



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

### Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla* – *Anabaena* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L), en el cantón Catamayo, provincia de Loja

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola

**AUTOR:**

Daniel Alejandro Aguinsaca Jiménez

**DIRECTOR:**

Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 31 de marzo de 2023

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

### CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla – Anabaena* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L), en el cantón Catamayo, provincia de Loja.**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de autoría del egresado **Daniel Alejandro Aguiñaca Jiménez**, con cédula de identidad Nro. **1105402703**, 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 la respectiva sustentación y defensa



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

## **Autoría**

Yo, **Daniel Alejandro Aguinaca Jiménez**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1105402703

**Fecha:** Loja, 25 de septiembre del 2023

**Correo electrónico:** daniel.aguinaca@unl.edu.ec

**Teléfono celular:** 0968032749

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

Yo, **Daniel Alejandro Aguinaca Jiménez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla – Anabaena* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L), en el cantón Catamayo, provincia de Loja** como requisito para optar el título de **Ingeniero 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 en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de septiembre de dos mil veintitrés.

**Firma:** 

**Autor:** Daniel Alejandro Aguinaca Jiménez

**Cédula de identidad:** 1105402703

**Dirección:** 24 de mayo e Isidro Ayora, Catamayo Ecuador

**Correo electrónico:** daniel.aguinaca@unl.edu.ec

**Celular:** 0968032749

## **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Trabajo de Titulación:** Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este Trabajo de Titulación a mis padres, quienes han sido mi inspiración y motivación para llegar hasta aquí. Gracias por todo su amor, apoyo, paciencia y guía en cada paso de mi camino, a mi padre que sé que desde el cielo estará orgulloso de verme cumplir mis metas. A mi hermana, por su incondicional apoyo y paciencia en las largas horas de trabajo. A mis tías Norma, Narcisa y Jaqueline y tíos Marco y Vicente por ser mi apoyo en todo momento. A mis amigos y compañeros de estudio, por su constante motivación y aliento. A mi director de Trabajo de Titulación por su orientación y sabiduría impartida en este proceso. Sin su ayuda, no habría llegado hasta donde estoy hoy. Todos ustedes han sido mi roca inquebrantable y mi mayor fuente de inspiración.

***Daniel Alejandro Aguirre Jiménez***

## **Agradecimiento**

Agradezco primeramente a Dios por darme salud para culminar con esta investigación, de manera especial al Ph.D. Edison Ramiro Vásquez por su dedicación y paciencia en mi formación académica y por brindarme su asesoramiento durante todo este proceso. También quiero agradecer a mi familia en especial a mis padres y hermana por su apoyo incondicional, por ser un constante estímulo y por brindarme el amor y la confianza necesarios para alcanzar mis metas. Asimismo, deseo expresar mi gratitud a mis amigos y compañeros de estudio por su motivación y estímulo constante, y por ayudarme a superar los momentos difíciles. Finalmente, agradezco a todas las personas que de alguna manera contribuyeron en este trabajo de investigación.

***Daniel Alejandro Aguirre Jiménez***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. La agricultura.....	6
4.1.1. La agricultura en el Ecuador.....	6
4.1.2. Fertilizantes químicos.....	7
4.1.3. Biofertilizantes.....	7
4.2. El nitrógeno.....	8
4.2.1. Ciclo del nitrógeno.....	9
4.2.2. El nitrógeno en la agricultura.....	9
4.2.3. Fijación de nitrógeno de forma biológica.....	10
4.2.4. Mineralización del nitrógeno.....	11
4.3. Azolla filiculoides.....	12
4.3.1. Origen y clasificación taxonómica de la Azolla filiculoides.....	13
4.3.2. Simbiosis de Azolla Anabaena.....	13

4.3.3.	Anabaena y su clasificación taxonómica .....	14
4.3.4.	Condiciones de hábitat de la Azolla .....	15
4.3.5.	La Azolla en el Ecuador .....	15
4.4.	El cultivo de maíz .....	15
4.4.1.	Maíz INIAP-182 “Almendral” .....	16
4.4.2.	Clasificación taxonómica del cultivo de maíz .....	16
4.4.3.	Ciclo vegetativo del maíz .....	17
4.4.4.	Condiciones agro-climatológicas del maíz .....	18
4.4.5.	Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz .....	18
4.4.6.	Requerimientos hídricos del cultivo de maíz .....	18
<b>5.</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>22</b>
5.1.	Ubicación geográfica de la zona de estudio .....	22
5.2.	Materiales y equipos.....	22
5.3.	Metodología para el primer objetivo.....	23
5.4.	Metodología para el segundo objetivo .....	24
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>27</b>
6.1.	Obtención de nitrógeno bien expresado ( $N_{be}$ ) en condiciones accesibles para agricultores del cantón Catamayo.....	27
6.1.1.	Desarrollo del cultivo de <i>Azolla filiculoides</i> .....	27
6.1.2.	Análisis químico de NitrAgua .....	28
6.2.	Efecto del nitrógeno bien expresado ( $N_{be}$ ) en la fase inicial del cultivo de maíz .....	30
6.2.1.	Contenido de clorofila en <i>Azolla filiculoides</i> .....	30
6.2.2.	Requerimientos hídricos del cultivo de maíz .....	31
6.2.3.	Variables respuesta en el cultivo de maíz .....	31
<b>7.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>39</b>
7.1.	Obtención de nitrógeno bien expresado ( $N_{be}$ ) en condiciones accesibles para los agricultores .....	39



7.2.	Medir el efecto del nitrógeno bien expresado obtenido a partir de Azolla-Anabaena en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L). .....	41
7.2.1.	Altura de la planta.....	42
7.2.2.	Diámetro del tallo.....	42
7.2.3.	Número de hojas .....	43
7.2.4.	Longitud de la mazorca .....	43
7.2.5.	Diámetro de la mazorca .....	44
7.2.6.	Peso de la mazorca.....	44
7.2.7.	Número de granos por mazorca .....	45
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>46</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>47</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>48</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>59</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Estado de oxidación de los compuestos de Nitrógeno.....	8
<b>Tabla 2.</b>	Clasificación taxonómica de Azolla.....	13
<b>Tabla 3.</b>	Taxonomía Anabaena .....	14
<b>Tabla 4.</b>	Taxonomía del maíz (Zea Mays L) .....	17
<b>Tabla 5.</b>	Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz.....	18
<b>Tabla 6.</b>	Parámetros de calidad de agua de riego .....	21
<b>Tabla 7.</b>	Fatores y dosis del experimento .....	26
<b>Tabla 8.</b>	Propiedades químicas del suelo (junio, 2022).....	27
<b>Tabla 9.</b>	Propiedades químicas del agua potable (junio, 2022) .....	27
<b>Tabla 10.</b>	Contenido de clorofila en Azolla filiculoides en unidades SPAD.....	30
<b>Tabla 11.</b>	Requerimientos hídricos del cultivo de maíz para una hectárea .....	31
<b>Tabla 12.</b>	Producción de maíz en tonelada por hectárea .....	38

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Ciclo del nitrógeno ( $N_2$ ).....	9
<b>Figura 2.</b> Azolla filiculoides.....	12
<b>Figura 3.</b> Cianobacteria Anabaena sp. ....	14
<b>Figura 4.</b> Recursos hídricos en el cultivo de maíz.....	20
<b>Figura 5.</b> Ubicación del ensayo. Mapa del Cantón Catamayo; Mapa de la parroquia San Pedro de la Bendita; Sector Togueros. ....	22
<b>Figura 6.</b> Diseño del Azollario para obtención de $N_{be}$ .....	23
<b>Figura 7.</b> Diseño de bloques al azar con tres repeticiones para el cultivo de maíz.....	24
<b>Figura 8.</b> Unidad experimental y área de borde del cultivo de maíz.....	25
<b>Figura 9.</b> Crecimiento de Azolla filiculoides.....	27
<b>Figura 10.</b> Producción de Azolla filiculoides. San Pedro de la Bendita, Catamayo. 2022 .....	28
<b>Figura 11.</b> Contenido de nitrógeno en NitrAgua .....	28
<b>Figura 12.</b> pH de NitrAgua.....	29
<b>Figura 13.</b> Conductividad eléctrica en NitrAgua .....	30
<b>Figura 14.</b> Modelo de regresión lineal de altura de la planta de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023) .....	32
<b>Figura 15.</b> Altura de la planta de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023) .....	32
<b>Figura 16.</b> Modelo de regresión lineal del diámetro del tallo en plantas de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023).....	33
<b>Figura 17.</b> Diámetro del tallo en plantas de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023) .....	34
<b>Figura 18.</b> Modelo de regresión lineal para número de hojas en plantas de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023).....	34
<b>Figura 19.</b> Número de hojas en plantas de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023) .....	35
<b>Figura 20.</b> Longitud de la mazorca .....	36
<b>Figura 21.</b> Diámetro de la mazorca.....	36
<b>Figura 22.</b> Número de granos por mazorca (noviembre, 2022 a febrero, 2023) .....	37
<b>Figura 23.</b> Peso en fresco de la mazorca .....	38

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b>	Construcción de los azollarios.....	59
<b>Anexo 2.</b>	Impermeabilización y llenado de azollarios.....	59
<b>Anexo 3.</b>	Recolección y drenaje de semilla de Azolla.....	59
<b>Anexo 4.</b>	Preparación del diseño experimental para el cultivo de maíz .....	60
<b>Anexo 5.</b>	Germinación del cultivo de maíz .....	60
<b>Anexo 6.</b>	Medición de la altura de la planta a los 15 días después de la siembra .....	61
<b>Anexo 7.</b>	Presencia de plagas en el cultivo de maíz.....	61
<b>Anexo 8.</b>	Presencia de un hongo (huitlacoche) en mazorca de plantas de tratamiento testigo62	
<b>Anexo 9.</b>	Azollario lleno en la parroquia San Pedro de la Bendita.....	62
<b>Anexo 10.</b>	Cosecha del cultivo de maíz.....	63
<b>Anexo 11.</b>	Peso de la mazorca .....	63
<b>Anexo 12.</b>	Diámetro del tallo en plantas de maíz .....	64
<b>Anexo 13.</b>	Longitud de la mazorca de maíz .....	64
<b>Anexo 14.</b>	Altura en plantas de maíz .....	65
<b>Anexo 15.</b>	Certificación de traducción abstract .....	65

## 1. Título

**Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla* – *Anabaena* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L), en el cantón Catamayo, provincia de Loja.**

## 2. Resumen

*Azolla filiculoides* tiene una relación simbiótica con un tipo de cianobacteria llamada *Anabaena azollae*, capaz de fijar nitrógeno atmosférico en forma asimilable para la planta, convirtiéndola en una fuente importante de nitrógeno, ayudando a la agricultura familiar campesina, constituye un valioso biofertilizante para la producción de cultivos. En la investigación realizada en la parroquia San Pedro de la Bendita, del Cantón Catamayo, se evaluó el efecto de nitrógeno bien expresado ( $N_{be}$ ) obtenido a través de la simbiosis *Azolla-Anabaena* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Se realizó un diseño experimental con bloques al azar con tres réplicas y cinco tratamientos: testigo, Fertilización convencional (Urea), NitrAgua-Foliar, NitrAgua-Riego y biomasa de *azolla*; cada 15 días se registraron datos de las variables agronómicas del cultivo de maíz. Con la aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides* se obtuvieron los mejores resultados con altura de planta de 162,4 cm, diámetro del tallo de 4,5 cm, 15 hojas por planta, 22,2 y 6,8 cm para longitud y diámetro de mazorca, respectivamente; 598 granos por mazorca y 276,7 g para el peso de la mazorca. *Azolla filiculoides* constituye una alternativa viable y económica como biofertilizante en el cultivo de *Zea mays*.

**Palabras clave:** biofertilizantes, NitrAgua, nitrógeno, nutrientes, cianobacteria.

## 2.1. Abstract

*Azolla filiculoides* has a symbiotic relationship with a type of cyanobacteria called *Anabaena azollae*, capable of fixing atmospheric nitrogen in an assimilable form for the plant, making it an important source of nitrogen, helping family farming, it is a valuable biofertilizer for crop production. In the research conducted in the parish of San Pedro de la Bendita, Canton Catamayo, the effect of well expressed nitrogen ( $N_{be}$ ) obtained through the *Azolla-Anabaena* symbiosis in the cultivation of corn (*Zea mays* L.) was evaluated. A randomized block experimental design with three replications and five treatments was used: control, conventional fertilization (Urea), NitrAgua-Foliar, NitrAgua-Irrigation and *azolla biomass*; data of agronomic variables of the corn crop were recorded every 15 days. With the application of *Azolla filiculoides* biomass, the best results were obtained with plant height of 162.4 cm, stalk diameter of 4.5 cm, 15 leaves per plant, 22.2 and 6.8 cm for ear length and ear diameter, respectively; 598 grains per ear and 276.7 g for ear weight. *Azolla filiculoides* constitutes a viable and economical alternative as a biofertilizer in the cultivation of *Zea mays*.

**Keywords:** biofertilizers, NitrAgua, nitrogen, nutrients, cyanobacteria.

### 3. Introducción

La agricultura es la actividad económica dedicada al cultivo de la tierra y la producción de alimentos, fibras y materias primas vegetales. Involucra el uso de técnicas y conocimientos para cultivar plantas y criar animales de manera eficiente, sostenible y responsable, garantizando la seguridad alimentaria y el desarrollo rural (FAO, 2015). Según Bula (2020), la agricultura es un sector fundamental en la economía del cualquier país, ya que contribuye significativamente a la seguridad alimentaria, generación de empleo, exportaciones, desarrollo rural y el soporte de otros sectores. Andrade (2016) señala que con el paso de los días el desarrollo de la agricultura, la producción agrícola y demanda de alimentos incrementa y por ende genera consecuencias negativas ya que se dan procesos de degradación de suelos, pérdida de hábitat y contaminación debido al uso excesivo de insumos químicos en los que menciona a los fertilizantes, energía fósil y plaguicidas.

Para Lemon (2022), la agricultura convencional, se basa en el uso excesivo de productos químicos sintéticos como pesticidas y fertilizantes para producir cultivos a gran escala; sin embargo, el uso excesivo de estos insumos genera impactos negativos en el ambiente, suelo (acidificación del suelo y grandes dificultades en el intercambio de cationes), agua, y la pérdida de biodiversidad. Por su parte Cherlinka (2021) señala, la agricultura también puede ser orgánica, se basa en prácticas agrícolas sostenibles y en el uso de métodos naturales para el control de plagas y enfermedades, no se utilizan productos químicos sintéticos ni organismos genéticamente modificados (OGMs) y se promueve la densidad y rotación de cultivos que ayuda a mantener la fertilidad del suelo, para la producción de alimentos saludables y nutritivos.

Frente a estas formas tradicionales de producir, surge lo que se conoce como agricultura biogénica, que no solamente ayuda a reducir el CO<sub>2</sub>, sino que genera nitrógeno de manera biológica mediante la simbiosis de *Azolla-Anabaena*, al respecto Montaña (2012) señala que esta simbiosis fija el nitrógeno del aire, elemento esencial para la agricultura; además, requieren fundamentalmente de agua y el nitrógeno para vivir.

Montaña (2012) informó que en la provincia del Guayas se produce 500 kg ha<sup>-1</sup> de N por ciclo de cultivo arroz, por lo que considera que, existiendo 400 000 hectáreas dedicadas al cultivo de arroz, se puede contar con abono orgánico suficiente para el tratamiento de todos los cultivos del país, además menciona que en 340 592 ha de arrozales utilizando este



helecho ha obtenido rendimientos de 6,48 t ha<sup>-1</sup> de arroz INIAP 11, los cuales no se comparan al usar urea con rendimientos de 4,25 t ha<sup>-1</sup>. En el cantón Saraguro de la provincia de Loja se obtuvieron 0,25 t/ha/día de biomasa de *Azolla Filiculoides*.

Cárdenas *et al.* (2004) mencionan, que en la provincia de Loja el uso de fertilizantes nitrogenados es del 20,46 % en cultivos permanentes y de 52,63 % en cultivos transitorios, provocando riesgos de contaminación ambiental, ya sea por lixiviación del nitrógeno no absorbido hasta las aguas subterráneas; el uso excesivo implica eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad. Cabrera (2014) refiere, al igual que en el cantón Loja, en el cantón Catamayo los agricultores se han vuelto dependientes de los fertilizantes químicos, mismos que generan efectos negativos al ambiente, alteran el ecosistema, perjudican el factor social, dando como resultado el deterioro de los suelos en donde se realiza esta actividad agrícola.

Por consiguiente, debido a la necesidad de disminuir la dependencia de los productos químicos de carácter agropecuario, con respecto a la cantidad de fertilizantes que son utilizados en la producción agrícola, nace un nuevo método de agricultura, para ello en la siguiente investigación, se desea responder de forma amigable con el ambiente la producción de nitrógeno bien expresado (N<sub>be</sub>) mediante la simbiosis *Azolla-Anabaena*, para ayudar al desarrollo de las actividades agrícolas; se plantearon los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

- Establecer la influencia del nitrógeno bien expresado mediante el simbiote *Azolla-Anabaena* en la productividad del cultivo de maíz en el cantón Catamayo.

**Objetivos específicos:**

- Obtener nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis de *Azolla-Anabaena*.
- Medir el efecto del nitrógeno bien expresado obtenido a partir de *Azolla-Anabaena* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

## 4. Marco Teórico

### 4.1. La agricultura

La agricultura es muy importante para las economías de muchos países en desarrollo, especialmente para los menos industrializados, ya que contribuye significativamente a la producción nacional, el empleo y la seguridad alimentaria (García, 2006).

#### 4.1.1. La agricultura en el Ecuador

La aparición de la agricultura es quizá uno de los procesos más revolucionarios de la historia de la humanidad. La agricultura ha modificado profundamente nuestra alimentación y nuestro estilo de vida. También modificó los ecosistemas y los territorios, y creó las condiciones materiales para toda la formación posterior de pueblos y modos de vida diferentes, incluida la formación de jerarquías sociales y lo que se ha dado en llamar el "proceso civilizador". Sin la agricultura, la humanidad podría haber sobrevivido o incluso perecido como unos pocos cientos de millones de personas dispersas por todo el mundo (Campesina, 2018).

Según García (2006), la agricultura es la base de la seguridad alimentaria, el desarrollo rural y los ingresos de exportación en todos los países en desarrollo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2021), estima que la agricultura sigue siendo la mayor y única fuente de ingresos alrededor del 70 por ciento de la población rural de menores ingresos del mundo, de lo cual la mayoría son pequeños agricultores.

Sánchez *et al.* (2020) mencionan que el sector agrícola, ganadero, silvicultura y pesca aporta al PIB nacional el 9,63 % con \$ 9 626 014 millones de dólares, esto quiere decir que es el cuarto sector económico más importante para el Ecuador. El sector agricultura representa el 0,1 % de este total, según el BCE.

Cobos (2021) asegura que la producción agrícola del Ecuador debe apuntar a un sistema productivo más sostenible: ambiental, social y económico; además, afirma que para los siguientes 10 años la agricultura de conservación debería tomarse como una práctica entre los empresarios y campesinos ecuatorianos debido a que la agricultura es una entrada importante para la generación de divisas en Ecuador

La agricultura en el Ecuador se convierte en una de las principales fuentes de ingreso y empleo para lo que es la población rural. Esta economía ha sido relegada en segundo plano,

debido a que el país depende económicamente de la producción – exportación de petróleo (Martínez, 2013).

Caviedes *et al.* (2020) afirman que en la región Sierra de Ecuador, el maíz se caracteriza por tener gran tipo de variedades, colores, texturas y formas, así como por un consumo directo de grano seco y fresco. Una de las principales limitaciones del cultivo en la Sierra es el bajo rendimiento de grano seco con  $1,63 \text{ t ha}^{-1}$ . Por otro parte Zambrano *et al.* (2019) mencionan que el maíz es un cultivo de gran importancia en Ecuador, ya que desempeña un importante papel en la seguridad alimentaria nacional. El maíz duro amarillo, cuyo 80 % se destina a la producción de balanceado para el ganado, se cultiva principalmente en las zonas costeras y es el cultivo de transición más importante en relación con la superficie cultivada.

#### **4.1.2. Fertilizantes químicos**

Los fertilizantes son sustancias que se utilizan en la agricultura para hacer el suelo más nutritivo. Los fertilizantes para plantas aumentan la productividad del suelo, lo que permite un mejor crecimiento y mayores rendimientos futuros (Agro, 2022).

Navarro (2014) menciona que la humanidad comenzó a cultivar tierras hace miles de años, pero la historia de la fertilización no va emparejada al inicio de las actividades agrícolas, sino que se inicia solamente cuando los primitivos agricultores, se percatan que los suelos ya no proporcionaban rendimientos aceptables si se cultivaban continuamente, y añadiendo estiércol o restos vegetales esta fertilidad se restauraba.

Así mismo González (2019), señala que la agricultura convencional se basa en la aplicación de fertilizantes minerales hidrosolubles para aumentar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, su uso excesivo ha provocado eutrofización, contaminación del agua, contaminación de las aguas subterráneas, contaminación atmosférica, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad.

#### **4.1.3. Biofertilizantes**

Grageda *et al.* (2012) mencionan que el término biofertilizante tiene una interpretación muy amplia, que va desde los microorganismos hasta el abono verde, los fertilizantes y los extractos vegetales. En resumen, los biofertilizantes son productos que contienen microorganismos que cuando se plantan, viven en simbiosis con las plantas y pueden contribuir a nutrirlas y protegerlas. Estos microorganismos se encuentran de forma natural en

el suelo y comprenden una gran variedad de grupos, pero sus poblaciones se ven afectadas por la gestión del suelo y el uso excesivo de pesticidas.

Los biofertilizantes son insumos que contienen uno o varios microorganismos beneficiosos (principalmente hongos y bacterias) para aumentar los nutrientes disponibles para las plantas. Estos biofertilizantes pueden aportar importantes beneficios, como la reducción de los costes de producción, la protección del medio ambiente, la mejora de la fertilidad del suelo y la biodiversidad. Los biofertilizantes pueden dividirse en cuatro grupos principales según su uso: fijadores de nitrógeno, solubilizan el fósforo, captadores de fósforo y promotores del crecimiento vegetal (Virgen, 2013).

#### 4.2. El nitrógeno

Para Mayz (2004), el nitrógeno es un elemento necesario en los componentes de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo esta una molécula necesaria para el crecimiento de todos los organismos.

La química del nitrógeno es compleja debido a la cantidad de estados de oxidación que puede asumir y cambio en el estado de oxidación puede ser llevado a cabo por organismos vivos (Pacheco *et al.*, 2002)

**Tabla 1.**

*Estado de oxidación de los compuestos de Nitrógeno*

Compuesto	Estado de oxidación
NH <sub>3</sub>	-III
N <sub>2</sub>	0
N <sub>2</sub> O	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: (Avila & Canul, 2002, p. 73)

El nitrógeno se transfiere por flujo de masa en el sistema radicular. Las formas de nitrógeno asimilables por las raíces de las plantas en el suelo son el nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y el amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Vitra, 2020).

#### 4.2.1. Ciclo del nitrógeno

La cantidad y forma del nitrógeno en el suelo cambian de manera simultánea, esto debido a procesos edáficos químicos, físicos y biológicos (Verhulst *et al.*, 2015).

Ondarse (2021) el nitrógeno que forma parte de la atmósfera en forma de  $N_2$  no puede ser utilizado por plantas, ni animales, para ello es necesario tener un mecanismo en donde se pueda transformar el  $N_2$  a formas utilizables. Dentro de este ciclo de nitrógeno se encuentran interrelacionados los diferentes niveles de seres vivos, autótrofos y heterótrofos, los descomponedores de la materia orgánica y el volumen de nitrógeno en la atmósfera.

Las formas inorgánicas del nitrógeno son las absorbidas por las plantas, amonio ( $NH_4^+$ ) y nitrato ( $NO_3^-$ ), y las formas tóxicas para las plantas, amoniaco ( $NH_3$ ) y nitrito ( $NO_2^-$ ) (Verhulst *et al.*, 2015).

Figura 1.

Ciclo del nitrógeno ( $N_2$ )



Fuente: (Cabrera, 2007, p. 1)

#### 4.2.2. El nitrógeno en la agricultura

Para Innoplant (2021) el nitrógeno es uno de los macronutrientes más importantes y uno de los factores limitantes de los cultivos. A diferencia de otros nutrientes inorgánicos, el nitrógeno del suelo procede del nitrógeno atmosférico y puede ser absorbido por fijación

biológica. El nitrógeno realmente utilizado por las plantas es el nitrógeno mineral en forma de iones de nitrato y amonio, que representa menos del 10 % del nitrógeno del suelo.

Alvarado (2008) menciona que la intensificación agrícola depende en gran parte del abastecimiento del N en tiempo y forma. La situación económica y la necesidad de conservar el medio ambiente, lo que viene siendo los recursos agua, suelo y atmosfera, necesitan del uso más eficiente del N.

Así mismo Cárdenas *et al.* (2004) señalan que el nitrógeno se considera más importante, este se encuentra con mayor proporción, 1 a 3 % con respecto a su materia seca, esto dependiendo de la etapa fenológica, de la especie y del órgano, entre otras. Castillo (2015), explica que en maíz se necesita unos 20 - 25 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno para producir una tonelada de grano. La pérdida de nutrientes se produce por la eliminación de los cultivos, la erosión eólica, las precipitaciones superiores al 60 % de la capacidad de campo, el pH del suelo (muy ácido o muy alcalino), la lixiviación o "escorrentía" del nitrógeno a mayor profundidad de la que pueden alcanzar las raíces del maíz, la volatilización debida a la fertilización superficial, la temperatura del suelo superior a 15 °C, etc. Si hay un exceso de agua en el campo, las pérdidas de nitrógeno por lixiviación y volatilización pueden llegar al 35 %, y la única forma de compensar el nitrógeno es fertilizar con abonos orgánicos o productos químicos.

#### **4.2.3. Fijación de nitrógeno de forma biológica**

Cherlinka (2022), menciona que la fijación biológica del nitrógeno es un concepto que se refiere al uso de plantas y bacterias para mantener niveles óptimos de nitrógeno en el suelo, ya que el nitrógeno es uno de los tres nutrientes principales necesarios para el crecimiento de las plantas, junto con el potasio y el fósforo, y participa en el proceso fotosintético y en el contenido de clorofila. La fijación del nitrógeno es el proceso de conversión del nitrógeno atmosférico, relativamente menos reactivo, en compuestos más reactivos (nitrato, nitrito y amoníaco).

Estos tipos de reacción son adecuados para las plantas y favorecen su crecimiento. Por el contrario, la falta de nitrógeno dificulta el crecimiento y el desarrollo sano de las plantas, alrededor del 90 % de la fijación natural en nuestro planeta es biológica y la producen los microorganismos del suelo. Los desencadenantes biológicos naturales son los rayos y la radiación ultravioleta. Alternativamente, pueden fijarse mediante equipos eléctricos o industrialmente.

El Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura [INTAGRI ] (2018), afirma que la nitrogenasa es una enzima producida por ciertas bacterias, que es esencial para la fijación biológica de nitrógeno, puesto que es responsable de llevar a cabo el proceso de N. Requiere una gran cantidad de energía (trifosfato de adenosina, ATP) para escindir el triple enlace entre los dos átomos de N. Calvo (2011) señala, la fijación biológica de nitrógeno la realizan algunos organismos que pueden aprovechar directamente el nitrógeno del aire a través de bacterias, formando nódulos. Estas bacterias forman parte de la denominada rizosfera, que es una zona de interacción única y dinámica entre raíces de plantas y microorganismos del suelo. Las bacterias en simbiosis con una planta hospedante fijan el nitrógeno del aire, es decir, originan compuestos solubles por las plantas, como amoníaco. El amoníaco entra en la cadena alimenticia mediante su incorporación a los aminoácidos y proteínas. El enlace que une los dos átomos de nitrógeno tiene un alto coste energético de rotura. Para romper este triple enlace son necesarias grandes cantidades de energía. La enzima nitrogenasa es la encargada de romper dicho enlace, para lo cual necesita 16 moléculas de ATP por N<sub>2</sub> reducido, de acuerdo con la siguiente fórmula:



Las plantas producen la energía necesaria para el proceso a través de la fotosíntesis, y los microorganismos utilizan esta energía para realizar la fijación del N.

#### **4.2.4. Mineralización del nitrógeno**

Según Celaya *et al.* (2011), la mineralización es el proceso por el cual los microorganismos convierten el nitrógeno orgánico del suelo en productos inorgánicos (amonio y nitrato). El primer producto de la mineralización es el amoníaco (NH<sub>3</sub>), que puede absorber hidrógeno para formar amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Este amoníaco puede unirse a las arcillas y a la materia orgánica del suelo, volatilizarse en forma de amoníaco, ser asimilado por las plantas y los microorganismos, ser lavado o ser oxidado durante la nitrificación por bacterias autótrofas. En este proceso, pierde dos átomos de hidrógeno para formar nitrito inorgánico, que es absorbido por los microorganismos e incorporado a su biomasa lo que se denomina inmovilización.

Por otro lado Monsalve *et al.* (2017) recalcan que la tasa de mineralización del N de las enmiendas orgánicas depende de su relación C/N y degradabilidad, del origen y tratamiento del material, de la cantidad de hierba seca, del método o periodo de compostaje

y de las condiciones ambientales del suelo. Si la cantidad de N en el residuo orgánico descompuesto es superior a las necesidades microbianas, se produce una mineralización neta con liberación de N inorgánico. Si la cantidad de N en el residuo es igual a las necesidades, no se produce mineralización neta. Por el contrario, si la cantidad de N contenida en el residuo es inferior a las necesidades microbianas, debe inmovilizarse N inorgánico adicional del suelo.

#### 4.3. **Azolla filiculoides**

Montaño (2010) define a *Azolla filiculoides* como un helecho acuático (Figura 2) que alberga cianobacterias del género *Anabaena* en las cavidades de sus hojas. *Azolla-Anabaena* tiene un alto potencial como abono verde para el cultivo de arroz tropical, fijando unos 600 kg de nitrógeno por hectárea y año en condiciones óptimas de temperatura y luz, teniendo en cuenta la composición química del suelo y del agua. También es una buena fuente de nitrógeno.

#### **Figura 2.**

*Azolla filiculoides*



La temperatura óptima de crecimiento es de 20 - 22 °C, con un deterioro por debajo de 7 °C y un crecimiento también limitado por la concentración de fósforo por encima de 42 °C. En peso seco, contiene aproximadamente un 23,8 % de proteína bruta, un 4,4 % de grasa, un 6,4 % de almidón y un 9,5 % de fibra (Moreno *et al.*, 2018).



La capacidad de *Anabaena* para fijar el nitrógeno se debe a la actividad de una enzima llamada nitrogenasa. Esta enzima está presente en unas células especializadas llamadas heterocistes, que convierten el nitrógeno molecular del aire en amoníaco, que luego se utiliza para producir compuestos nitrogenados para *Azolla* (Cirujano *et al.*, 2015).

#### 4.3.1. Origen y clasificación taxonómica de la *Azolla filiculoides*

La palabra griega azolla, compuesta de azo y ollyo (muerte por sequía), significa que la planta es muy sensible a la falta de agua, lo que no es de extrañar, ya que se trata de un macrófito acuático flotante.(Cirujano *et al.*, 2015)

Para Cabezas (2011), la identificación de las especies de azolla es generalmente difícil debido a la usual ausencia de esporocarpios. El género azolla pertenece a la familia Azollaceae, helechos con tallos subterráneos flotantes. El género se divide en seis secciones y las especies actuales se describen en función de los órganos reproductores, su clasificación se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Clasificación taxonómica de Azolla*

División	Pteridophyta
Clase	Filicopsida
Orden	Salviniales
Familia	Azollaceae
Género	<i>Azolla</i>
Especie	<i>Filiculoides</i>

Fuente: Montaña, 2010

#### 4.3.2. Simbiosis de *Azolla Anabaena*

Monteros (2011) señala que la azolla es un helecho semiacuático y un ejemplo de sistema simbiótico sinérgico. En el interior de la hoja dorsal hay una cavidad elíptica que contiene la cianobacteria *Anabaena azollae*. Esta cavidad foliar sirve de interfaz fisiológica y dinámica de esta simbiosis y es donde tienen lugar los flujos de materia y energía más importantes.

*Anabaena azollae* es la única cianobacteria estudiada en simbiosis con azolla y está presente en todas las fases del ciclo de vida del helecho, además produce esporas bajo el

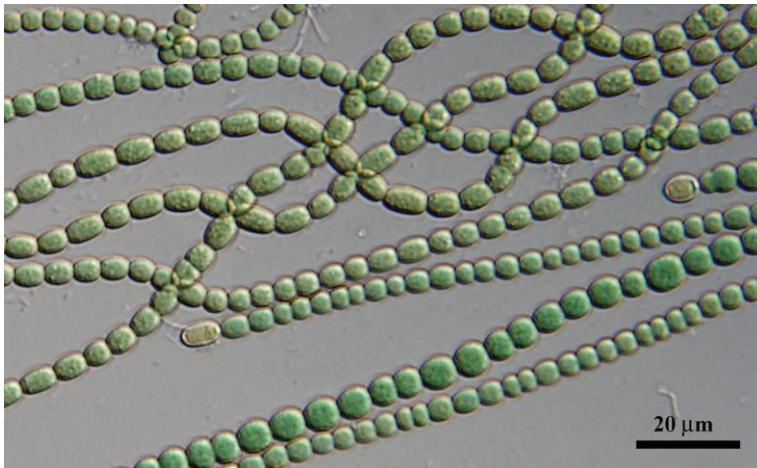
indusio y en los brotes apicales durante la latencia. Cuando las esporas germinan, se vuelven viscosas y forman pequeños filamentos de *Azolla-Anabaena* (Montaño, 2010).

#### 4.3.3. Anabaena y su clasificación taxonómica

La Anabaena (Figura 3) es un género de cianobacterias filamentosas fotótrofas pertenecientes al orden Nostocales. Suelen vivir simbióticamente con helechos acuáticos del género azolla, anidan en las hojas y pueden vivir solas, recibiendo protección física y química y un aporte de nutrientes y sales minerales (Guillén, 2010).

**Figura 3.**

*Cianobacteria Anabaena sp.*



La clasificación taxonómica de la Anabaena se muestra a continuación:

**Tabla 3.**

*Taxonomía Anabaena*

División:	Cyanophitas
Clase:	Cyanophyceae
Subclase:	Hormogonophycideae
Orden:	Nostocales
Familia:	Nostocaceae
Género:	Anabaena
Especie:	Azolla
N.C.	Anabaena azollae

Fuente: (Cabezas Monteros, 2011a, p. 24)

#### 4.3.4. Condiciones de hábitat de la Azolla

Cabezas (2011), señala para que Azolla se desarrolle y mantenga el sistema simbiótico en buenas condiciones, es necesario que se cumplan los siguientes factores:

- **Temperatura:** El cultivo de azolla no presenta problemas de temperatura, ya que soporta un rango amplio. Su temperatura a nivel trópico oscila entre 20 °C y 28 °C, pero en la sierra hay especies adaptadas a temperaturas entre 7 °C y 23 °C.
- **pH:** los suelos que mantengan un pH entre 6 y 7 son los más adecuados.
- **Agua:** Este es un factor importante ya que el helecho es sensible a la desecación, para ellos es recomendable mantener una cierta profundidad de agua.
- **Viento:** Los vientos fuertes, pueden matar a la Azolla.
- **Iluminación:** No presenta problemas con respecto a la luz, se adapta a estanques a plena luz de sol, o en la sombra.

#### 4.3.5. La Azolla en el Ecuador

La *Azolla-Anabaena* es un recurso promisorio del Ecuador, que se probó como fertilizante alternativo de arroz con resultados positivos.

Balanzátegui (2008) en el Ecuador, varias especies de azolla crecen de forma natural, aunque en pequeños afloramientos. El uso de agroquímicos tradicionales en el campo ha afectado al desarrollo de azolla y su supervivencia existe gracias a las buenas condiciones del suelo, agua y clima del país. Por lo tanto, *Azolla-Anabaena* constituye como un recurso estratégico para la agricultura del Ecuador.

#### 4.4. El cultivo de maíz

Según Acosta (2009), el maíz surgió en Mesoamérica (México y Guatemala) hacia el 8000 - 600 a.C., probablemente en los acantilados occidentales del centro o sur de México, a 500 km de Ciudad de México. El ecosistema en el que surgió el maíz era invernal con alternancia de sequías estacionales y lluvias estivales, de laderas montañosas escarpadas sobre acantilados calcáreos.

El cultivo de maíz en la Sierra ecuatoriana es fundamental, este cereal juega un papel importante en la seguridad alimentaria nacional. Según el Ministerio de Agricultura y

Ganadería (MAG) en 2020 se sembrarán 74 018 hectáreas con este grano, casi el doble de la superficie sembrada con otros cultivos de importancia socioeconómica como la papa, la cebada, el frijol, el trigo y la quinua. El consumo per cápita de maíz blando en Ecuador es de unos 14,5 kg al año. Esto demuestra la importancia del maíz de sierra en la agricultura del país, que se cultiva en las estribaciones y valles de la cordillera de los Andes, desde la provincia de Carchi en el norte, hasta la provincia de Loja, en el sur (Zambrano *et al.*, 2021).

Agro Bayer (2022) menciona que la mayor producción de maíz se registra en Los Ríos, Manabí, Guayas y el resto en Loja. Es importante señalar que cerca del 90 % de la siembra de maíz se realiza durante la época lluviosa. El maíz amarillo se cultiva en un promedio de 250 000 ha y la producción total se estima en alrededor de 1,4 millones de toneladas.

Vizcaíno & Betancourt (2014), señalan que las condiciones climáticas óptimas para el cultivo de maíz son esenciales para el éxito de la producción y deben tenerse en cuenta los siguientes factores: temperatura: 18 °C – 30 °C; humedad relativa: 65 – 85 %; altitud: 0 - 2 500 msnm; viento moderado. El suelo en el que se cultiva el maíz debe ser adecuado para su desarrollo y presentar las siguientes características: suelo franco, franco arcilloso, franco limoso, pH 5,5 - 6,5, bien drenado, profundo y libre de riesgos de erosión.

#### **4.4.1. Maíz INIAP-182 “Almendral”**

La variedad INIAP-182 “Almendral” fue formada en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en Colombia en el 2000 por 12 progenies de las cuales: 5 fueron medios hermanos derivados de híbridos seleccionados; dos autofecundaciones de la población tolerante a mancha de la hoja (*Phaeosphaeria*); una autofecundación de la población tolerante a achaparramiento, cuatro autofecundaciones de la población tolerante a mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*). Fue introducido al país en el año 2006 e identificada con el ECU-17732. Durante varios años se ha seleccionado para diversos caracteres agronómicos, como cobertura de mazorca, rendimiento, etc (Egüez *et al.*, 2013).

#### **4.4.2. Clasificación taxonómica del cultivo de maíz**

El maíz (*Zea mays* L.), pertenece a la familia de las Gramineae, subfamilia Panicoideae, y tribu Andropogoneae; la cual incluye siete distintos géneros: *Zea* (como el

teocintle), *Tripsacum* (conocidas como arrocillo o maicillo), Coix, *Chionachne*, *Sclerchne*, *Polytoxa* y *Trilobachne* (Tovar Benítez, 2008).

**Tabla 4.**

*Taxonomía del maíz (Zea Mays L.)*

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae (Gramineae)
Subfamilia:	Panicoideae
Tribu:	Andropogoneae
Género:	Zea
Especie:	Z. mays

Fuente: (Tovar Benítez, 2008, p. 6)

#### **4.4.3. Ciclo vegetativo del maíz**

Oñate (2016), señala que el ciclo vegetativo del maíz está comprendido por:

**Germinación:** período comprendido entre la siembra y la aparición del fruto productivo, que dura unos 6 - 8 días.

**Crecimiento:** una vez nacido el maíz, surgen nuevas hojas cada 3 días en condiciones normales. A los 15 - 20 días de la emergencia, la planta ya tiene 5 - 6 hojas, que deberían formarse todas en las primeras 4 - 5 semanas.

**Floración:** 25 - 30 días después de la siembra, empiezan a formarse panículas en el interior del tallo y en la base del tallo; al cabo de 4 - 6 semanas, empieza a florecer el polen, que dura 5 - 8 días. Pueden surgir problemas si las temperaturas son demasiado altas o si la planta sufre sequía por falta de riego o precipitaciones.

**Fructificación:** la formación del fruto comienza cuando los óvulos son fecundados con polen. Tras la fecundación, el pistilo de la espiga, el llamado pelo del maíz, se vuelve marrón. Hacia la tercera semana tras la fecundación, la mazorca alcanza su tamaño definitivo y se forma un grano, en el que emerge el embrión. El grano contiene azúcares leñosos, que se convierten en almidón en la quinta semana.

**Maduración y secado:** al final de la octava semana tras la polinización, el grano alcanza el contenido máximo de materia seca y se considera fisiológicamente maduro. El contenido de humedad suele rondar el 35 %. A medida que pierde humedad, el grano se acerca a la madurez comercial, en la que influyen más las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, que las características del grano.

#### 4.4.4. Condiciones agro-climatológicas del maíz

El Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura INIAP (2017), señala las condiciones agroclimáticas para un buen desarrollo del maíz, requiere de una precipitación de 600 – 800 mm por ciclo, una temperatura de 21 – 27 °C y una altitud de 400 – 1400 msnm. Requiere de suelos franco y francos arcillosos con buen drenaje de 30 a 35 cm de profundidad con un pH óptimo de 5.5 a 7.5. Las principales zonas de producción de maíz se encuentran en la región costa con un 80 %, la región sierra con el 17 % y la región amazónica con el 3 %. Por lo que el área sembrada a nivel nacional es de 344 804 ha.

#### 4.4.5. Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz

Proain (2021), para ser considerado un elemento esencial, debe tener un efecto directo sobre la acción fisiológica, ser un activador enzimático o formar parte integrante de un metabolito esencial, Los siguientes elementos tienen funciones en la estructura, la formación de enzimas, el transporte y la regulación osmótica. De acuerdo a estos requerimientos se obtiene una producción de 7 t ha<sup>-1</sup>. En la Tabla 5 se muestra los requerimientos del cultivo de maíz.

**Tabla 5.**

*Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz*

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
kg/ha			Kg/t de granos								
210	86	193	40	50	26	0.3	0.11	1.03	1.51	0.02	0.42

Fuente: (Yara Ecuador, 2018)

#### 4.4.6. Requerimientos hídricos del cultivo de maíz

Las plantas necesitan el agua almacenada en el suelo para sus diversos procesos fisiológicos y biológicos, esta necesidad aumenta con el crecimiento de la planta. La necesidad de agua depende de las condiciones climáticas locales, del suelo, especie vegetal,

gestión y fase del ciclo vegetal (germinación, desarrollo, madurez y cosecha), siendo más evidente en algunas de estas fases (Tarazona *et al.*, 2022).

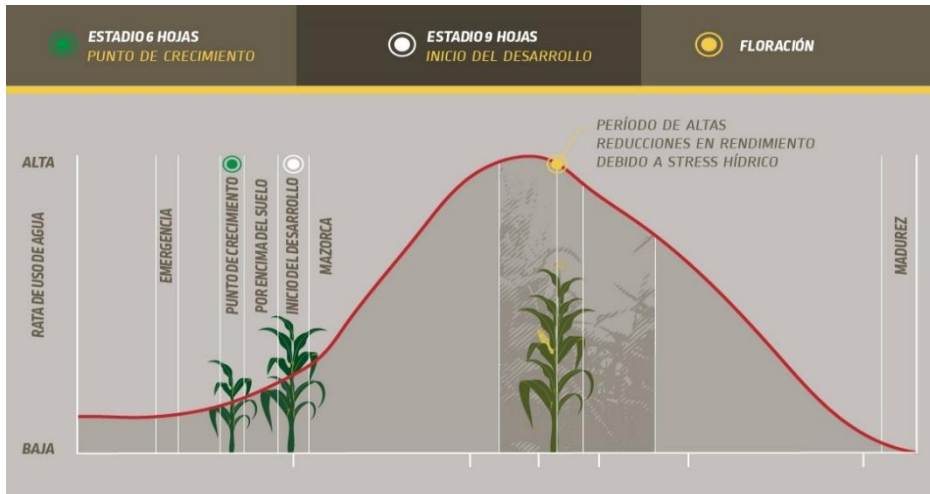
Villafáfila y Wyss (2009) concuerdan y consideran que la demanda hídrica es la cantidad de agua que necesitan las plantas para compensar el consumo mediante la evapotranspiración y el agua retenida por las plantas.

Giralt (2011) menciona que el maíz es una planta relativamente tolerante a la escasez de agua. Las demandas de agua más importantes se producen durante la germinación de la semilla y la formación de la espiga (fase de grano de leche), cuando debe garantizarse un suministro de agua adecuado. Para garantizar una germinación uniforme, el suelo debe regarse a una profundidad de 25 - 30 cm con una humedad del suelo del 90 – 95 % del volumen del campo. En las demás fases, regar a una profundidad de 30 - 40 cm, procurando que la humedad del suelo no descienda por debajo del 85 – 80 % del volumen de campo. El maíz seco requiere 330 - 412 mm de agua y el maíz de grano tierno de 250 - 300 mm.

Aguilar *et al.* (2015) en la investigación realizada en Montecillo, Estado de México observan que durante el desarrollo del cultivo la temperatura varía entre 33 y 38 °C, y entre 20 y 25 °C, respectivamente. Desde siembra hasta la madurez fisiológica, la temperatura máxima y mínima promedio fueron de 20 a 38 °C, respectivamente. Por lo que éstas no fueron limitantes para una mayor expresión del rendimiento en los genotipos estudiados, debido a que la temperatura máxima en la cual se afecta el desarrollo del maíz se encuentra entre 40 y 44 °C. La suma decenal de la precipitación durante el cultivo fue de 60 mm. Al respecto Pedrol & Castellarán (2008) menciona en su investigación que los requerimientos hídricos del maíz son de alrededor 500 a 575 mm.

**Figura 4.**

*Recursos hídricos en el cultivo de maíz*



Fuente: (Dekalb, 2022)

#### **4.5. Calidad de agua de riego**

Monge (2022), en una revista agropecuaria llamada Agricultura, menciona lo siguiente:

Un agua será de buena calidad para el riego agrícola cuando, cumpliendo con sus funciones básicas hacia la planta de manera que garantice un rendimiento óptimo de su desarrollo, no produzca efectos perjudiciales al suelo. Normalmente pensamos en el efecto que el agua ejerce sobre el desarrollo de las plantas, pero es tanto o más importante el efecto que el agua ejerce sobre la composición del suelo.

Se entiende que los criterios para clasificar el agua de riego no deben ser rígidos y deben basarse en condiciones específicas. Los problemas más comunes derivados del uso del agua de riego están relacionados con la salinidad, la alcalinidad, la infiltración del agua en el suelo, la toxicidad de los iones presentes en el agua, la combinación de los factores anteriores, así como los sólidos en suspensión, los metales pesados y los efectos corrosivos (Proain, 2020).

En la Tabla 6 se muestran los valores normales que debe de proporcionar un análisis de agua para poder proceder a su evaluación para su uso como agua de riego.



**Tabla 6.**

*Parámetros de calidad de agua de riego*

Problema potencial	Parámetro	Unidades	Grado de restricción del uso		
			Ninguno	Ligero o moderado	Alto
Salinidad	CE	dS/m	< 0,7	0,7 - 3	> 0,3
	TSD	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltración	Relación de Adsorción de sodio (RAS)	Ras (meq/l)	Conductividad del agua de riego, Cea (dS/m)		
		0 - 3	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
		3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
		6 - 12	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
		12 - 20	> 2,9	2,9 - 0,5	< 1,3
		20 - 40	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidad de iones específicos	Sodio, Na+				
	Riego por superficie	RAS	< 3	3 - 9	> 9
	Riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	
	Cloro, Cl-				
	Riego por superficie	meq/l	< 4	4 - 10	> 10
	Riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	
Varios (Afecta a cultivos sensibles)	Boro, B	mg/l	< 0,7	0,7 - 3	> 3
	Nitratos NO <sub>3</sub> -N	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
	Bicarbonatos HCO <sub>3</sub> -	me/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
	Solo daños en hojas cuando se riega por aspersión		Amplitud normal		
	pH		6,5 - 8,4		

Fuente: (Monge, 2022)

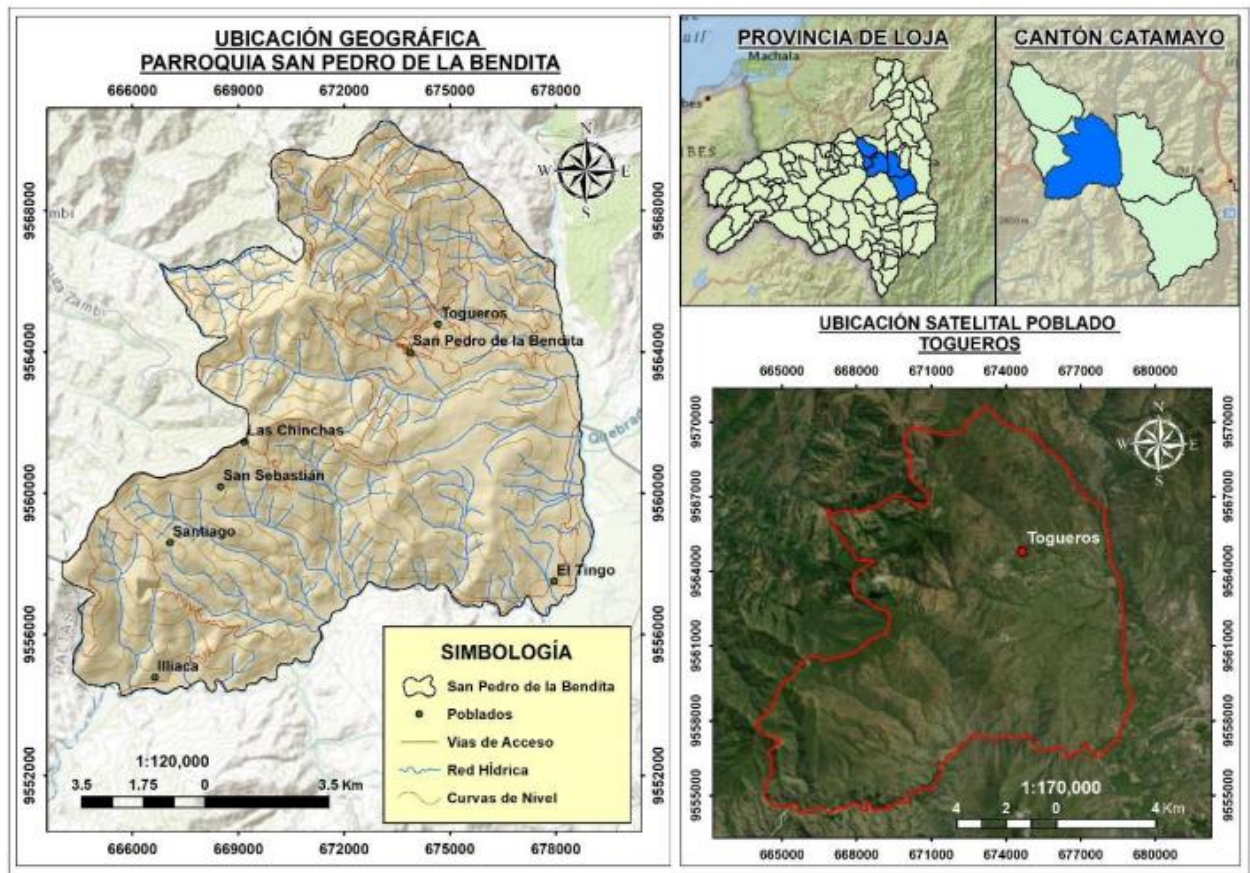
## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

El ensayo se realizó en un predio agrícola ubicado del sector Togueros, en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja, a 13 km de la Ciudad de Catamayo, a una latitud: 3°56' 24" S y longitud: 79° 24' 45" W (Figura 5) a una altitud de 1 450 msnm; Zona: 7 Sur, humedad relativa: 73 %, precipitación 750 a 1 000 mm/año y una temperatura de 18 a 25 °C (GAD Municipal Catamayo, 2019).

Figura 5.

Sector Togueros en la parroquia San Pedro de la Bendita del Cantón Catamayo; Mapa de la



Fuente: Elaboración propia

### 5.2. Materiales y equipos

Para el desarrollo del ensayo se utilizó materiales como semilla de *Azolla filiculoides*, cámara fotográfica, plástico negro, manguera, herramientas agrícolas, agua, suelo, libreta de apuntes, fundas y equipos como termómetro, potenciómetro, conductímetro, flexómetro, computadora, calculadora, material de impresión y suministros.

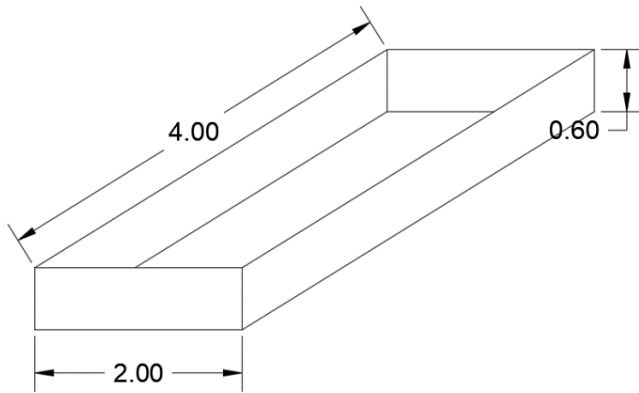
### 5.3. Metodología para el primer objetivo

#### Obtención de nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para agricultores de la parroquia San Pedro de la Bendita, sector Los Togueros.

Construcción de dos azollarios con medidas de: 2 m de ancho, 4 m de largo y 0,60 m de profundidad, cada uno cuenta con una capacidad de 4,8 m<sup>3</sup> (Figura 6).

**Figura 6.**

*Diseño del Azollario para obtención de N<sub>be</sub>*



Fuente: Elaboración propia

Se impermeabilizaron los azollarios con plástico negro para evitar que el agua se filtre, sobre el plástico se colocó un sustrato de 0,20 m de suelo del lugar al fondo del azollario, se completó con agua del lugar hasta 0,55 m y se trasplantó 0,32 m<sup>2</sup> de *Azolla filiculoides*, lo que equivale a 266,7 g de biomasa fresca drenada durante 24 horas.

Para los azollarios se utilizó agua natural de la quebrada “La Concha”, se tomó una muestra del lugar y se envió al Laboratorio Jaramillo para análisis químico. A partir de la siembra de *Azolla* se tomó una muestra de agua del azollario (NitrAgua) cada siete días, estas muestras se enviaron a laboratorio de bromatología para el análisis químico mismo que determinó el contenido de nitrógeno en el agua.

Después de los 50 días se tomó una muestra de biomasa de *Azolla* cuando ya se encontraba cubierto aproximadamente el 90 % del azollario y se envió al laboratorio para el análisis químico, se determinó la cantidad de nitrógeno que contiene en base seca; la medición de la superficie (m<sup>2</sup>) del crecimiento del helecho se realizó cada dos días hasta cubrir el total de la misma.

#### 5.4. Metodología para el segundo objetivo

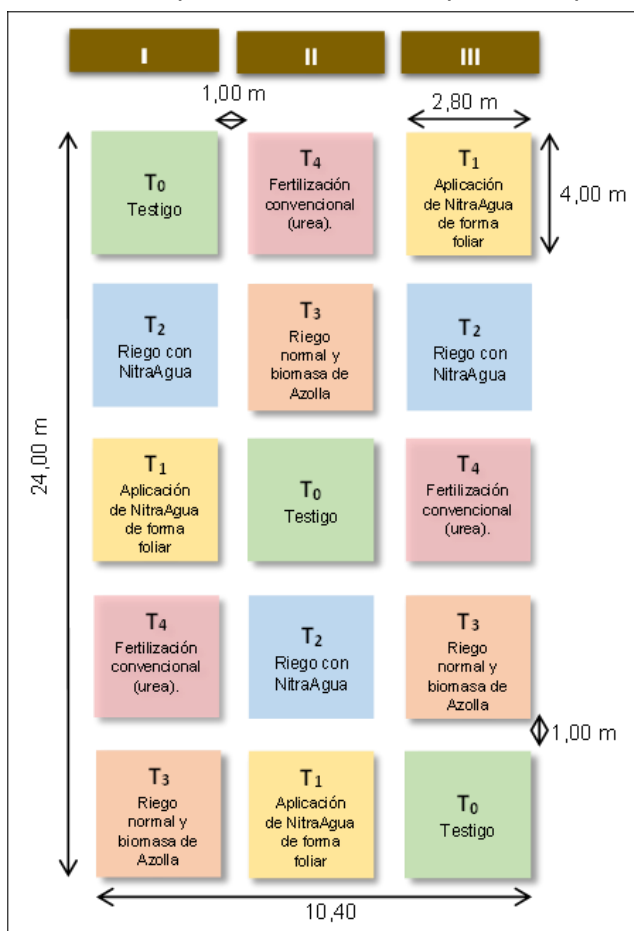
##### *Efecto del nitrógeno bien expresado ( $N_{be}$ ) en la fase inicial del cultivo de maíz*

Para ello se instaló un diseño experimental de bloques al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones (Figura 7), cada unidad experimental (Figura 8) con 24 unidades básicas.

Con respecto a la dosis o factores de aplicación de riego para el cultivo de maíz, estuvieron en función de los análisis físicos y químicos de suelo, los requerimientos del cultivo y la cantidad de nitrógeno producida en los azollarios, esto se distribuyó de la siguiente manera: (testigo  $T_0$ ), se realizó de acuerdo a las actividades agrícolas normales; ( $T_1$ ), aplicación de NitraAgua de forma foliar; ( $T_2$ ) riego con NitraAgua; ( $T_3$ ) riego normal y biomasa de Azolla; ( $T_4$ ) fertilización convencional (urea).

**Figura 7.**

*Diseño de bloques al azar con tres repeticiones para el cultivo de maíz*



Fuente: Elaboración propia

**Modelo estadístico:**

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

Donde:

$y_{ij}$  Observación en la unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición ( $i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3$ ).

$\mu$  Efecto de la media general.

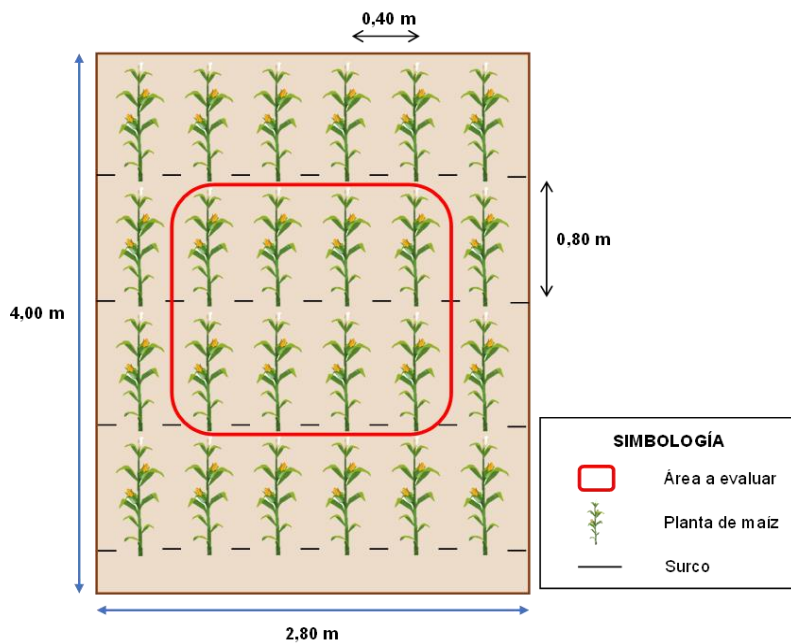
$\alpha_i$  Efecto del i-ésimo del tratamiento.

$\beta_j$  Efecto del j-ésimo de la réplica.

$\varepsilon_{ij}$  Efecto del error experimental (variable independiente normalmente distribuida con media igual a cero y varianzas homogéneas)

**Figura 8.**

*Unidad experimental y área de borde del cultivo de maíz*



Fuente: Elaboración propia

Se calculó la dosis para cada uno de los tratamientos, con base a los resultados de los análisis químicos del laboratorio y los requerimientos del cultivo; así mismo la aplicación de NitrAgua se la realizó de manera foliar y edáfica al cultivo de maíz cada quince días, durante 3 meses que corresponde al ciclo del cultivo de maíz. En la Tabla 7 se muestran las dosis aplicadas en cada tratamiento para el cultivo de maíz.

**Tabla 7.**

*Fatores y dosis del experimento*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Dosis</b>
T <sub>0</sub>	Testigo	0,0 l planta <sup>-1</sup>
T <sub>1</sub>	Aplicación foliar de NitrAgua	3,8 l planta <sup>-1</sup> 15 días <sup>-1</sup>
T <sub>2</sub>	Riego con NitrAgua	3,8 l planta <sup>-1</sup> 15 días <sup>-1</sup>
T <sub>3</sub>	Biomasa de <i>azolla</i>	6,6 g planta <sup>-1</sup> 15 días <sup>-1</sup>
T <sub>4</sub>	Urea	2,2 g planta <sup>-1</sup> mes <sup>-1</sup>

Fuente: Elaboración propia

Las variables agronómicas que se registraron durante el ensayo fueron: altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas cada 15 días; longitud, diámetro y peso de la mazorca.

Durante el ciclo del cultivo se suministró riego a las plantas de acuerdo a las especificaciones de cada tratamiento mediante surcos; así mismo se realizó el registro de datos. Con el fin de mantener el cultivo libre y evitar la competencia por nutrientes se realizaron controles con implementos manuales (deshierba).

## 6. Resultados

### 6.1. Obtención de nitrógeno bien expresado ( $N_{be}$ ) en condiciones accesibles para agricultores del cantón Catamayo

Las condiciones climáticas que se presentaron durante noviembre de 2022 a febrero de 2023, periodo en el que se realizó la investigación fueron: temperatura media mensual de 16 a 25 °C, humedad relativa de 73 a 76 % y una precipitación media mensual de 78 mm/mes.

La textura del suelo es Franco, en la Tabla 8 se presentan las características del suelo del área experimental y en la Tabla 9 el agua que se utilizó en los azollarios.

**Tabla 8.**

*Propiedades químicas del suelo (junio, 2022)*

pH	MO	CIC	CE	N	P	B	Mn	K	Ca	Mg
	%	(meq 100 ml <sup>-1</sup> )	mS/cm			ppm		(meq 100 ml <sup>-1</sup> )		
7,9	3,17	12,35	0,17	66	7,8	0,34	6,2	0,23	5,3	1,3
MB	M	M	NS	M	A	B	M	M	M	M

MB = moderadamente básico, A = alto, M = medio y B = bajo

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja, 2022

El pH fue ligeramente alcalino, con valores de conductividad eléctrica (CE), Na y Cl altos; dureza muy dura y alto contenido de sales, al tratarse de agua de quebrada (Tabla 9).

**Tabla 9.**

*Propiedades químicas del agua potable (junio, 2022)*

N	K	Ca	Mg	Na	B	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CE	pH	RAS	Dureza
%				ppm				mS/cm			°dH
0,0003	3,7	195	25	58	0,01	128	636	0,55	8,1	5.53	12,32

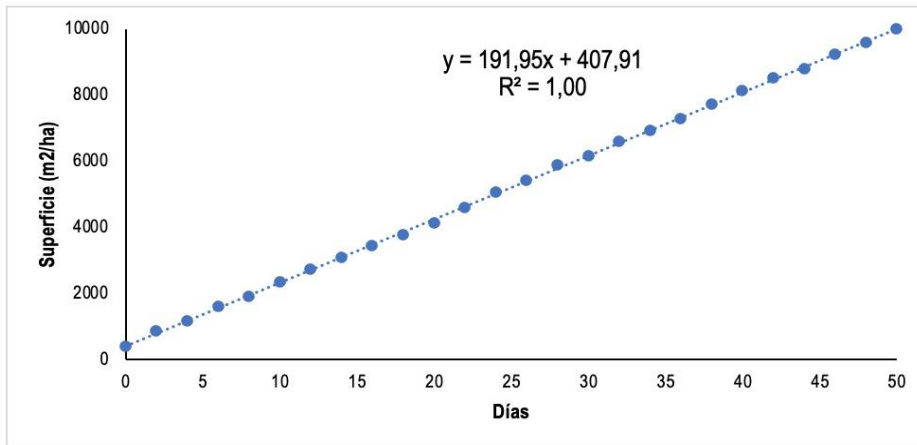
Fuente: Laboratorio de suelos Jaramillo, 2022

#### 6.1.1. Desarrollo del cultivo de *Azolla filiculoides*

En la Figura 9 se observa el modelo de regresión lineal del crecimiento de *Azolla filiculoides*; se inició la siembra con una superficie de 407,91 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (equivalente al 4 % de 1 ha), se obtiene un incremento diario de 191,95 m<sup>2</sup> de superficie del helecho acuático. En la Figura 10 se expone el modelo de regresión lineal de producción de *Azolla filiculoides*, se empezó con 0,34 t ha<sup>-1</sup> con un incremento diario de 0,16 t ha<sup>-1</sup> de biomasa fresca.

**Figura 9.**

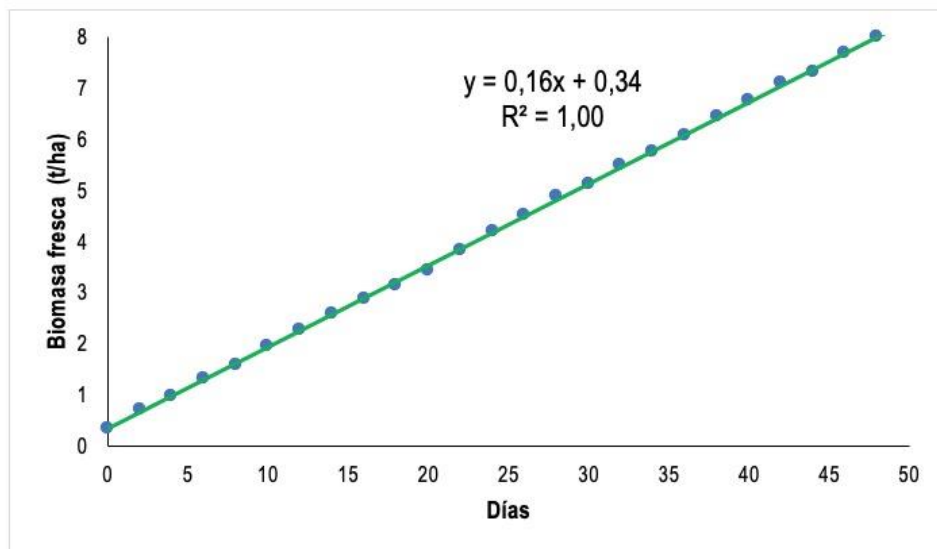
### Crecimiento de *Azolla filiculoides*



Fuente: Elaboración propia

### Figura 10.

*Producción de Azolla filiculoides. San Pedro de la Bendita, Catamayo. 2022*



Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2. Análisis químico de NitrAgua

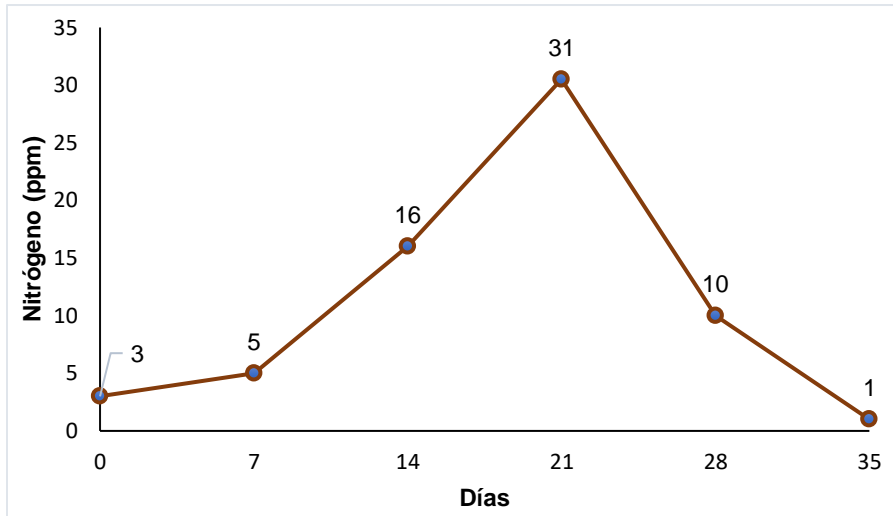
#### Contenido de nitrógeno en NitrAgua

El contenido de nitrógeno en el agua del azollario (Figura 11) incrementó de 3 a 16 ppm a los 14 días, a los 21 días ascendió a 31 ppm, a los 28 días bajó a 10 ppm y finalmente a los 35 días descendió a 1 ppm.

### Figura 11.



### Contenido de nitrógeno en NitrAgua



Fuente: Elaboración propia

### Contenido de nitrógeno en biomasa de *Azolla filiculoides*

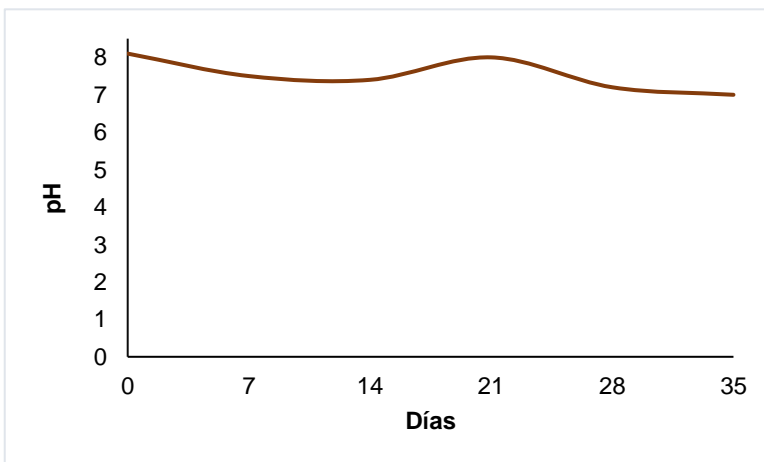
Los análisis de biomasa de *Azolla* expresan la composición química por cada 100 g de materia seca, dando como resultados 2,8 % en base seca de nitrógeno.

### pH en NitrAgua

El pH de NitrAgua al inicio fue de 8,1 y a los 35 días de 7,0; evolucionó de alcalino a neutro (Figura 12).

Figura 12.

pH de NitrAgua



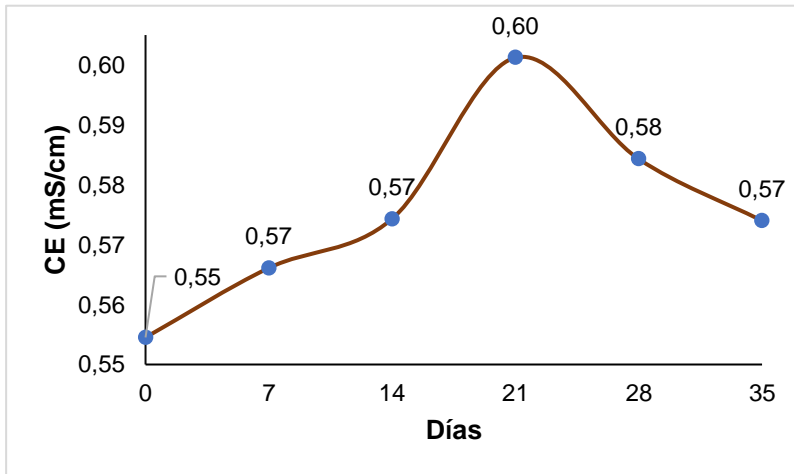
Fuente: Elaboración propia

## Conductividad eléctrica en NitrAgua

La conductividad eléctrica en NitrAgua fue de 0,55 a 0,60 mS cm<sup>-1</sup> durante los primeros 28 días, a partir de los 35 días desciende a 0,57 mS cm<sup>-1</sup>.

Figura 13.

Conductividad eléctrica en NitrAgua



Fuente: Elaboración propia

## 6.2. Efecto del nitrógeno bien expresado (N<sub>be</sub>) en la fase inicial del cultivo de maíz

### 6.2.1. Contenido de clorofila en *Azolla filiculoides*

Con el SPAD-502 se registró el contenido de clorofila (representado por el valor SPAD medido), mismo que aumentará en proporción a la cantidad de N presente en la hoja. Para una especie de planta en particular, un valor SPAD más alto indica una planta más saludable.

Tabla 10.

Contenido de clorofila en *Azolla filiculoides* en unidades SPAD



Unidades SPAD 15,2

7,0

0,4

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.2. Requerimientos hídricos del cultivo de maíz

Para determinar la lámina de riego del cultivo de café, se realizó el cálculo en función a la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>), precipitación efectiva (P<sub>e</sub>) y densidad de siembra (Tabla 11), tomando como referencia los datos de la estación meteorológica “Catamayo” desde el año 1990 al 2015.

**Tabla 11.**

*Requerimientos hídricos del cultivo de maíz para una hectárea*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET <sub>o</sub> (mm día <sup>-1</sup> )	3,83	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-	4,17	3,92
K <sub>c</sub>	1,07	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64	0,80
ET <sub>c</sub> (mm día <sup>-1</sup> )	4,09	3,01	-	-	-	-	-	-	-	-	2,66	3,14
P <sub>e</sub> (mm día <sup>-1</sup> )	1,79	3,98	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91	1,57
Lámina de riego (mm día <sup>-1</sup> )	2,3	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	1,75	1,57
Lámina de riego (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	3,41	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	11,33	2,48
Densidad de siembra	31 250 plantas											
Lámina de riego (L planta <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	2,48	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	3,24	1,71

Fuente: Elaboración propia

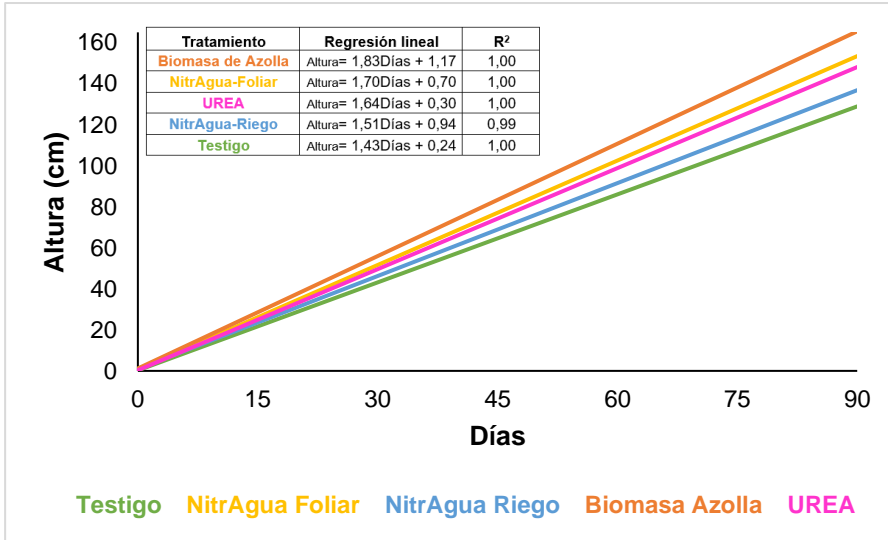
### 6.2.3. Variables respuesta en el cultivo de maíz

#### Altura de la planta

El modelo de regresión lineal (Figura 14), reportó un incremento diario en la altura de 1,43 cm en el tratamiento Testigo; con el agua del azollario (NitrAgua) se registró 1,51 cm; en tanto, con Urea 1,64 cm; NitrAgua Foliar 1,70 cm y la mayor altura de 1,83 cm, con aplicación de Biomasa de Azolla.

**Figura 14.**

*Modelo de regresión lineal de altura de la planta de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*

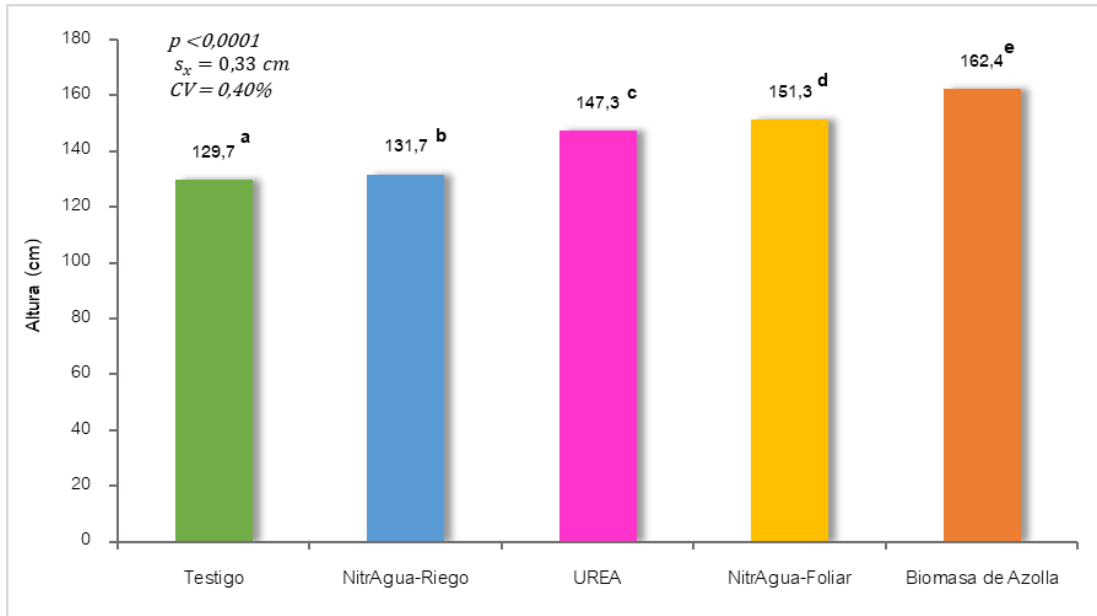


Fuente: Elaboración propia

Se puede ver una diferencia significativa en la altura entre el Testigo y la aplicación de nitrógeno, es preciso anotar, que existe una diferencia considerable entre la aplicación de urea y biomasa de azolla (Figura 15).

**Figura 15.**

*Altura de la planta de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*



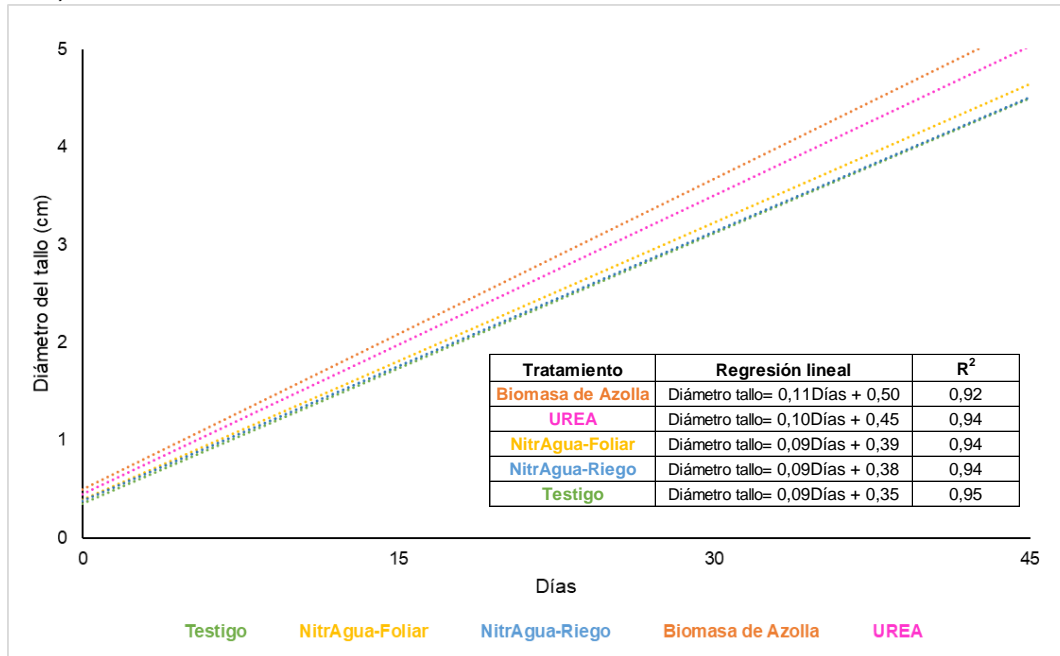
Fuente: Elaboración propia

## Diámetro del tallo

En la Figura 16 se observa el modelo de regresión lineal correspondiente al diámetro del tallo en plantas de maíz hasta los 45 días; para el Testigo el incremento diario fue de 0,09 cm diarios al igual que riego con NitrAgua y NitrAgua Foliar, el que obtuvo un mayor incremento es el tratamiento con Biomasa de Azolla con 0,11 cm diarios. Desde los 45 días en adelante hasta que las plantas de maíz completen su etapa fenológica los diámetros en el tallo se mantuvieron.

**Figura 16.**

*Modelo de regresión lineal del diámetro del tallo en plantas de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*

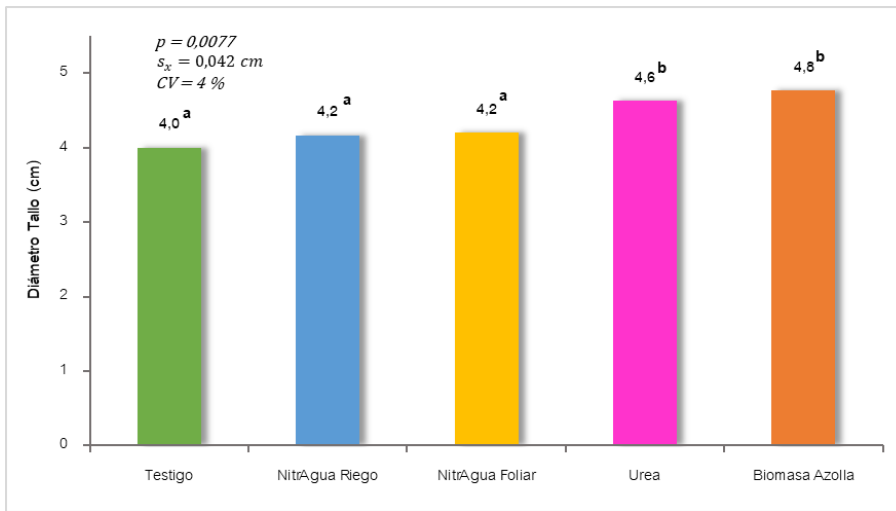


Fuente: Elaboración propia

A los 90 días se puede observar la diferencia entre el Testigo que llegó a un incremento de 4 cm y Biomasa de Azolla con 4,8 cm, aunque no se ve mayor diferencia entre los tratamientos (Figura 17).

**Figura 17.**

*Diámetro del tallo en plantas de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*



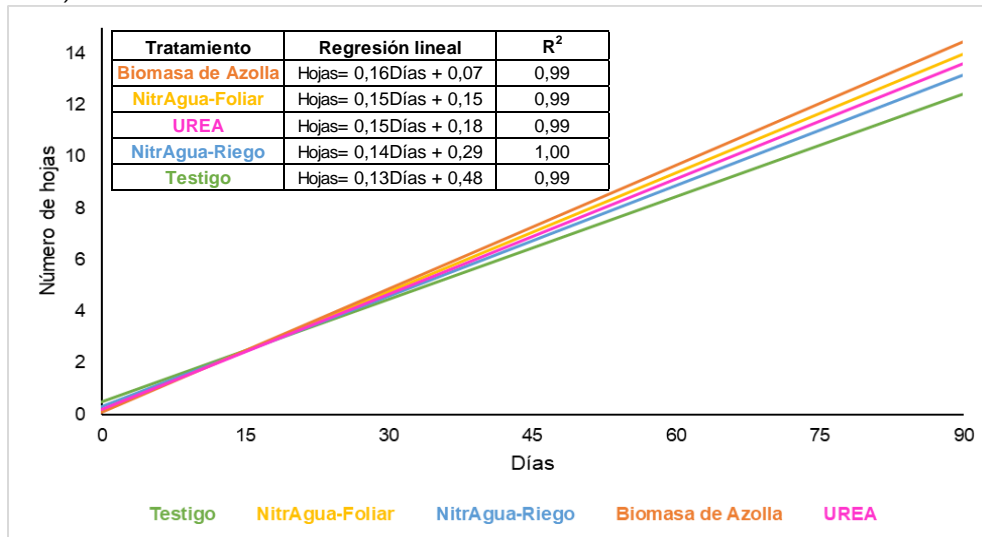
Fuente: Elaboración propia

### Número de hojas

El número de hojas en el modelo de regresión lineal (Figura 18), refiere incrementos de 0,13 a 0,16 diarios, recalcando el mayor crecimiento presentado al aplicar Biomasa de Azolla.

**Figura 18.**

*Modelo de regresión lineal para número de hojas en plantas de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*

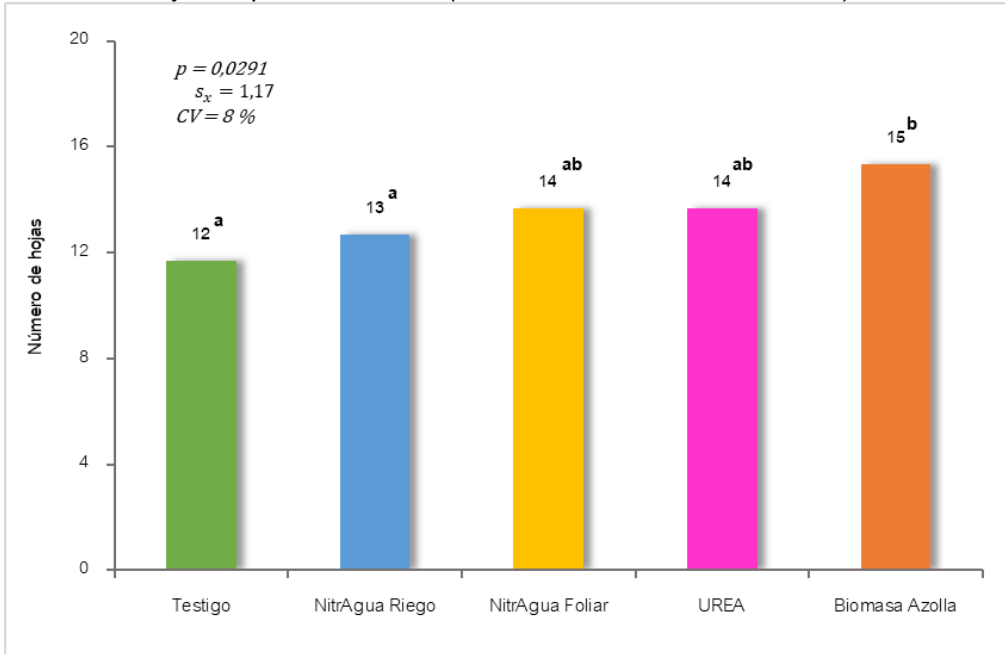


Fuente: Elaboración propia

A los 90 días, no se observa una diferencia significativa entre tratamientos (Figura 19); sin embargo, el mayor crecimiento lo consiguió Biomasa de Azolla con 15 hojas en comparación con el Testigo que presentó 12.

**Figura 19.**

*Número de hojas en plantas de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*



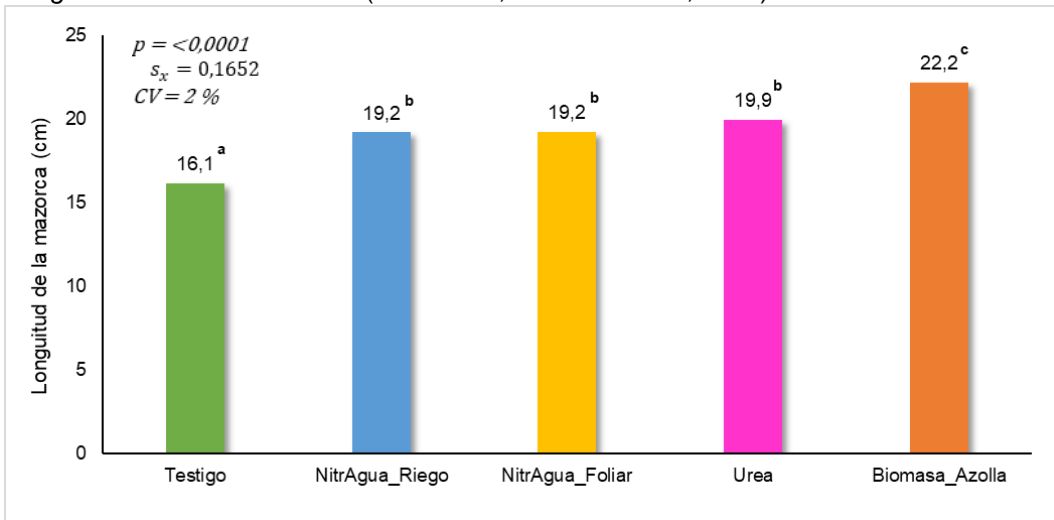
Fuente: Elaboración propia

### **Longitud de la mazorca**

El análisis de varianza (Figura 20) nos indica que al usar Biomasa de Azolla se obtiene mazorcas con una longitud de 22,17 cm siendo este el valor más alto, por otro lado, entre la Urea, NitrAgua Foliar y NitrAgua Riego no existe diferencia significativa, mientras que la Testigo con 16,13 difiere con la Biomasa de Azolla.

**Figura 20.**

*Longitud de mazorca de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*



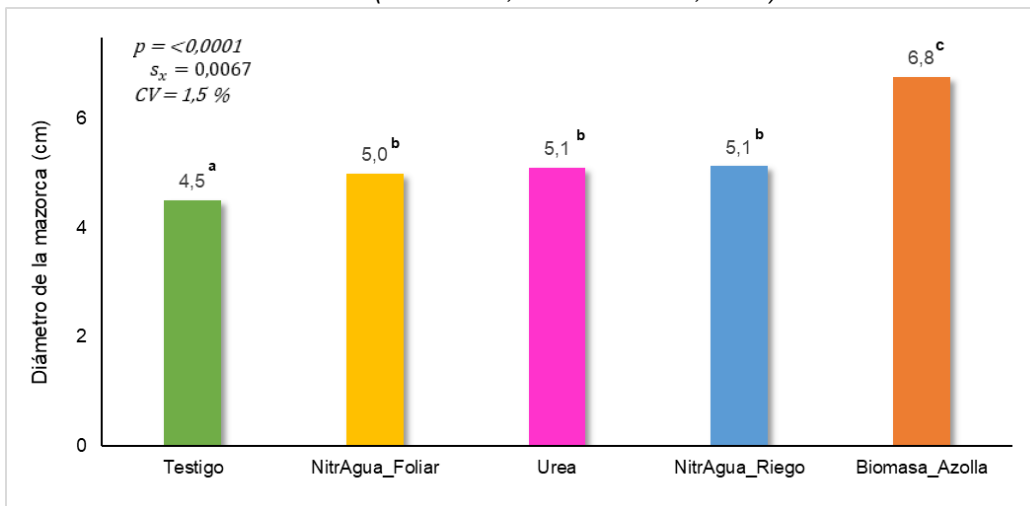
Fuente: Elaboración propia

### **Diámetro de la mazorca**

En la Figura 21 se puede observar el análisis de varianza para el diámetro de la mazorca, el valor de los tratamientos indicó que al colocar Biomasa de Azolla se recolectaron mazorcas con diámetro de 6,8 cm, al colocar NitrAgua Riego y urea se alcanzó 5,1 cm, en NitrAgua Foliar 5 cm y en la Testigo se obtuvo 4,5 cm siendo este el valor más bajo.

**Figura 21.**

*Diámetro de mazorca de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*



Fuente: Elaboración propia

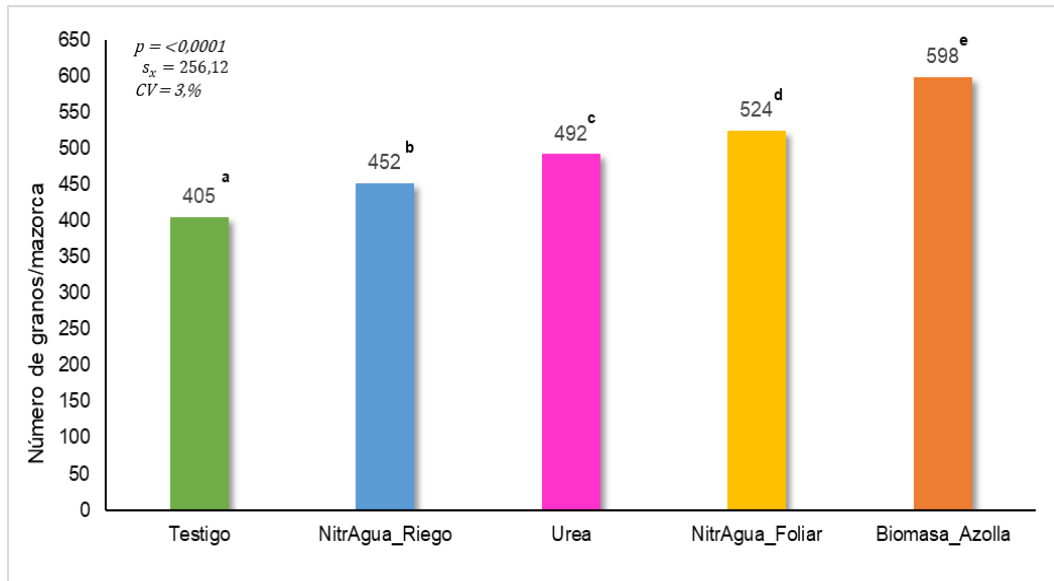


## Número de granos por mazorca

Al aplicar Biomasa de Azolla en base seca se obtuvo 598 granos por mazorca, lo que difiere de NitrAgua Foliar con 524 granos, Urea con 492 granos, NitrAgua Riego con 452 granos y Testigo con 405 granos (Figura 22).

**Figura 22.**

*Número de granos por mazorca de maíz (noviembre, 2022 a febrero, 2023)*



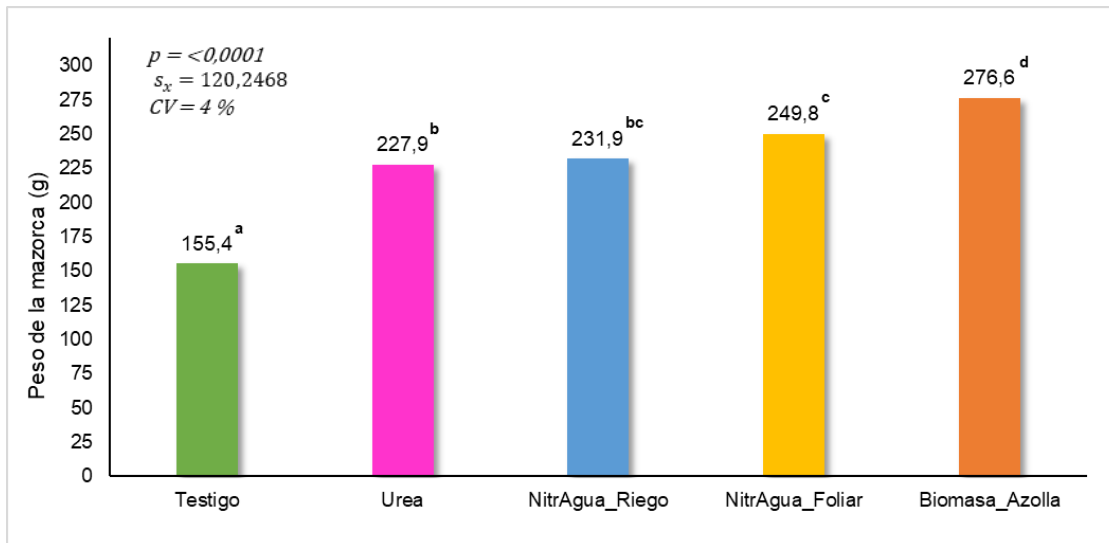
Fuente: Elaboración propia

## Peso en fresco de la mazorca

Se puede observar en la Figura 23 que al utilizar Biomasa de Azolla se recolectaron mazorcas con peso de 276,63 g siendo este el valor más alto, mostrando una diferencia significativa con la Testigo que tiene un valor de 155,37 g.

**Figura 23.**

*Peso en fresco de la mazorca de maíz*



Fuente: Elaboración propia

### **Rendimiento de maíz híbrido INIAP-182 “Almendral”**

En la Tabla 12 se observa el rendimiento de maíz híbrido con 12 % de humedad; con biomasa de *Azolla filiculoides* se obtuvo 14 t ha<sup>-1</sup> de grano, en contraste con la urea de 6 t ha<sup>-1</sup>

**Tabla 12.**

*Rendimiento de maíz INIAP-182 “Almendral” en tonelada por hectárea*

<b>Tratamiento</b>	<b>t/ha de grano</b>
<b>Biomasa de Azolla</b>	14
<b>NitrAgua-Riego</b>	11
<b>NitrAgua-Foliar</b>	6
<b>UREA</b>	6
<b>Testigo</b>	5

Fuente: Elaboración propia

## 7. Discusión

### 7.1. Obtención de nitrógeno bien expresado ( $N_{be}$ ) en condiciones accesibles para los agricultores

#### *Crecimiento de Azolla filiculoides*

Azolla filiculoides se adaptó de mejor manera a las condiciones climáticas que presenta la parroquia San Pedro de la Bendita en el cantón Catamayo, con temperatura de 18 a 25 °C, humedad relativa de 73 %, pH de agua de riego de 8,1 (Laboratorio de Suelos, 2022) a una altitud de 1 450 msnm. Se observa que es una alternativa útil, absorbe compuestos y se utiliza como fuente de nutrientes para todo tipo de plantas. Durante el ensayo, se registró  $0,15 \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$  a campo abierto, duplicando la biomasa de 3 a 4 días, estos resultados se obtuvieron debido a las diferentes variables en el clima y al manejo técnico de azolla, resultados similares obtiene Calle (2022) en su investigación expresa que azolla se adaptó al medio y mantuvo un pH de 7 a 7,5; registra un crecimiento de  $0,19 \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$  duplicando su biomasa de 2 a 4 días. Así mismo Abad (2022) menciona en su investigación que azolla presentó una producción de  $0,11 \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$  al día duplicando su biomasa de 5 a 6 días.

Monteros (2011) en una investigación realizada en Cayambe, expresa para que azolla se desarrolle a nivel del trópico, la temperatura debe oscilar entre 20 °C y 28 °C, pero a nivel de la Sierra la temperatura debe oscilar entre 7 °C y 23 °C; además, que el pH debe estar entre 6 y 7 lo que difiere con el pH utilizado en San Pedro de la Bendita.

Elvira & Quintero (2016) señala que el helecho se puede duplicar en unos cinco días en condiciones favorables como radiación, temperatura, pH, conductividad eléctrica, bajo contenido en nitrógeno y alto contenido en fósforo.

Con respecto a la intensidad de la luz, el helecho se sembró directamente al sol por lo que mantuvo su color verde hasta los 15 días desde la siembra, después se torna de un color rojizo, lo que difiere con Angamarca (2022) pues el helecho mantuvo su color verde natural hasta la cosecha, así mismo Monteros (2011) expresa que Azolla en condiciones de sombra mantiene su color verde natural, mientras que a la luz directa del sol se llega a tornar de un color rojizo, debido a grandes cantidades de antocianinas con sol brillante, contaminación o exceso de luz solar; además, en su investigación cita a Las Eras (2006) en donde señala que

la iluminación no presenta problemas, pues el helecho se adapta a condiciones de estanque a plena luz del sol o sombra.

### **Producción de *Azolla filiculoides***

La producción de *Azolla* se caracteriza por su alta producción de biomasa, en la investigación realizada se reporta que por 280 g de azolla sembrados en una piscina de 0,60 m de profundidad, con un área de 8 m<sup>2</sup> obtiene 0,09 t día<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> de biomasa, en 25 días se reportó un incremento de biomasa en un 50 %, Vinuesa (2010) señala, por 10 g de *Azolla filiculoides* sembrados en una piscina con una profundidad de 10 cm se obtiene 0,14 t día<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, en 12 días ya estaría en proceso de multiplicación de biomasa.

*Azolla* se sembró en azollarios con dimensiones de 4 m de largo y 2 m de ancho con una altura de 60 cm, con sustrato de suelo hasta los 20 cm y una película de agua de 40 cm, a los 50 días el azollario se cubrió aproximadamente el 90 % y se cosechó 5 090,91 g de biomasa expuesta directamente al sol, Rivera (2017) menciona que utilizó estanques experimentales de 1,5 m de largo y 1,6 m de ancho con una altura de 50 cm y una película de agua dulce de 10 cm, la cosecha en su experimento se la realizó a los 30 días lo que difiere con los datos obtenidos en San Pedro de la Bendita, además obtuvo 2 340,1 g de biomasa esto debido a las dimensiones del azollario. Castro (2002) expresa que las bajas densidades de *Azolla* aumenta la velocidad de crecimiento, logrando un 100 % de la superficie en 25 días lo que difiere con los datos obtenidos en la investigación realizada en San Pedro de la Bendita.

Se presentó un incremento de biomasa fresca de 97,40 g m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup>, estos datos difieren con Rivera (2017) en su investigación expone que en tratamiento a base de sustrato orgánico con columna de agua sin techo se obtiene 76,67 g m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> de biomasa fresca, corrobora esos datos citando a Caicedo (2005) mencionando que en estudios realizados usando aguas residuales con y sin pretratamiento se obtienen valores entre 54 – 90 g m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> y 326 – 384 g m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> respectivamente.

### **Contenido de nitrógeno en NitrAgua**

Para conocer la cantidad de nitrógeno en la NitrAgua se realizaron análisis químicos de agua del azollario durante 35 días, el contenido de nitrógeno inicial fue de 3 mg l<sup>-1</sup>, a los 7 días fue de 5 mg l<sup>-1</sup>, a los 14 días incremento a 16 mg l<sup>-1</sup>, a los 21 días alcanzó su valor máximo de 30,5 mg l<sup>-1</sup>, al transcurrir los 28 días decayó a 10 y finalmente a los 35 días se

registró 1 mg l<sup>-1</sup> de nitrógeno, debido a que *azolla* comenzó a envejecer y puede disminuir la cantidad de *Anabaena azollae* en las raíces lo que afectaría a la fijación del nitrógeno, estos valores de nitrógeno están dentro del rango expuesto por Tapia (2015) que son de 5 a 30 mg l<sup>-1</sup>; aunque el cultivo asimiló de manera favorable la NitrAgua, no fue el mejor tratamiento.

### **Contenido de pH y CE en la NitrAgua**

El pH del agua en el azollario ubicado en la parroquia de San Pedro de la Bendita, inicio con 8,1 considerado moderadamente básico, datos que no se encuentran dentro del rango expuesto por Monteros (2011) pues el rango debe estar entre 6 y 7; sin embargo el pH durante el ciclo de Azolla disminuyó llegando a un pH de 7 que se considera como neutro, Castro (2002) corrobora esta información, manifestando que cuando se usa Azolla existe una tendencia a disminuir el pH del agua, así mismo como incrementarlo, menciona además que la temperatura y el pH pueden ser un factor que influye en la pérdida de nitrógeno debido a la volatilización, por lo que expone que algunos autores han obtenido incrementos logarítmicos de las antes mencionadas pérdidas ya que aumenta el pH de la lámina de agua.

La conductividad eléctrica en NitrAgua a los 7 días de sembrado el helecho, fue de 0,56 mS cm<sup>-1</sup> y a los 21 días de 0,60 mS cm<sup>-1</sup> siendo este el valor más alto, por lo que Monge (2022) en los parámetros de calidad de agua para riego menciona que si el valor es <0,7 mS cm<sup>-1</sup> no existe ningún grado de restricción para su uso en cultivos ya que es considerada como no salina, lo que significa que el agua puede ser absorbida con mayor facilidad por el sistema radicular de la planta.

### **7.2. Medir el efecto del nitrógeno bien expresado obtenido a partir de Azolla-Anabaena en el cultivo de maíz (*Zea mays* L).**

Las condiciones climáticas en la Parroquia San Pedro de la Bendita en el cantón Catamayo fueron óptimas para el desarrollo del cultivo, con un pH en el suelo de 7,9 y un suelo Franco, estos factores climáticos fueron corroborados por Vizcaíno & Betancourt (2014) indicando que la temperatura debe estar entre los 18 °C a 30 °C, la humedad relativa de 65 a 85 %, una altitud de 0 – 2 500 msnm, con un viento moderado. Deras (2020) señala que los suelos más idóneos para el cultivo de maíz son los de textura media como es el caso de los suelos Francos, fértiles, bien drenados, profundos y con una alta capacidad de retención para el agua. También que el maíz crece en suelos con pH entre 5,5 a 7,9 ya que fuera de este

rango puede aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos produciendo toxicidad y carencia.

El cultivo de maíz se plantó a 0,40 m entre planta y 0,80 m entre hilera con una densidad de siembra de 31 250 plantas ha<sup>-1</sup>, estos datos son similares a los que usa Vásquez (2021), sembró a una distancia de 0,90 m entre hilera y 0,40 m entre plantas.

Al finalizar la investigación se pudo deducir que el uso de biomasa de *Azolla filiculoides* fue el mejor tratamiento, pues es una opción prometedora en la búsqueda de alternativas sostenibles al uso de fertilizantes químicos en la agricultura, además brinda una opción más sostenible y equilibrada para nutrir los suelos y asegurar la producción agrícola a largo plazo, esto también lo menciona Aldás *et al.* (2016) en su trabajo de investigación, donde señala que *Azolla* para uso de biofertilizante rico en nitrógeno es factible y puede mejorar las prácticas agrícolas sostenibles.

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

Vásquez (2021) en su investigación menciona que a los 40 días posteriores a la siembra, de acuerdo con el análisis de varianza y con el coeficiente de variación de 4,58 %, el mejor resultado fue el tratamiento de *Azolla Anabaena* + Biol con una altura de 47,34 cm y utilizando únicamente *Azolla Anabaena* obtiene una altura de 39,34 cm a los 40 días, y siendo el tratamiento Testigo el de menor rendimiento con una altura de 34,80 cm, en relación con la presente investigación, a los 45 días se obtuvo una altura promedio de 89,4 cm usando Biomasa de *Azolla* siendo este el mejor tratamiento a comparación del tratamiento testigo que obtuvo un promedio de 68,1 cm. Por otro lado Aldás *et al.* (2016), en su investigación realizada en la Universidad Técnica de Ambato en el cultivo de maíz, obtuvo el mejor resultado usando el tratamiento (*azolla* seca) con resultados a los 90 días de 66,12 cm, este dato está por debajo de la presente investigación ya que se obtuvo a los 90 días con uso de biomasa de *Azolla* un promedio de 162,4 cm.

Por lo tanto, se puede evidenciar que la aplicación edáfica presenta valores mucho más altos que la aplicación foliar ya que las raíces de las plantas están diseñadas para absorber los nutrientes del suelo, haciendo que sean mucho más efectivas que las hojas.

### **7.2.2. Diámetro del tallo**

Con respecto al diámetro del tallo el mejor resultado fue de 4,8 cm en el que se aplicó biomasa de *Azolla*, el crecimiento del tallo se pudo notar hasta los 45 días, en el resto de ciclo

del cultivo se mantuvo, esto difiere con los datos obtenidos por Vásquez (2021) señalando que al usar *Azolla Anabaena* se obtuvo un diámetro de 1,44 mm. Por otro lado Ruiz & Hernández (2009) exponen que usando abono orgánico alcanzó un diámetro de 2,16 cm a los 60 días, mientras que usando manejo convencional llega a 2,36 cm, por lo tanto el uso de azolla como fertilizante se puede considerar más efectivo que uno convencional, esto se debe al aporte de nutrientes que el helecho genera al descomponerse y a la mejora de las condiciones físico-químicas del suelo por la aplicación de este helecho.

### **7.2.3. Número de hojas**

El promedio en el número de hojas usando biomasa de *Azolla* fue de 15 hojas por planta a los 90 días en variedad de maíz INIAP-182 “Almendral”, esto debido a la cantidad de nitrógeno presente en biomasa de *azolla* seca, esto lo corrobora Ruiz & Hernández (2009) exponiendo que el número de hojas por planta oscila entre 8 y 21, siendo habitual de 12 a 18 y la media de 14. En la investigación realizada en la Universidad Nacional Agraria en Nicaragua usando abono orgánico y convencional el número de hojas es igual a los 60 días con un valor de 14 hojas por planta. Esto debido a que la variedad se adapta a la mayoría de valles de la provincia de Loja; además es tolerante a principales enfermedades que afectan al cultivo de maíz.

### **7.2.4. Longitud de la mazorca**

La aplicación de biomasa de *Azolla* permitió el crecimiento de una mazorca de buen tamaño alcanzando así un promedio de 22,2 cm siendo este el tratamiento que mejores resultados obtuvo, a comparación de la Testigo que obtuvo una longitud promedio de 16,1 cm, Ruiz & Hernández (2009) mencionan que al utilizar enmiendas orgánicas la longitud fue de 14,92 cm y Vásquez (2021) al utilizar *Azolla Anabaena* obtuvo una longitud de 15,79 cm y la testigo 14,98 cm, estos datos difieren con los resultados obtenidos en la presente investigación; la longitud de la mazorca se debe a que el cultivo de maíz mantiene estables sus niveles de absorción de nitrógeno y otros nutrientes en las primeras etapas de desarrollo, esta longitud puede disminuir al aumentar la densidad de siembra del maíz, pues es uno de los factores más importantes en el rendimiento del cultivo, ya que, a mayor longitud de mazorca, mayor número de granos por hilera y mayor rendimiento de grano; además la falta de algunos factores propios del suelo puede generar variación en la absorción de nitrógeno, lo que provoca el desarrollo de ciertos órganos de la planta.

### **7.2.5. Diámetro de la mazorca**

Saldaña & Caldero (1991) mencionan que el diámetro de la mazorca está relacionado por factores genéticos e influido por factores edáficos, nutricionales y medioambientales, es un parámetro fundamental para medir el rendimiento y está directamente relacionado con la longitud de la mazorca. Forma parte de la fase reproductiva de la planta y requiere actividad fotosintética y una elevada absorción de agua y nutrientes.

El diámetro de la mazorca en el mejor tratamiento es de 6,8 cm usando biomasa de *Azolla*, seguido por el tratamiento de NitrAgua Riego con un diámetro de 5,1 cm, siendo el Testigo el tratamiento con menor rendimiento con un promedio de 4,5 cm. Vásquez (2021) señala en su investigación que al usar *Azolla Anabaena* obtiene un diámetro de 4,26 mm y la testigo con 4,03 mm datos que no coinciden con los de Ruiz & Hernández- (2009) ya que obtienen en su investigación 5,78 cm usando un manejo orgánico; por lo tanto el uso de biomasa de azolla influyó positivamente, ya que el nitrógeno que aporta es importante con un alto contenido de vitaminas y aminoácidos precursores de las proteínas.

### **7.2.6. Peso de la mazorca**

Los resultados obtenidos en la investigación al usar biomasa de *azolla* es de 276,6 g en mil granos siendo el tratamiento con mejor rendimiento, seguido por la aplicación de NitrAgua en forma foliar con un peso promedio de 249,8 g en mil granos y con un menor rendimiento a la Testigo con 155,4 g en mil granos, por lo que Ruiz & Hernández (2009) señalan que al usar un manejo orgánico se obtiene un peso de 251,25 g en mil granos, siendo un valor por debajo de lo obtenido al usar Biomasa de *Azolla filiculoides*. Por otra parte Vásquez (2021), en su investigación al usar *Azolla Anabaena* obtiene un peso de 513,38 g en mil granos de maíz, siendo esto un valor por encima de lo que se obtuvo en la presente investigación.

Bustamante (2015), menciona que el nitrógeno es uno de los principales componentes del desarrollo de las plantas y contribuye a aumentar el peso de los granos, ya que la acumulación de material de reserva durante las fases vegetativa y reproductiva depende de su disponibilidad, el déficit de este nutriente en el cultivo puede resultar en una disminución del tamaño celular y de la síntesis de proteínas, produciendo granos con menor contenido de materia seca y por ende con menos peso.



### 7.2.7. Número de granos por mazorca

Reyes (2017), considera que las hojas superiores y medias son la principal fuente de carbohidratos para el llenado del corno y del grano. Esta variable está fuertemente influenciada por el suministro de nitrógeno al suelo, el cual está determinado por la longitud, el número de hileras por espiga y el número de granos por hilera, además cita a Jugenheimer (1981) el cual expresa que el número y tamaño de los granos contribuyen en el rendimiento del grano.

En los resultados obtenidos en la investigación existen valores significativos como es el caso del uso de biomasa de *Azolla filiculoides* que alcanzó un promedio de 598 granos/mazorca siendo este el tratamiento con mayor número de granos a comparación del Testigo que obtuvo 405 granos/mazorca, datos que difieren con Ruiz & Hernández (2009) pues al usar un manejo convencional obtienen 425,15 granos/mazorca mientras que al usar manejo orgánico obtienen 388,22 granos/mazorca.

Por otra parte Moraga & Meza (2005) no encontraron diferencia significativa para esta variable, al comparar los resultados en sus tratamientos, a los que aplicaron bajas dosis de gallinaza obteniendo promedios de 424,58 granos/mazorca, seguido de dosis altas de estiércol de bovino con un promedio de 420,64 granos/mazorca y el testigo con 353,25 granos/mazorca; estos resultados favorables se deben a la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga.

Con respecto a los análisis obtenidos en la investigación se comprueba la hipótesis: con la generación y aprovechamiento del nitrógeno bien expresado ( $N_{be}$ ) a partir de la simbiosis de *Azolla Anabaena*, mejora el rendimiento del cultivo de maíz en el cantón Catamayo.

## 8. Conclusiones

- ✓ El crecimiento de *Azolla filiculoides* en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo es de  $0,15 \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$  alcanzando aproximadamente un 90 % de superficie en 50 días; se produce  $0,09 \text{ kg día}^{-1}$  de *Azolla filiculoides* equivalente a  $0,12 \text{ t ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . El helecho se desarrolló a una temperatura media de  $21,5 \text{ °C}$ , una humedad relativa de 73 %, pH de 8,1 al inicio, se duplicó la biomasa de 3 a 4 días.
- ✓ El mayor contenido de nitrógeno en NitrAgua de 31 ppm se obtuvo a los 21 días; y en biomasa seca de *Azolla filiculoides* 2,8 % de nitrógeno.
- ✓ A los 90 días desde la siembra con aplicación de biomasa de *Azolla filiculoides* se obtuvo los mayores resultados con plantas de 162,4 cm de altura, 15 hojas verdaderas y un diámetro del tallo de 4,5 cm y rendimiento de  $14 \text{ t ha}^{-1}$
- ✓ El uso de biomasa de *Azolla filiculoides* es una alternativa viable como biofertilizante en lugar de utilizar fertilizantes convencionales como la urea que no solamente es perjudicial para la salud, sino también presenta costos elevados.
- ✓ La construcción de azollarios para la producción de nitrógeno bien expresado, son de fácil implementación y a bajo costo.

## 9. Recomendaciones

- ✓ Se debe considerar la producción de *Azolla filiculoides* en lugares controlados donde se evite el ingreso de agua por lluvias, lo que haría que la cantidad de nitrógeno fijada en el agua varíe, así mismo el control de pérdida de biomasa por la presencia de hongos.
- ✓ Para disminuir costos en la producción de *Azolla filiculoides* se recomienda reemplazar la geomembrana por plástico negro de polietileno.

## 10. Bibliografía

- Abad Calva, G. N. (2022). Generación y evaluación de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica Azolla-Anabaena para producción de brócoli (*Brassica oleracea* L.) en la quinta experimental “La Argelia” [Universidad Nacional de Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/25556/1/Gabriela%20Natali%20Abad%20Calva.pdf>
- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, SU origen y clasificación. EL MAIZ en Cuba. Cultivos Tropicales, 30(2), 00-00. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000200016](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000200016)
- Agro Bayer. (2022). Cultivo de Maíz en Ecuador | Agro Bayer Ecuador. BAYER.  
<https://www.agro.bayer.ec/es-ec/cultivos/maiz.html>
- Agro, R. (2022, mayo 20). Fertilizantes químicos: Ventajas y desventajas. Rotoplas Agroindustria. <https://rotoplas.com.ar/agroindustria/fertilizantes-quimicos-ventajas-y-desventajas/>
- Aguilar Carpio, C., Escalante Estrada, J. A. S., Aguilar Mariscal, I., Aguilar Carpio, C., Escalante Estrada, J. A. S., & Aguilar Mariscal, I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. Terra Latinoamericana, 33(1), 51-62.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-57792015000100051&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792015000100051&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- 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. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2308-38592016000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2308-38592016000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Alvarado Ochoa, S. (2008). XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 10.

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2518/1/iniapsc349di.pdf>

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

[https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_los\\_desafios\\_de\\_la\\_agricultura\\_fandrade.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_los_desafios_de_la_agricultura_fandrade.pdf)

Angamarca Angamarca, C. G. (2022). Generación y aprovechamiento de Nitrógeno bien expresado mediante la producción del simbiote Azolla–Anabaena, en el cultivo de acelga (*Betavulgaris* L.) en la parroquia Gualiel, cantón y provincia Loja. [Universidad Nacional de Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/25592/1/Claudia%20Gissela%20Angamarca%20Angamarca.pdf>

Avila, J. P., & Canul, R. P. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. 10.

Balanzátegui, I. M. (2008). Corporación de Desarrollo Microempresarial “C O D E M I C R O ”. 22.

Bula, A. (2020). IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA EN EL DESARROLLO SOCIO-ECONÓMICO. <https://observatorio.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2020/08/Importancia-de-la-agricultura-en-el-desarrollo-socio-econ%C3%B3mico.pdf>

Bustamante-Moncada, M. (1990). Efecto de diferentes niveles de nitrógeno, fraccionamiento y momentos de aplicación sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) var. NB - 12 [Universidad de Agronomía].

<https://repositorio.una.edu.ni/1490/1/tnf04b982.pdf>

Cabezas-Monteros, R. J. (2011a). RELACIÓN SIMBIÓTICA DE AZOLLA - ANABAENA PARA LA PRODUCCIÓN DE NITRÓGENO EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA DE CAYAMBE, 2010.”. 83. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1830>

Cabrera Armijos, D. J. (2014). IMPLEMENTACIÓN DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA ELABORACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO HUMUS DE LOMBRIZ, PARA EL CANTÓN CATAMAYO [Universidad Nacional de Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/13110/1/Diego%20Javier%20Cabrera%20Armijos.pdf>

Cabrera, M. L. (2007). Mineralización y nitrificación: Procesos claves en el ciclo del nitrógeno.

Inf. Agron. del Cono Sur, 34(1), 1-26. [Cabrera-IA34.pdf \(ipni.net\)](#)

Calle Herrera, Y. A. (2022). Generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica azolla-anabaena en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la parroquia Vilcabamba, cantón y provincia de Loja. [Universidad Nacional de Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/25873/1/Yajahira%20Alexandra%20Calle%20Herrera.pdf>

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

[https://www.google.com/search?q=N2+%2B+8H%2B+%2B+8e-+%2B+16+ATP+%EF%83%A0++2NH3+%2B+H2+%2B+16+ADP+%2B+16Pi+EXPLICACION&sca\\_esv=554867176&sxsrf=AB5stBhrnw5-wxfcvamjTiHUWdoWmkHQBA%3A1691532239944&ei=z7vSZLiZOdqQwbkPkdSJkA8&ved=0ahUKEwj4vKbSiM6AAxVaSDABHRFqAvlQ4dUDCA8&uact=5&oq=N2+%2B+8H%2B+%2B+8e-+%2B+16+ATP+%EF%83%A0++2NH3+%2B+H2+%2B+16+ADP+%2B+16Pi+EXPLICACION&gs\\_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiQk4yICsgOEgrlCsgOGUtICsgMTYgQVRQIO-DoCAgMk5IMyArIEgyICsgMTYgQURQICsgMTZQaSBFWFBMSUNBQ0IPTkgAUABYAHAAeAGQAQCYAQCgAQC4AQPIAQD4AQL4AQHiAwQYACBB&scient=gws-wiz-serp](https://www.google.com/search?q=N2+%2B+8H%2B+%2B+8e-+%2B+16+ATP+%EF%83%A0++2NH3+%2B+H2+%2B+16+ADP+%2B+16Pi+EXPLICACION&sca_esv=554867176&sxsrf=AB5stBhrnw5-wxfcvamjTiHUWdoWmkHQBA%3A1691532239944&ei=z7vSZLiZOdqQwbkPkdSJkA8&ved=0ahUKEwj4vKbSiM6AAxVaSDABHRFqAvlQ4dUDCA8&uact=5&oq=N2+%2B+8H%2B+%2B+8e-+%2B+16+ATP+%EF%83%A0++2NH3+%2B+H2+%2B+16+ADP+%2B+16Pi+EXPLICACION&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiQk4yICsgOEgrlCsgOGUtICsgMTYgQVRQIO-DoCAgMk5IMyArIEgyICsgMTYgQURQICsgMTZQaSBFWFBMSUNBQ0IPTkgAUABYAHAAeAGQAQCYAQCgAQC4AQPIAQD4AQL4AQHiAwQYACBB&scient=gws-wiz-serp)

- Campesina, V. (2018, noviembre 20). Una breve historia de los orígenes de la agricultura, la domesticación y la diversidad de los cultivos. <https://grain.org/es/entries/6080-una-breve-historia-de-los-origenes-de-la-agricultura-la-domesticacion-y-la-diversidad-de-los-cultivos>
- Cárdenas Navarro, R., Sanchez-Yañez, J., Farías-Rodríguez, R., & Peña Cabriales, J. (2004). Contribution of nitrogen to agriculture. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10, 173-178. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.07.039>
- Castillo-Tovar, Ing. H. (2015, abril 16). FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ. Inifap. <http://inifapcirne.gob.mx/Eventos/2015/Boletin%20Electronico%20V.1,%20No.1.pdf>
- Castro, R. (2002). Comunicación corta USO DEL GÉNERO AZOLLA COMO BIOFERTILIZANTE EN EL CULTIVO DEL ARROZ (*Oryza sativa* L.). 23(4), 5-6. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218135001.pdf>
- Caviedes, M., Carvajal-Larenas, F. E., & Zambrano, J. L. (2020). Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) en el Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, especial (1). <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/download/2588/3111?inline=1>
- Celaya-Michel, H., Castellanos-Villegas, A. E., Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-57792011000300343&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792011000300343&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Cherlinka, V. (2021, julio 15). Agricultura Orgánica: El Modelo Agrícola Y Sus Principios. EOS DATA ANALYTICS. <https://eos.com/es/blog/agricultura-organica/>
- Cherlinka, V. (2022, enero 12). Fijación Biológica De Nitrógeno: Beneficios De Su Uso. <https://eos.com/es/blog/fijacion-biologica-de-nitrogeno/>
- Cirujano-Bracamonte, S., Meco-Molina, A., López-Bravo, I., & Sánchez-Andrés, R. (2015). LA INVASIÓN DEL HELECHO ACUÁTICO AZOLLA FILICULOIDES EN LA MARISMA DEL

PARQUE NACIONAL DOÑANA EN 2005-2008.

[https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/da/82/e4/b5/da82e4b5-f289-4638-8d83-efe60fdbf7c9/files/CIR\\_Inv\\_Hel\\_Acu.pdf](https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/da/82/e4/b5/da82e4b5-f289-4638-8d83-efe60fdbf7c9/files/CIR_Inv_Hel_Acu.pdf)

Cobos, E. (2021, julio 26). La agricultura de conservación, la oportunidad para el campo en Ecuador. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/agricultura-conservacion-alternativa-campo-ecuador/>

Dekalb. (2022). Cómo usar recursos hídricos en tu cultivo de maíz | DEKALB® Venezuela. <https://www.dekalb.com.co/es-co/buenaspracticas/venezuela/hidricos.html>

Deras Flores, Ing. H. (2020). Guía técnica El cultivo de maíz. 42. <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>

Egüez, J., Pintado, P., & Molina, R. (2013, noviembre). INIAP-182 «Almendral» Nueva variedad de maíz de grano amarillo duro. INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2340/1/FT.pdf>

Elvira, A., & Quintero, R. (2016). Tasas de crecimiento y tiempo de duplicación de 17 Ecotipos de Azolla, colectadas en México. [https://www.ecorfan.org/handbooks/Handbook\\_Quimica\\_Biologia\\_y\\_Agronomia\\_T1V1/Particiones/4.pdf](https://www.ecorfan.org/handbooks/Handbook_Quimica_Biologia_y_Agronomia_T1V1/Particiones/4.pdf)

FAO. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>

García, Z. (2006b). Agricultura, expansión del comercio y equidad de género. <https://www.fao.org/3/a0493s/a0493s02.htm>

Giralt, J. (2011, septiembre 17). Requerimientos hídricos del cultivo del maíz. Cambio Climático, Agua y Riego. <https://www.aguayriego.com/requerimientos-hidricos-del-cultivo-del-maiz/>



- González-Ulibarry, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes (p. 5).  
[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)
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(6), 1261-1274. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342012000600015&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342012000600015&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Guillén, A. (2010, agosto 22). Anabaena—163—Biodiversidad Virtual / Mundo Microscópico. Biodiversidad Virtual Mundo Microscópico.  
<https://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Anabaena-img163.html>
- INIAP. (2017, febrero 2). Condiciones agroclimáticas para maíz.  
<https://www.youtube.com/watch?v=p6d5tuVxf4s>
- Innoplant. (2021, septiembre 13). La importancia del nitrógeno en la agricultura. Innoplant.  
<https://innoplant.es/2021/09/13/la-importancia-del-nitrogeno-en-la-agricultura/>
- INTAGRI. (2018, noviembre). Fijación Biológica de Nitrógeno Atmosférico | Intagri S.C.  
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/fijacion-biologica-de-nitrogeno-atmosferico>
- Lemon, L. (2022, marzo 2). Agricultura convencional vs agricultura orgánica ¿Cuál es mejor? Grow Lobby. <https://www.growlobby.com/blog/agricultura-convencional-vs-agricultura-organica.html>
- Martínez Valle, L. (2013). LA AGRICULTURA FAMILIAR EN EL ECUADOR. 44.  
[https://www.rimisp.org/wp-content/files\\_mf/1434745799147AgriculturaFamiliarEcuadorMartinez\\_editado.pdf](https://www.rimisp.org/wp-content/files_mf/1434745799147AgriculturaFamiliarEcuadorMartinez_editado.pdf)
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. Revista Científica UDO Agrícola, 4(1), 1-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221548>

Monge, M. Á. (2022, junio 8). Calidad del agua de riego. Revista Agricultura.

[https://www.revistaagricultura.com/agua/regadios/www.revistaagricultura.com/agua/regadios/calidad-del-agua-de-riego\\_14516\\_118\\_18029\\_0\\_1\\_in.html](https://www.revistaagricultura.com/agua/regadios/www.revistaagricultura.com/agua/regadios/calidad-del-agua-de-riego_14516_118_18029_0_1_in.html)

Monsalve, Ó. I., Gutiérrez, J. S., & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 11(1), 200-209.

<https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>

Montaño Armijos, M. D. J. (2010). Desarrollo del recurso azolla anabaena y aplicaciones en los sectores agrícola, pecuario y acuícola.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10061>

Montaño, M. (2012, julio 30). Azolla: Helecho acuático que sirve como fertilizante y protege los cultivos de arroz. Fedearroz. [https://fedearroz.com.co/es/noticias/azolla-helecho-](https://fedearroz.com.co/es/noticias/azolla-helecho-acuatico-que-sirve-como-fertilizante-y-protege-los-cultivos-de-arroz/)

[acuatico-que-sirve-como-fertilizante-y-protege-los-cultivos-de-arroz/](https://fedearroz.com.co/es/noticias/azolla-helecho-acuatico-que-sirve-como-fertilizante-y-protege-los-cultivos-de-arroz/)

Monteros, R. J. C. (2011). RELACIÓN SIMBIÓTICA DE AZOLLA (Azolla caroliniana, A. filiculoides, A. mexicana)—ANABAENA (Anabaena azollae) PARA LA PRODUCCIÓN DE NITRÓGENO EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA DE CAYAMBE, 2010. 83.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1830/12/UPS-YT00098.pdf>

Moraga-Quezada, N. Y., & Meza-Rodríguez, I. A. (2005). Evaluación de dos dosis de fertilizantes orgánicos (Gallinaza, estiércol vacuno) y un mineral sobre la dinámica del crecimiento y rendimiento del maíz (Zea mays L.) variedad NB-6 [Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/1971/1/tnf04m827e.pdf>

Moreno, M. A., Ortega, M. E., & Gonzales Cortés, N. (2018). Evaluación de Medios de Cultivo en la Producción del Helecho Azolla filiculoides: Como Biofertilizante Potencial Para el Cultivo de Arroz (Oryza sativa). <http://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2018/09/6-Mem-Mesa-3-congreso-2018.pdf#page=45>

Navarro-García, G. (2014). Fertilizantes: Química y acción. Mundi-Prensa.

[https://books.google.com.ec/books/about/Fertilizantes\\_qu%C3%ADmica\\_y\\_acci%C3%B3n.html?id=3McUBQAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Fertilizantes_qu%C3%ADmica_y_acci%C3%B3n.html?id=3McUBQAAQBAJ&redir_esc=y)

Ondarse Álvarez, D. (2021, julio 15). Ciclo del nitrógeno—Concepto, importancia y etapas.

Concepto. <https://concepto.de/ciclo-del-nitrogeno/>

Oñate Zúñiga, L. A. (2016). Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (Zea Mays) var. Blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18305/1/Tesis-116%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20371.pdf>

Pacheco Avila, J., Pat Canul, R., & Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. 73-81.

[https://www.google.com/search?q=La+qu%C3%ADmica+del+nitr%C3%B3geno+es+compleja+debida+a+la+cantidad+de+estados+de+oxidaci%C3%B3n+que+puede+asumir+y+cambio+en+el+estado+de+oxidaci%C3%B3n+puede+ser+llevado+a+cabo+por+organismos+vivos&og=La+qu%C3%ADmica+del+nitr%C3%B3geno+es+compleja+debida+a+la+cantidad+de+estados+de+oxidaci%C3%B3n+que+puede+asumir+y+cambio+en+el+estado+de+oxidaci%C3%B3n+puede+ser+llevado+a+cabo+por+organismos+vivos&ags=e\\_dge..69i57.736j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=La+qu%C3%ADmica+del+nitr%C3%B3geno+es+compleja+debida+a+la+cantidad+de+estados+de+oxidaci%C3%B3n+que+puede+asumir+y+cambio+en+el+estado+de+oxidaci%C3%B3n+puede+ser+llevado+a+cabo+por+organismos+vivos&og=La+qu%C3%ADmica+del+nitr%C3%B3geno+es+compleja+debida+a+la+cantidad+de+estados+de+oxidaci%C3%B3n+que+puede+asumir+y+cambio+en+el+estado+de+oxidaci%C3%B3n+puede+ser+llevado+a+cabo+por+organismos+vivos&ags=e_dge..69i57.736j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

Pedrol, H. M., & Castellarín, J. M. (2008). Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico.

[http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/fd79eae02d7978578525799500775cc6/\\$file/5.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/fd79eae02d7978578525799500775cc6/$file/5.pdf)

Perdomo, C., Barbazán, M., & Durán, J. M. (s. f.). Nitrógeno.

<http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>

- Proain. (2020, octubre 8). CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA. ProainShop.  
<https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/calidad-del-agua-para-riego-agricola>
- Proain. (2021, abril 20). BASES EN LA NUTRICIÓN DE MAÍZ. ProainShop.  
<https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/bases-en-la-nutricion-de-maiz>
- Rivera, L. M. (2017). Comportamiento de la azolla (*Azolla* spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. *Cumbres*, 3(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.48190/cumbres.v3n2a9>
- Ruiz-Dressy, M., & Hernández-Morrison, T. (2009). COMPORTAMIENTO DE VARIABLES DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) VAR. NB-6 BAJO PRÁCTICAS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL EN LA FINCA EL PLANTEL. 2007-2008. 39. <https://repositorio.una.edu.ni/2090/1/tnf01b647.pdf>
- Saldaña-Caceres, F., & Caldero-Reyes, M. L. (1991). Efecto de rotación de cultivos y control de malezas sobre la cenosis de malezas en los cultivos maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y pepino (*cucumis sativus* L.) [Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/1507/1/tnh60s162.pdf>
- Sánchez, Econ. A. M., Vayas, Econ. T., Mayorga, Ing. F., & Freire, Ing. C. (2020, junio 7). Sector Agrícola Ecuador.  
[https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/diagnosticos/Diagnostico\\_N22.pdf](https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/diagnosticos/Diagnostico_N22.pdf)
- Tarazona-Meza, N. L., Chavarría-Párraga, J. E., & Moreira-Saltos, J. R. (2022). El cultivo de maíz y sus necesidades hídricas en Manabí, Ecuador. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*. ISSN: 2600-5883., 5(9), Article 9.  
<https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/allpa/article/view/349>
- Tovar Benítez, T. (2008). CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y TÉRMICA DEL ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) OBTENIDO POR DIFERENTES MÉTODOS DE AISLAMIENTO. 78.  
<http://dqsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/508>

Vásquez-Cabezas, A. M. (2021). RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE DOS BIOABONOS EN EL CULTIVO DE MAIZ (Zea mays L), EL MORRO-GUAYAS [Universidad Agraria del Ecuador].

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VASQUEZ%20CABEZAS%20ANA%20MARIA.pdf>

Verhulst, N., François, I., Grahmann, K., Cox, R., & Govaerts, B. (2015). Eficiencia del uso de nitrógeno y optimización de la fertilización nitrogenada. 13.

<https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4411/56988.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villafáfila, E., & Wyss, F. (2009). Riego en horticultura. Guía para la instalación de pequeños sistemas de riego. INTA-Agencia Extensión Rural, 50.

<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>

Vinueza, J. (2010). Relación simbiótica de Azolla (Azolla caroliniana, A. filiculoides, A. mexicana)-Anabaena (Anabaena azollae) para la producción de nitrógeno en ecosistemas acuáticas de la zona de Cayambe.

<http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl/vufind/Record/oai:localhost:123456789-1441421>

Virgen, G. (2013). Los Biofertilizantes en la Agricultura | Intagri S.C. Intagri S.C.

<https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/biofertilizantes-en-agricultura>

Vitra. (2020, octubre). La gran importancia del nitrógeno en las plantas. Vitra.

<https://www.agrovitra.com/media/2022/12/Importancia-del-Nitrogeno-en-las-plantas-Fernanda-Habit.pdf>

Vizcaíno-Cabezas, Ing. D. A., & Betancourt-Herrera, Ing. R. A. (2014, marzo 28). GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA MAÍZ DURO. Agrocalidad.

<https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/guia7.pdf>

Yara Ecuador. (2018, febrero 7). Resumen nutricional del maíz | Yara Ecuador. Yara None.

<https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/maiz/Resumen-nutricional/>

Zambrano, J. L., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., & Cartagena, Y. (2021, diciembre). Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana. INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>

Zambrano-Mendoza, J. L., Yáñez, C., Sangoquiza-Caiza, C. A., Limongi-Andrade, R., Francisco Alarcón Cobeña, Zambrano Zambrano Eddie Elí, Caicedo Villafuerte Marlon Brainer, Villavicencio-Linzán, J., Cartagena-Ayala, Y. E., Parra, R., & Azaquibay-Inca, C. R. (2019). Situación del cultivo de maíz en Ecuador: Investigación y desarrollo de tecnologías en el Iniap. En Situación del cultivo de maíz en Ecuador: Investigación y desarrollo de tecnologías en el Iniap (pp. 30-31). <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5457>

## 11. Anexos

### Anexo 1.

*Construcción de los azollarios*



### Anexo 2.

*Impermeabilización y llenado de azollarios*



### Anexo 3.



*Recolección y drenaje de semilla de Azolla*



**Anexo 4.**

*Preparación del diseño experimental para el cultivo de maíz*



**Anexo 5.**



*Germinación del cultivo de maíz*



**Anexo 6.**

*Medición de la altura de la planta a los 15 días después de la siembra*



**Anexo 7.**

*Presencia de plagas en el cultivo de maíz*



**Anexo 8.**

*Presencia de un hongo (huitlacoche) en mazorca de plantas de tratamiento testigo*



**Anexo 9.**



*Azollario lleno en la parroquia San Pedro de la Bendita*



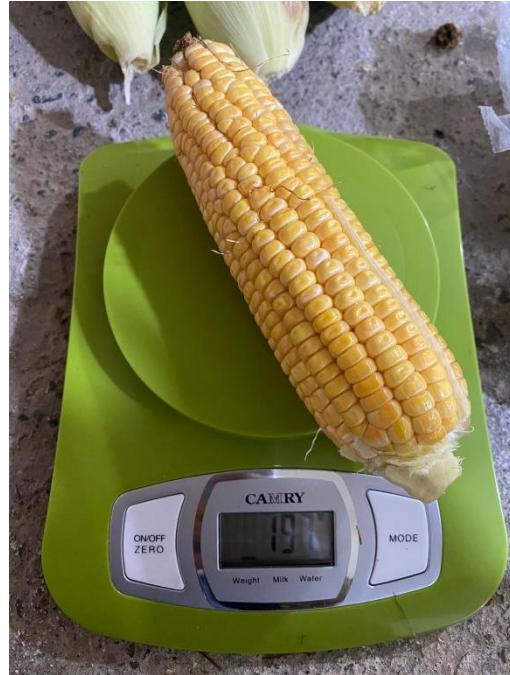
**Anexo 10.**

*Cosecha del cultivo de maíz*



**Anexo 11.**

Peso de la mazorca



Anexo 12.

*Diámetro del tallo en plantas de maíz*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
90	15	0,80	0,65	4,73

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,34	6	0,22	5,27	0,0176
Tratamiento	1,30	4	0,32	7,66	0,0077
Bloque	0,04	2	0,02	0,49	0,6309
Error	0,34	8	0,04		
Total	1,68	14			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0423 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	4,00	3	0,12 A
NitrAgua_Riego	4,17	3	0,12 A
NitrAgua_Foliar	4,20	3	0,12 A
UREA	4,63	3	0,12 B
Biomasa Azolla	4,77	3	0,12 B

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

Anexo 13.

### Longitud de la mazorca de maíz

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
1	15	0,98	0,96	2,10

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	59,35	6	9,89	59,89	<0,0001
Bloque	3,39	2	1,69	10,25	0,0062
Tratamiento	55,97	4	13,99	84,71	<0,0001
Error	1,32	8	0,17		
Total	60,67	14			

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,1652 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	16,13	3	0,23	A
NitrAgua_Riego	19,20	3	0,23	B
NitrAgua_Foliar	19,23	3	0,23	B
UREA	19,93	3	0,23	B
Biomasa Azolla	22,17	3	0,23	C

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

### Anexo 14.

#### Altura en plantas de maíz

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
90	15	1,00	1,00	0,40

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2270,15	6	378,36	1145,38	<0,0001
Tratamiento	2264,21	4	566,05	1713,58	<0,0001
Repetición	5,94	2	2,97	8,99	0,0090
Error	2,64	8	0,33		
Total	2272,79	14			

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,3303 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	129,73	3	0,33	A
NitrAgua_Riego	131,70	3	0,33	B
UREA	147,30	3	0,33	C
NitrAgua_Foliar	151,27	3	0,33	D
Biomasa Azolla	162,37	3	0,33	E

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

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,3303 gl: 8

Repetición	Medias	n	E.E.	
R1	143,72	5	0,26	A
R3	144,44	5	0,26	A B
R2	145,26	5	0,26	B

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

### Anexo 15.



Loja, 11 de septiembre del 2023

### **CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN**

Yo, Luis Eduardo Malla Medina, con número de cédula 1104351000 y  
con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, Mención Inglés,  
registrado en el SENESCYT con número 1008-15-1421369

#### **CERTIFICO:**

Qué he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del presente trabajo de integración curricular o de titulación denominado “Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla - Anabaena* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L) en el cantón Catamayo, provincia de Loja” de autoría de Daniel Alejandro Aguinaca Jiménez, portador de la cédula de identidad, número 1105402703, 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.** Luis Eduardo Malla Medina

**C.I:** 1104351000