engorde del híbrido rojo de*

*tilapia (oreochromis sp.), utilizando dietas de azolla y soya*".

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13764/1/D-42722.pdf>.

Orellana, H., Solorzano, H., Bonilla, A., Salazar, G., Fálconí, & Velastiguí, R. (2008). *Brocoli organico.pdf*.

[https://quickagro.edifarm.com.ec/pdfs/manual\\_cultivos/BROCOLI%20ORGANICO.pdf](https://quickagro.edifarm.com.ec/pdfs/manual_cultivos/BROCOLI%20ORGANICO.pdf)

Norma de calidad ambiental y de & descarga de efluentes recursos agua. (2012). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*.

[http://www.efficacitas.com/efficacitas\\_es/assets/Anexo%201.pdf](http://www.efficacitas.com/efficacitas_es/assets/Anexo%201.pdf)

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/handle/23000/2063>

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

Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas* [Universidad Católica Argentina].

<https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/393/1/doc.pdf>

Pazmiño, C., Concheiro, L., & Wahren, J. (2017). *Agriculturas alternativas en Latinoamérica Tipología, alcances y viabilidad para la transformación social-ecológica*.

<https://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13957.pdf>

Pazos-Rojas, L. A., Marín-Cevada, V., García, Y. E. M., Baez, A., Villalobos-López, M. A., & Pérez-Santos, M. (2016). *Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde*. 3(7), 14.

Peña, C., & Ruiz, Y. (2020). *Azolla: Planta acuática fuente de nitrógeno*. 53.

<https://www.sabermas.umich.mx/formato-pdf.html?download=145:numero-53>

- Peñaloza, J. (2012). *La contaminación ambiental*.  
<https://www.eumed.net/rev/delos/13/japp.html>
- Pérez, L. (2018). *Control biológico, una estrategia tan sostenible como rentable*. 44(2), 5.
- 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 N<sub>2</sub>-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.  
<https://doi.org/10.1111/1365-3040.ep11581825>
- Picado, J., & Añasco, A. (2005). *Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos*. 66.
- Pozo, K. (2017). *Incidencia de la variación de los precios financieros y de eficiencia de los fertilizantes químicos en la estructura de costos de producción y en la rentabilidad de los cultivos de arroz, maíz duro, quinua, banano y caña de azúcar. Periodo 2013-2016*. [Pontificia Universidad Católica Del Ecuador].  
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14242/TESIS%20FINAL%20ICI%20EMBRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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>
- Pulluquina, A. (Ambato). “*evaluación y análisis del simbiote helecho acuático (azolla sp. – anabaena azollae) y su aplicación como biofiltro en la depuración de aguas residuales en la provincia del tungurahua-ecuador* [Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ciencia E Ingeniería En Alimentos].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6636/1/BQ%2045.pdf>

- Raya-Montaño, Y. A., Apáez-Barrios, P., Guillén-Andrade, H., Lara-Chavez, M. B. N., Raya-Montaño, Y. A., Apáez-Barrios, P., Guillén-Andrade, H., & Lara-Chavez, M. B. N. (2018). Producción de brócoli en función del genotipo y dosis de nitrógeno. *Revista fitotecnica mexicana*, 41(4A), 537-542.
- Restrepo, J. (Director). (2020, marzo 18). *Azolla Anabaena una Fuente de Proteina en la Ganaderia—TvAgro por Juan Gonzalo Angel Restrepo*. <https://www.youtube.com/watch?v=11FsK0I8EwY>
- Reyes, H. (2021). “*Azolla Anabaena como suplemento alternativo para alimentar tilapias (oreochromis niloticus) y abaratar costos de producción*”. [Universidad técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9415/E-UTB-FACIAG-MVZ-000038.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Riofrío, V. (Director). (2011, septiembre 22). *Azolla: Paradigma del futuro del arroz, caso Ecuador*. [https://www.youtube.com/watch?v=stHCIp\\_TWT4](https://www.youtube.com/watch?v=stHCIp_TWT4)
- Rivas, S. (2019). *Uso de la planta acuática flotante azolla sp. Como suplemento alimenticio de consumo directo en el cultivo de cyprinus carpio* [Universidad Técnica De Machala]. [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14669/1/DE00005\\_EXAMENCOMPLEXIVO.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14669/1/DE00005_EXAMENCOMPLEXIVO.pdf)
- Rivera, L., Vargas, O., Cun, M., & Rodríguez, I. (2017). *Comportamiento de la azolla (Azolla spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo*. <https://doi.org/1390-9541>
- Rivero, R. G. (2015). Control fitosanitario. *Control*, 194. ISBN-10 : dans8490771154 <https://www.sintesis.com/data/indices/9788490771150.pdf>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., Pennock, D., Pierzynski, G. M., Montanarella, L., Steffensen, J. C., Bazza, Z., Vargas, R., Ünlü, K., Kohlschmid, E., Perminova, O., Tagliati, E., Ugarte, O. M., Khan, A., Pennock, L., Sala, M., Verbeke, I., & Stanco, G. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta*. 144.

- Rodríguez, R., & Rodríguez, S. (2010). *La dureza del agua*.  
[http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza\\_agua.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf)
- Rosales-Loaiza, N., Díaz, L., Aiello-Mazzarri, C., & Avendaño, E. M.-. (2017). *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), 7.
- Rosero, A. (2015). “*Evaluación de la adaptabilidad de cuatro variedades de brócoli (Brássica oleracea var. Itálica) en el Centro Experimental San Francisco Cantón Huaca – Carchi—Ecuador*”. 73.
- Ruiz, J. (2015). *Elaboración de un abono orgánico a partir de azolla filiculoides con hiperacumulación de hierro* [Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito].  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9051/1/UPS-QT06731.pdf>
- 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>
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2018). *Diagnóstico sector agrícola Ecuador*.  
<https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Diagn%C3%B3stico-sector-agr%C3%ADcola-Ecuador.pdf>
- Sánchez, J. (2007). *Fertilidad del suelo y nutrición Mineral de plantas*.  
[https://www.google.com/search?q=FERTILIDAD+DEL+SUELO+Y+NUTRICION+MINERAL+DE+PLANTAS+sancjez+javier&rlz=1C1GCEA\\_enEC997EC997&oq=FERTILIDAD+DEL+SUELO+Y+NUTRICION+MINERAL+DE+PLANTAS+sancjez+javier+&aqs=chrome..69i57.7029j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=FERTILIDAD+DEL+SUELO+Y+NUTRICION+MINERAL+DE+PLANTAS+sancjez+javier&rlz=1C1GCEA_enEC997EC997&oq=FERTILIDAD+DEL+SUELO+Y+NUTRICION+MINERAL+DE+PLANTAS+sancjez+javier+&aqs=chrome..69i57.7029j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Sánchez, S. (2018). *Evaluación de dosis crecientes de nitrógeno en un cultivo hidropónico de lechuga (lactuca sativa l.) Utilizando la técnica raíz flotante*. [Unidad académica de

ciencias] agropecuarias].

[http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13262/1/DE00029\\_TRABAJOD ETITULACION.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13262/1/DE00029_TRABAJOD ETITULACION.pdf)

Santos, J. (2009). *Proteínas: Estructuras fascinantes* (Primera). Pdf. <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL001849.pdf>

Santoyo, J., & César, Ó. (2011). *Tecnología de producción de brócoli.pdf*. [https://drive.google.com/file/d/1iO3oDV-8otv6wYErFV4VY0z3oGVN7pAt/view?usp=sharing&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/d/1iO3oDV-8otv6wYErFV4VY0z3oGVN7pAt/view?usp=sharing&usp=embed_facebook)

Sarandón, S. J. (2020). *El papel de la agricultura en la transformación social-ecológica de América Latina*.

Schneider, B., Hadad, H., & Rodríguez, E. (2021). *Plantas acuáticas del río Paraná Medio* (Facundo Zuviría). Ediciones UNL.

[https://scholar.google.es/scholar\\_url?url=https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6737/edunl-plantas-acuaticas-](https://scholar.google.es/scholar_url?url=https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6737/edunl-plantas-acuaticas-digital.pdf&hl=es&sa=X&d=12167976204180701032&ei=CXdKY_bVDo-Vy9YPoNuKgA0&scisig=AAGBfm2C--nBV9i5dmEtTbCDwZ2HtAJ7JA&oi=scholaralrt&hist=ErkLYM4AAAAJ:5744357781002809448:AAGBfm3iUmSz8w77ylXY_eTAgZuVh6tVkQ&html=&pos=1&folt=kw)

[digital.pdf&hl=es&sa=X&d=12167976204180701032&ei=CXdKY\\_bVDo-](https://scholar.google.es/scholar_url?url=https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6737/edunl-plantas-acuaticas-digital.pdf&hl=es&sa=X&d=12167976204180701032&ei=CXdKY_bVDo-Vy9YPoNuKgA0&scisig=AAGBfm2C--nBV9i5dmEtTbCDwZ2HtAJ7JA&oi=scholaralrt&hist=ErkLYM4AAAAJ:5744357781002809448:AAGBfm3iUmSz8w77ylXY_eTAgZuVh6tVkQ&html=&pos=1&folt=kw)

[Vy9YPoNuKgA0&scisig=AAGBfm2C--](https://scholar.google.es/scholar_url?url=https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6737/edunl-plantas-acuaticas-digital.pdf&hl=es&sa=X&d=12167976204180701032&ei=CXdKY_bVDo-Vy9YPoNuKgA0&scisig=AAGBfm2C--nBV9i5dmEtTbCDwZ2HtAJ7JA&oi=scholaralrt&hist=ErkLYM4AAAAJ:5744357781002809448:AAGBfm3iUmSz8w77ylXY_eTAgZuVh6tVkQ&html=&pos=1&folt=kw)

[nBV9i5dmEtTbCDwZ2HtAJ7JA&oi=scholaralrt&hist=ErkLYM4AAAAJ:57443577](https://scholar.google.es/scholar_url?url=https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6737/edunl-plantas-acuaticas-digital.pdf&hl=es&sa=X&d=12167976204180701032&ei=CXdKY_bVDo-Vy9YPoNuKgA0&scisig=AAGBfm2C--nBV9i5dmEtTbCDwZ2HtAJ7JA&oi=scholaralrt&hist=ErkLYM4AAAAJ:5744357781002809448:AAGBfm3iUmSz8w77ylXY_eTAgZuVh6tVkQ&html=&pos=1&folt=kw)

[81002809448:AAGBfm3iUmSz8w77ylXY\\_eTAgZuVh6tVkQ&html=&pos=1&folt=](https://scholar.google.es/scholar_url?url=https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6737/edunl-plantas-acuaticas-digital.pdf&hl=es&sa=X&d=12167976204180701032&ei=CXdKY_bVDo-Vy9YPoNuKgA0&scisig=AAGBfm2C--nBV9i5dmEtTbCDwZ2HtAJ7JA&oi=scholaralrt&hist=ErkLYM4AAAAJ:5744357781002809448:AAGBfm3iUmSz8w77ylXY_eTAgZuVh6tVkQ&html=&pos=1&folt=kw)

[kw](https://scholar.google.es/scholar_url?url=https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6737/edunl-plantas-acuaticas-digital.pdf&hl=es&sa=X&d=12167976204180701032&ei=CXdKY_bVDo-Vy9YPoNuKgA0&scisig=AAGBfm2C--nBV9i5dmEtTbCDwZ2HtAJ7JA&oi=scholaralrt&hist=ErkLYM4AAAAJ:5744357781002809448:AAGBfm3iUmSz8w77ylXY_eTAgZuVh6tVkQ&html=&pos=1&folt=kw)

Serrato, L. (2017). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río prado*.

[https://www.studocu.com/co/document/universidad-central-colombia/practica-de-](https://www.studocu.com/co/document/universidad-central-colombia/practica-de-ingenieria-4/plan-de-ordenacion-y-manejo-de-la-cuenca-hidrografica-del-rio-prado-1/5238201)

[ingenieria-4/plan-de-ordenacion-y-manejo-de-la-cuenca-hidrografica-del-rio-prado-](https://www.studocu.com/co/document/universidad-central-colombia/practica-de-ingenieria-4/plan-de-ordenacion-y-manejo-de-la-cuenca-hidrografica-del-rio-prado-1/5238201)

[1/5238201](https://www.studocu.com/co/document/universidad-central-colombia/practica-de-ingenieria-4/plan-de-ordenacion-y-manejo-de-la-cuenca-hidrografica-del-rio-prado-1/5238201)

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>

Silva, M. E. J. da, Mathe, L. O. J., Rooyen, I. L. van, Brink, H. G., & Willie, N. (2022). Optimal Growth Conditions for *Azolla pinnata* R. Brown: Impacts of Light Intensity, Nitrogen Addition, pH Control, and Humidity. *Plants*, *11*(1048), 1048. <https://doi.org/10.3390/plants11081048>

Silva, S., & Restrepo, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica\*. *Semestre Económico*, *23*, 22.

Suárez, J., & González García, E. (1998). Las plantas acuáticas en un contexto de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.I. *Azolla* spp. *Pastos y Forrajes*, *21*(1), 1-13.

Toledo, J. (2003). *Cultivo brocoli* (Primera). [https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/272/1/Cultivo\\_brocoli%20I NIA%20MINAGRI.pdf](https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/272/1/Cultivo_brocoli%20I NIA%20MINAGRI.pdf)

Toro, M. (2017). “*La aplicación de técnicas alternativas limpias en el control de trips (frankliniella tuberosi) en el cultivo de papa (solanum tuberosum var. Super Chola), en la granja Victoria*” [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25613/1/tesis-066%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20486.pdf>

TvAgro (Director). (2015, mayo 21). *¿Fertilización del Suelo para Agricultura - Abono Orgánico o Químico?* - TvAgro por Juan Gonzalo Angel. <https://www.youtube.com/watch?v=eTvwa6R3yqE>

Ube, J. L. (2021). *Importancia del nitrógeno para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de café (Coffea spp.) en Ecuador*. [universidad técnica de Babahoyo facultad de

ciencias agropecuarias carrera de ingeniería AGROPECUARIA].

<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9351/E-UTB-FACIAG->

[ING%20AGROP-000150.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9351/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000150.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

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.

Valarezo, G., & Torres, V. (2004). *El desarrollo local en el Ecuador: Historia, Actores y Métodos* (Primera). Abya-Yala.

[https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1115&context=abya\\_yala](https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1115&context=abya_yala)

Vance, C. P., Graham, P. H., & Allan, D. L. (2000). Biological Nitrogen Fixation: Phosphorus - A Critical Future Need. En F. O. Pedrosa, M. Hungria, G. Yates, & W. E. Newton (Eds.), *Nitrogen Fixation: From Molecules to Crop Productivity* (pp. 509-514). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/0-306-47615-0\\_291](https://doi.org/10.1007/0-306-47615-0_291)

Vargas Guillén, P. I., Vargas Guillén, M. I., & Moya Solórzano, J. J. (2019). Efecto de los abonos orgánicos aplicados al suelo y follaje, sobre la fisiología del cultivo de brócoli (brassica oleracea). *Caribeña de Ciencias Sociales*, abril. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/04/abonos-organicos-brocoli.html>

Vega, C. V. (2017). *Problemas ambientales y de salud derivados del uso de fertilizantes nitrogenados*. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CRISTINA%20VEGA%20OLIVA.pdf>

Velasco, F. M. (2016). *Influencia del molibdeno y cobalto en el crecimiento y Fijación biológica de nitrógeno en azolla filiculoides lam.:* 113. <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/1829/BImevef.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Vera, A. L. A. (2001). *El boro como nutriente esencial*. 11.
- Vidal, L., & Longeri, L. (1993). *Selección de especies y ecotipos de Azolla en Chile*.  
<https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9613/A0792e01-08.pdf?sequence=1>
- Villavicencio, E., López, R., & Valle, G. (2003). *manual de plagas y enfermedades.pdf* (Primera).  
<https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1448/1/MANUAL%20DE%20PLAGAS%20Y%20ENFERMEDADES.pdf>
- VITRA. (2020). *Importancia del Nitrógeno en las plantas Fernanda Habit*.  
<https://www.agrovitra.com/wp/wp-content/uploads/2020/10/Importancia-del-Nitr%C3%B3geno-en-las-plantas-Fernanda-Habit.pdf>
- Webb, S. E., Niño, A., & Smith, H. A. (2017). Manejo de Insectos en Crucíferas (Cultivos de Coles) (Brocoli, Repollo, Coliflor, Col, Col Rizada, Mostaza, Rabano, Nabos). *EDIS*, 2017(1), 30. <https://doi.org/10.32473/edis-ig168-2017>
- Witte, C.-P. (2011). Urea metabolism in plants. *Plant Science*, 180(3), 431-438.  
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.11.010>
- Yamada, T. (2000). *BORO: ¿Se están aplicando las dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas?* 41, 6.
- YARA. (2018, febrero 7). *Resumen nutricional | Yara Ecuador*. Coles y otras Brassicas.  
<https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/brassicas/Resumen-nutricional/>
- YARA (Director). (2020, junio 25). *Ciclo del Nitrógeno—Nitratos vs Urea*.  
<https://www.youtube.com/watch?v=mMskSnJUNIg>
- Zamora, E. (2016). *El cultivo de brócoli* [Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora-Hermosillo]. Pdf. <https://dagus.unison.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>



## 11. Anexos

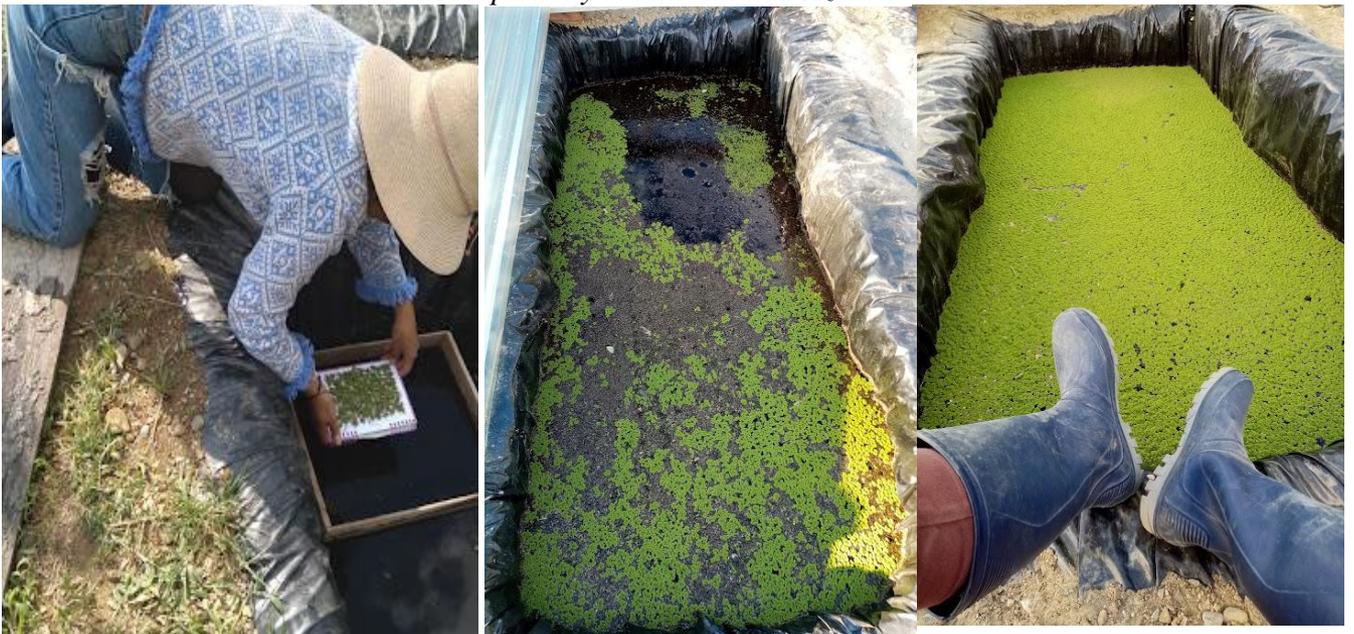
### Anexo 1

#### *Elaboración de Azollarios*



### Anexo 2

#### *Trasplante y crecimiento de Azolla.*



**Anexo 3***Monitoreo de Azollario.***Anexo 4***Monitoreo del cultivo de Azolla.*

## Anexo 5

### *Monitoreo del cultivo de brócoli.*



## Anexo 6

### *Alimentación de animales menores.*



**Anexo 7**

*Control de precipitación y evapotranspiración del Azollario.*

**Anexo 8**

*Control manual de plagas.*



### Anexo 9

*Control de parámetros climáticos.*



### Anexo 10

*Emergencia del cultivo de brócoli.*



**Anexo 11***Cosecha del cultivo de brócoli.*

## Anexo 12

### *Pellas del cultivo de brócoli.*



### Anexo 13

*Altura en cm del cultivo de brócoli.*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura	250	1,00	1,00	0,91

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8855,30	4	2213,83	9525,93	<0,0001
Tratamiento	8855,30	4	2213,83	9525,93	<0,0001
Error	10,46	45	0,23		
Total	8865,76	49			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,2324 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	32,56	10	0,15	A
Azolla	43,29	10	0,15	B
NitrAgua	59,45	10	0,15	C
UREA	59,80	10	0,15	C
Azolla+NitrAgua	69,90	10	0,15	D

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

### Anexo 14

*Diámetro de planta de brócoli.*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro Tallo	50	1,00	1,00	1,92

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	939,93	4	234,98	3677,99	<0,0001
Tratamiento	939,93	4	234,98	3677,99	<0,0001
Error	2,88	45	0,06		
Total	942,81	49			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0639 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	6,75	10	0,08	A
Azolla	9,80	10	0,08	B
NitrAgua	14,30	10	0,08	C
UREA	16,35	10	0,08	D
Azolla+NitrAgua	18,65	10	0,08	E

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

## Anexo 15

*Numero hojas de planta de brócoli.*

### N\_Hojas

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
N Hojas	50	0,96	0,96	2,81

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	266,72	4	66,68	265,54	<0,0001
Tratamiento	266,72	4	66,68	265,54	<0,0001
Error	11,30	45	0,25		
Total	278,02	49			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,2511 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	14,50	10	0,16	A
Azolla	16,30	10	0,16	B
NitrAgua	18,50	10	0,16	C
UREA	18,70	10	0,16	C
Azolla+NitrAgua	21,30	10	0,16	D

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

## Anexo 16

*Peso de planta de brócoli.*

### Peso

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso	50	1,00	1,00	1,60

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	573713,61	4	143428,40	16240,55	<0,0001
Tratamiento	573713,61	4	143428,40	16240,55	<0,0001
Error	397,42	45	8,83		
Total	574111,02	49			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 8,8315 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	20,19	10	0,94	A
Azolla	100,95	10	0,94	B
NitrAgua	240,07	10	0,94	C
UREA	260,81	10	0,94	D
Azolla+NitrAgua	304,86	10	0,94	E

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

## Anexo 17

### Costos de producción.

#### Costos de producción

Costos Variables

Tratamiento	Cantidad de N Kg/ha	Precio De N \$/kg	Costo N	Aplicación	Costos variables
Testigo	0	1,2	0	0	0
Urea	345	1,2	414	375,00	155250
NitrAgua	4500	1,2	5400	0	0
Azolla+NitrAgua	16.474	1,2	19769,0201	75,00	1482676,51
Azolla	11.974,18	1,2	14369,0201	75	1077676,51

Ingreso bruto

Tratamiento	Rendimiento Kg/planta	Número de plantas	Kg/trat.	Precio Kg	Ingreso bruto \$	Cosecha + Transporte	Contrucción de Azollarios	Ingreso bruto
Testigo	0,02	41666	833,32	1,5	1249,98	381,46	0	868,52185
Urea	0,26	41666	10833,16	1,5	16249,74	519,53	0	15730,21114
NitrAgua	0,24	41666	9999,84	1,5	14999,76	507,50	1.780,00	12712,2622
Azolla+NitrAgua	0,31	41666	12916,46	1,5	19374,69	521,00	1.780,00	17073,69
Azolla	0,1	41666	4166,6	1,5	6249,9	427,00	1.780,00	4042,9

Dominancia del tratamiento

Tratamiento	Costos variables	Ingresos Brutos	Beneficio Neto	Análisis de dominancia
Testigo	0	868,52185	868,52185	
Urea	155250	15730,2111	15730,2111	
NitrAgua	0	12712,2622	12712,2622	
Azolla+NitrAgua	1482676,507	17073,69	17073,69	<b>D</b>
Azolla	1077676,507	4042,9	4042,9	

Tratamiento	Costos variables \$/trat	Costos marginales	Beneficio neto \$/trat.	Beneficios Netos marginales \$/trat.	Tasa de retorno marginal %
Testigo	0		868,52185	0	0,00
Urea	155250	155250	15730,2111	14999,76	60,39
NitrAgua	0	0	12712,2622	13449,78	74,72
Azolla+NitrAgua	1482676,507	1482676,51	17073,69	17824,71	98,84
Azolla	1077676,507	1077676,51	4042,9	4699,92	9,33

## Anexo 18

### *Certificación de traducción Abstract*



Loja, 5 de octubre 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 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”** de autoría de **Gabriela Natali Abad Calva**, portadora de la cédula de identidad, número **1105987042**, 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**