



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 café (*Coffea arabica* L.) en “La Argelia” del cantón Loja

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

AUTORA:

Nohely del Cisne Espinosa Palacios

DIRECTOR:

Edison Ramiro Vásquez PhD.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 08 de marzo 2023

Edison Ramiro Vásquez PhD.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla - Anabaena* en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en “La Argelia” del cantón Loja** de autoría de la estudiante **Nohely del Cisne Espinosa Palacios**, con cédula de ciudadanía **Nro. 1150676342**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizó la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Edison Ramiro Vásquez PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Nohely del Cisne Espinosa Palacios**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1150676342

Fecha: Loja, 02 de mayo de 2023

Correo electrónico: nohely.espinosa@unl.edu.ec

Celular: 0968166093

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

Yo, **Nohely del Cisne Espinosa Palacios**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla - Anabaena* en el cultivo de café (*Coffea arabica*. L) en “La Argelia” del cantón Loja** como requisito para optar el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido 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 dos días del mes de mayo de dos mil veintitres.

Firma:



Autora: Nohely del Cisne Espinosa Palacios

Cédula de identidad: 1150676342

Dirección: Daniel Álvarez, Loja Ecuador

Correo electrónico: nohely.espinosa@unl.edu.ec

Celular: 0968166093

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Trabajo de Titulación: Edison Ramiro Vásquez PhD.

Dedicatoria

A Dios por la vida.

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mis padres y hermanas, especialmente a mi abejita por ser mi apoyo en este proyecto y en la vida.

Nohely

Agradecimiento

Agradezco a todas aquellas personas que me transmitieron sus saberes, especialmente al PhD. Edison Ramiro Vásquez quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este proyecto. Y a mis padres por su amor y apoyo incondicional.

Nohely

Índice de Contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenido	vii
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras	ix
Índice de Anexos	x
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	7
4.1. Agricultura.....	7
4.1.1. Agricultura en el Ecuador	7
4.1.2. Fertilizantes químicos	8
4.1.3. Biofertilizantes	8
4.2. Nitrógeno	9
4.2.1. Ciclo del nitrógeno	9
4.2.2. El nitrógeno en la agricultura	10
4.2.3. Fijación biológica del nitrógeno	11
4.2.4. Mineralización del nitrógeno	12
4.3. Agricultura biogénica, nitrógeno bien expresado y NitrAgua.....	12
4.3.1. Azolla filiculoides	14
4.3.2. Anabaena	15
4.3.3. Fijación simbiótica con bacterias libres	16
4.3.4. Proceso de fijación en azolla	16
4.3.5. Siembra y cosecha de azolla.....	17
4.4. Cultivo de café	17
4.4.1. Generalidades del cultivo de café.....	18
4.4.2. Variedad de café Sarchimor	19
4.4.3. Características de la variedad Sarchimor.....	19
4.4.4. pH en el cultivo de café Sarchimor	20

4.4.5. Requerimientos nutricionales del cultivo de café.....	20
4.4.6. Requerimientos hídricos del café	21
4.5. Calidad del agua de riego.....	22
4.6. Clorofila.....	22
4.7. Producción de café.....	23
5. Metodología.....	24
5.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio	24
5.2. Materiales y equipos.....	24
5.3. Metodología para el primer objetivo	25
5.4. Metodología para el segundo objetivo.....	26
6. Resultados	29
6.1. Descripción del área experimental	29
6.2. Obtención de nitrógeno bien expresado (N_{be}) en condiciones accesibles para los caficultores del cantón Loja	30
6.1.1. Desarrollo del cultivo de Azolla filiculoides.....	31
6.1.2. Análisis químico de NitrAgua.....	32
6.2. Efecto del nitrógeno bien expresado (N_{be}) en la fase inicial del cultivo de café	35
6.2.1. Contenido de clorofila en Azolla filiculoides.....	35
6.2.2. Requerimientos hídricos del cultivo de café	35
6.2.3. Variables dasométricas en el cultivo de café.....	36
7. Discusión.....	42
7.1. Obtención de nitrógeno bien expresado (N_{be}) en condiciones accesibles para los caficultores del cantón Loja	42
7.1.1. Desarrollo del cultivo de Azolla filiculoides.....	42
7.1.2. Contenido de nitrógeno en NitrAgua	43
7.1.3. Contenido de nitrógeno en biomasa de Azolla filiculoides	44
7.1.4. Contenido de pH y CE en NitrAgua.....	44
7.2. Efecto del nitrógeno bien expresado (N_{be}) en el cultivo de café.....	44
7.2.1. Contenido de clorofila	45
7.2.2. Altura de la planta.....	45
7.2.3. Diámetro del tallo.....	46
7.2.4. Número de ramas	46
7.2.5. Número de hojas	46
7.2.6. Número de frutos	46
7.2.7. Peso de la cereza de café	46
8. Conclusiones	48

9. Recomendaciones	49
10. Bibliografía	50
11. Anexos	58

Índice de Tablas:

Tabla 1. Clasificación taxonómica de azolla.....	15
Tabla 2. Condiciones favorables en el desarrollo de la cianobacteria Anabaena.....	16
Tabla 3. Condiciones edáficas y climáticas del café Sarchimor.....	20
Tabla 4. Requerimientos nutricionales del cultivo de café	21
Tabla 5. Requerimientos hídricos de café en función de la altitud, edad y densidad de siembra	21
Tabla 6. Parámetros de calidad de agua de riego	22
Tabla 7. Factores y dosis del experimento.....	28
Tabla 8. Características agronómicas del cultivo de café (septiembre, 2022).....	29
Tabla 9. Variables dasométricas de los alisos (septiembre, 2022).....	30
Tabla 10. Propiedades químicas del suelo (septiembre, 2022)	31
Tabla 11. Propiedades químicas del agua potable (septiembre, 2022).....	31
Tabla 12. Contenido de clorofila en Azolla filiculoides en unidades SPAD.....	35
Tabla 13. Requerimientos hídricos del cultivo de café para una hectárea.....	35

Índice de Figuras:

Figura 1. Ciclo del Nitrógeno	10
Figura 2. Esquema de proteína bien y mal plegada	13
Figura 3. Azolla filiculoides	14
Figura 4. Cianobacteria Anabaena sp. con su morfología filamentosa y dos heterocistos .	17
Figura 5. Ubicación del ensayo, Punzara-Loja-Ecuador.....	24
Figura 6. Diseño del azollario	25
Figura 7. Diseño de bloques al azar para el cultivo de café	27
Figura 8. Unidad experimental.....	28
Figura 9. Crecimiento de Azolla filiculoides	32
Figura 10. Producción de Azolla filiculoides	32
Figura 11. Contenido de nitrógeno en NitrAgua (ppm).....	33
Figura 12. pH de NitrAgua	33
Figura 13. Conductividad eléctrica en NitrAgua.....	34
Figura 14. Altura, diámetro y longitud de raíz de Azolla filiculoides.....	34

Figura 15.	Modelo de regresión lineal del incremento de altura de las plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)	36
Figura 16.	Incremento de altura en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)....	37
Figura 17.	Modelo de regresión lineal del incremento de diámetro en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero 2023)	37
Figura 18.	Incremento del diámetro en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)	38
Figura 19.	Modelo de regresión lineal del incremento del número de ramas en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)	38
Figura 20.	Incremento del número de ramas en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero 2023).....	39
Figura 21.	Modelo de regresión lineal del incremento del número de hojas en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)	39
Figura 22.	Incremento del número de hojas en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023).....	40
Figura 23.	Modelo de regresión lineal del incremento del número de frutos por planta de café (septiembre, 2022 a febrero 2023)	40
Figura 24.	Incremento del número de frutos por planta de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023).....	41
Figura 25.	Peso del fruto en fresco por planta de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)	41

Índice de Anexos:

Anexo 1.	Construcción de azollarios.....	58
Anexo 2.	Siembra y monitoreo de Azolla filiculoides	58
Anexo 3.	Vista panorámica del área experimental, “La Argelia”, Loja (2023).....	58
Anexo 4.	Aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.)	59
Anexo 5.	Variables evaluadas en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	59
Anexo 6.	Evolución del cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	59
Anexo 7.	Socialización de resultados en el cantón Vinces, provincia Los Ríos	60
Anexo 8.	Socialización de resultados en La Quinta Experimental “La Argelia”	60
Anexo 9.	Certificación de traducción Abstract	61

1. Título

**Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis
Azolla - Anabaena en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en “La Argelia” del cantón
Loja**

2. Resumen

En la actualidad debido al incremento de contaminación que existe por el uso de fertilizantes químicos y la degradación continua de los sistemas productivos se requiere de la utilización de alternativas amigables con el ambiente; *azolla* es un helecho acuático capaz de fijar nitrógeno del aire en simbiosis con la cianobacteria anabaena; además, constituye un valioso biofertilizante para la producción de cultivos. Con el objetivo de determinar el crecimiento del helecho acuático, a través de la medición de su biomasa, que posibilite el conocimiento de las potencialidades de adaptación y producción de la misma; se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas y cinco tratamientos (testigo, Fertilizante convencional (Urea), NitrAgua-Foliar, NitrAgua-Riego y biomasa de *azolla*). *Azolla* duplica su biomasa de 3 a 4 días, con rendimientos de $99 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, contenido de nitrógeno de 0,21 % en base húmeda y 3,12 % en base seca, nitrógeno disponible de $7,80 \text{ kg ha}^{-1}$; a los 21 días se obtuvo 160 ppm en NitrAgua; se recopilaron datos de incremento de altura por planta de café (19,3 cm), diámetro de tallo (3,2 mm), número de ramas (11), número de hojas (19), número de frutos (72), peso de la cereza de café (66 g), valores registrados a los 30, 60, 90, 120 y 150 días. Los mayores resultados se obtuvieron con la aplicación de biomasa de *azolla* en los diferentes parámetros evaluados siendo un fertilizante natural de gran eficacia y por tanto el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) se beneficia del aporte de nitrógeno bien expresado.

Palabras clave: biofertilizantes, nitrógeno, helecho acuático, cianobacteria, NitrAgua, agricultura biogénica.

2.1. Abstract

In the present time, due to the increase in pollution caused by the use of chemical fertilizers and the continuous degradation of productive systems, the use of environmentally friendly alternatives is required. *Azolla* is an aquatic fern capable of fixing nitrogen from the air in symbiosis with the cyanobacterium *Anabaena*. It also constitutes a valuable biofertilizer for crop production. In order to determine the growth of this aquatic fern, through the measurement of its biomass - which makes it possible to know the potential for adaptation and production - a randomized block experimental design with three replicates and five treatments (control, conventional fertilizer (Urea), NitrAgua-Foliar, NitrAgua-Irrigation and *azolla* biomass) was used. *Azolla* doubles its biomass from 3 to 4 days, with yields of 99 t ha⁻¹ year⁻¹, nitrogen content of 0.21% in wet base and 3.12% in dry base, available nitrogen of 7.80 kg ha⁻¹; at 21 days 160 ppm was obtained in NitrAgua; data was collected on the increase in height per coffee plant (19.3 cm), stem diameter (3.2 mm), number of branches (11), number of leaves (19), number of fruits (72), weight of coffee cherry (66 g), and values were recorded at 30, 60, 90, 120 and 150 days. The best results were obtained with the application of *azolla* biomass in the different parameters evaluated; therefore, demonstrating that it is a natural fertilizer of great effectiveness and that the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L.) benefits from the contribution of well-expressed nitrogen.

Keywords: Biofertilizers, nitrogen, aquatic fern, cyanobacteria, NitrAgua, biogenic agriculture.

3. Introducción

Desde hace más de dos siglos, el café se mantiene como uno de los cultivos más populares en el mundo. En este sentido, Wagner (2011) menciona que “el grano de café es considerado como un producto básico que tiene importancia para la economía de numerosos países productores, que en algunos casos, dependen en gran medida de su exportación hacia los países consumidores para obtener divisas” (p. 12).

Es por ello, que la producción de café está concentrada principalmente en América Latina, siendo Brasil el principal productor a nivel mundial, seguido de Vietnam y Colombia. En total, de los 20 principales productores 11 son latinoamericanos, tres asiáticos y seis africanos. Ecuador es el décimo noveno productor mundial de café y el décimo en América Latina (Canet Brenes et al., 2016).

Por tal razón, en el Ecuador el cultivo de café se ha convertido en un producto tradicional que destaca dentro de las exportaciones agrícolas, ha sido de gran importancia económica y social desde el siglo XVIII; aportando divisas al país y beneficios económicos para quienes lo cultivan, esto genera un importante efecto multiplicador dentro de la cadena productiva, especialmente en la comercialización, transformación (industria), y sobre todo, genera oportunidades de empleo a un importante segmento de la población rural (Sánchez et al., 2018).

Actualmente en el país, el café se produce en 20 de las 24 provincias lo cual denota la importancia socioeconómica del sector. La Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE), estima que en la costa se siembra 112 000 ha, en la sierra 62 000 ha, en la región amazónica 55 000 ha y en Galápagos 1 000 ha de cafetales. Esta amplia distribución se presenta porque el Ecuador es uno de los 14 países, entre cerca de 70, que tiene producción mixta, es decir, cultiva las especies comerciales arábica (*Coffea arabica* L.) y robusta (*Coffea canephora*). Los arbustos arábigos producen mejor entre 1 000 y 2 000 msnm, en un clima templado, con suelos fértiles, precipitaciones estacionales y moderadas; la especie robusta, por el contrario, se pueden hallar en altitudes menores a 1 000 msnm, caracterizado por suelos con contenidos bajos de nutrientes, con precipitaciones abundantes y frecuentes, clima cálido y húmedo, lo que beneficia el reciclaje de materia orgánica (Guambi, Soto, et al., 2018).

Por otro lado, en la provincia de Loja los cantones con mayor superficie de café son: Puyango, Quilanga, Sozoranga, Olmedo y Chaguarpamba, cuya producción en su mayoría se destina para la exportación y una menor cantidad se queda para el consumo nacional. Es

importante destacar, al café como uno de los productos agrícolas que durante décadas garantizó la reproducción social de las familias campesinas lojanas, y eventualmente las distintas necesidades de educación, vestimenta, salud y alimentación. A pesar de que los precios fueron impuestos arbitraria o injustamente por comerciantes intermediarios que fungían de acaparadores locales, el café fue por mucho tiempo esa garantía que amparaba la vida en las laderas de la agreste geografía provincial (Espinosa & Edith, 2015).

Así pues, desde la antigüedad se sabe que el uso de abonos orgánicos para el manejo del suelo, permite mejorar las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias, lo cual incrementa la fertilidad del suelo y por ende la productividad de los cultivos (Grageda-Cabrera et al., 2012).

En este contexto, se debe considerar alternativas para la producción de café, entre las que destaca la agricultura biogénica o generador de vida, siendo una alternativa viable para promover el desarrollo agrícola de forma sostenible, disminuyendo el uso de fertilizantes y plaguicidas de síntesis química como la urea (Armenta Bojórquez et al., 2015).

Sin embargo, lo que se busca con el uso de estos biofertilizantes es la producción de nitrógeno, el cual constituye un elemento importante en la química de las plantas y es requerido en gran cantidad, por lo que con frecuencia resulta un factor limitante de su crecimiento. Las plantas no pueden utilizar el abundante nitrógeno del aire (N_2), sino que lo asimilan en la forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+); excepto las leguminosas cuando mantienen simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* que son capaces de alcanzar alrededor de 90 kg N ha^{-1} (Mayz-Figueroa, 2014).

De igual manera, Montaña (2020) señala que las importaciones totales de fertilizantes nitrogenados al país superan los 60 millones de dólares al año. Se estima que solamente el sector arrocerero consume nitrógeno químico expresado como urea en un monto mayor a los seis millones de dólares anuales; además, destaca que Ecuador utiliza 387 mil toneladas de nitrógeno al año, mientras que a nivel mundial se usan 120 millones de toneladas.

Por tal razón, la asociación simbiótica entre el helecho *Azolla sp.* y la cianobacteria filamentosa *Anabaena sp.*, por su alta capacidad fijadora de nitrógeno ha adquirido en los últimos tiempos mucha importancia para la agricultura. Por tanto, Montaña (2010) menciona que ecológicamente la *azolla* es responsable del aumento sustancial de este elemento en el ambiente debido a que durante su vida fija nitrógeno.

Al mismo tiempo, en el Ecuador se busca incrementar el uso de abonos y fertilizantes orgánicos, ya que estos dan una mejora al cultivo, reduciendo los niveles de químicos y protegiendo el suelo. Esta técnica se ha vuelto esencial debido a la alta demanda de alimentos sanos y con bajo porcentaje de químicos para que puedan ser consumidos sin ningún tipo de problema por el ser humano (Alarcón et al., 2015).

Por consiguiente, se considera importante realizar una investigación más detallada de este simbiote, es decir el estudio de sus características morfológicas, fisiológicas y de análisis fitoquímicos permitirán conocer a la sociedad que esta microalga podría ser cultivada y conservada para mantener cultivos de gran importancia como lo es el café y así evitar el uso de agentes químicos que por su naturaleza en muchas ocasiones traen consigo graves consecuencias que pueden ser evitadas mediante el uso y aprovechamiento de estos recursos naturales; pues cultivarlos, mantenerlos y propagarlos no implicaría en realidad un alto nivel de gastos por el contrario facilitaría y mejoraría la problemática ambiental que vivimos hoy en día.

Objetivo General

Contribuir a la producción de café con la generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado mediante la simbiosis *Azolla - Anabaena*.

Objetivos Específicos

- Obtener nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los caficultores del cantón Loja.
- Medir el efecto del nitrógeno bien expresado en la fase inicial del cultivo de café.

4. Marco Teórico

4.1. Agricultura

La agricultura es una actividad económica que se encuentra dentro del sector primario, en ella se incluye todo acto realizado por el hombre, tendiente a modificar el ambiente, para hacerlo más apto y así generar una mayor productividad del suelo y obtener alimentos tanto para el consumo directo o para su posterior tratamiento industrial generando valor agregado (López, 2011).

Sobre la evolución de la agricultura, Douwe (2017) refiere:

La agricultura propiamente dicha tuvo su primer auge en la Edad de Piedra, en el período Neolítico, aunque sus inicios retroceden a la prehistoria, desarrollada de manera independiente por varias culturas. Los hombres que hasta ese momento en forma nómada, se apoyaron en una economía basada simplemente en la caza, la pesca y la recolección, comenzaron a trabajar la tierra, dando nacimiento a la agricultura y obteniendo sus primeros cultivos como el trigo y la cebada, e incorporando a la ganadería como otra actividad fundamental para el sustento de la vida en sociedad (p.17).

La agricultura llevada a cabo en forma indiscriminada e irresponsable puede tener un impacto negativo en el ambiente. En las últimas décadas, se ha notado un crecimiento preocupante en la producción intensiva a nivel industrial y en la utilización de diferentes químicos y fertilizantes que alteran los procesos naturales de crecimiento de los cultivos y su impacto en la salud de los consumidores (López, 2011).

4.1.1. Agricultura en el Ecuador

Villacrés et al. (2017) afirman, desde la creación de la República del Ecuador en 1830, la agricultura ha sido uno de los impulsores productivos que permite el aprovechamiento de la riqueza de los suelos y, en opinión de Houtart (2018), es una de las principales fuentes generadoras de empleo e ingresos para el sector rural, debido a que el 30 % de la población se dedica a actividades agrícolas; además, es un sector económico fundamental para el país ya que la población vive y se alimenta de la agricultura.

La agricultura es uno de los ejes principales en los que se desenvuelve la economía del país. El reporte de productividad agrícola del Ecuador indica que esta actividad aporta un promedio de 8,5 % al producto interno bruto (FAO, 2022). Durante 2021 los cultivos agrícolas con mayor producción en Ecuador fueron: banano, cacao, café y caña de azúcar. Las

provincias más representativas en el cultivo y producción de banano son: Los Ríos con el 41,4 %, Guayas con 26 % y El Oro con 24,6 %, lo que representa el 92 % del total de la producción, siendo el 87 % destinado a la exportación, el 1,1% para el consumo intermedio y el 11,9 % para el consumo final; a diferencia del cacao con el 88,8 % para exportación, 10,8 % consumo intermedio y apenas el 0,4 % para el consumo final (Calle, 2022).

Según la Superintendencia de Compañías, en el año 2021 con un total de 28 empresas se dedicaron al cultivo de café, el 25 % de estas sociedades se ubicaron en la provincia de Guayas, Pichincha el 18 %, Manabí y Galápagos aportaron con el 11 % cada una y el restante 36 % se distribuyó en Azuay, El Oro, Los Ríos, Imbabura, Napo, Santa Elena, Loja y Carchi. Este sector generó 180 empleos, de los cuales el 86,7 % corresponde a las pequeñas y microempresas. Y finalmente de acuerdo a las tablas de oferta elaboradas por el Banco Central del Ecuador (BCE) en el año 2021, el 69,3 % de la oferta total de azúcar de caña se destina a consumo final de los hogares, mientras que el 30,4 % se utiliza como consumo intermedio y el 0,3 % restante a la exportación (Calle, 2022).

4.1.2. Fertilizantes químicos

La Corporación para el Desarrollo de la Producción y el Medio Ambiente Laboral (Ginés & Simón, 2014) manifiestan que:

Los fertilizantes químicos son sustancias naturales o sintéticas de origen inorgánico, es decir, no son de origen animal o vegetal. Los naturales se encuentran en yacimientos como el salitre (nitrato de sodio), la roca fosfórica y el cloruro de potasio. Los fertilizantes sintéticos son aquellos elaborados artificialmente y están compuestos principalmente por sales minerales de nitrógeno, fósforo y potasio; cuando contienen uno solo de estos elementos se les conoce como simples y cuando contienen más de uno se les conoce como compuestos (p. 15).

La problemática de los fertilizantes químicos es diversa, si bien es cierto contribuyen de manera significativa a incrementar los rendimientos de los cultivos; también, representan un problema ambiental al ser utilizados de forma excesiva y sin ningún tipo de control; adicionalmente, se encuentra el factor económico que genera un alto costo de producción en cultivos básicos y esto afecta principalmente a productores de autoconsumo (BioEco, 2018).

4.1.3. Biofertilizantes

Es un fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico

natural. Existe una corriente de opinión que considera exclusivamente como biofertilizantes a los productos elaborados que contienen consorcios de bacterias y hongos micorrízicos que pueden aportar nitrógeno y fósforo para la nutrición de las plantas (Rivera, 2016).

Al respecto, Morales (2007) menciona, "el uso a gran escala de los biofertilizantes en cualquier sistema de producción agrícola traería grandes beneficios sin ejercer un impacto perjudicial sobre el ambiente"; sin embargo, resulta preocupante que en Ecuador la tecnología relativamente simple de la biofertilización no ha sido transferida a la mayoría de los productores, lo que reduciría el 10 % del total de costo de la fertilización química (p. 7).

Son varios los tipos de abonos que se puede utilizar en la producción orgánica: algunos ejemplos son el compost, bocashi, biofermentos y abonos verdes, en todos la acción de los microorganismos es indispensable para su preparación y funcionamiento (Navarro, 2010).

4.2. Nitrógeno

Cárdenas et al. (2014) señalan, "el nitrógeno es un elemento químico indispensable, fundamental para la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares; además, es esencial para el crecimiento de todos los organismos" (p. 14); por lo tanto, con base a los argumentos expresados por Watzka (2016), el nitrógeno en su forma molecular es el mayor componente, que constituye aproximadamente el 78 % de la atmósfera terrestre pero no puede ser utilizado directamente por las plantas.

4.2.1. Ciclo del nitrógeno

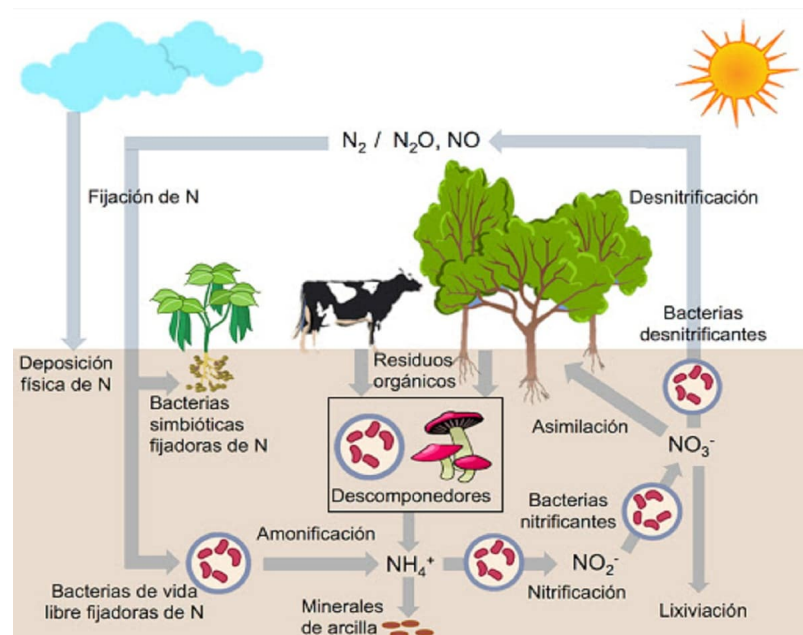
Los átomos de nitrógeno están en constante movimiento, formando un ciclo cerrado denominado ciclo del nitrógeno. La inestabilidad del elemento dificulta su combinación con otros, siendo difícil de asimilar por los organismos, los cuales lo toman directamente del aire, originando compuestos capaces de incorporarse a las plantas; dando inicio al ciclo, luego lo continúan los animales herbívoros que sintetizan las proteínas absorbidas; posteriormente, mediante los excrementos o la descomposición de los cadáveres, el nitrógeno nuevamente se incorpora al suelo. Los animales forman iones amonio (amoníaco, urea o ácido úrico) que tienen alta toxicidad y deben ser eliminados. El ciclo llega a su fin cuando intervienen bacterias desnitrificantes, las cuales devuelven gran cantidad de nitrógeno inorgánico del suelo hacia la atmósfera (Cerón, 2012).

Coyne (2010) declara, mediante las entradas y salidas de nitrógeno en el ciclo de la naturaleza, el porcentaje total disponible para las plantas es menor al 10 %. Las raíces lo

toman del suelo principalmente como iones disueltos de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) que se caracteriza por su fácil movilidad y pérdida por lixiviación.

Figura 1.

Ciclo del Nitrógeno



Fuente: Adoptado de Ciclo de Nitrógeno, por Fiert, 2017

4.2.2. El nitrógeno en la agricultura

En la agricultura, el nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetal y la alta productividad de los cultivos; la absorción se produce durante el desarrollo foliar y la floración (Domínguez, 2013). El crecimiento de todas las plantas está determinado de forma directa o indirecta por la disponibilidad de nutrientes minerales, en especial del nitrógeno; por ello, en suelos carentes de este elemento los rendimientos de los cultivos son bajos. Una planta deficiente de este macroelemento presenta clorosis (coloración amarillenta en tallos y hojas), falta de desarrollo y debilidad. Por otro lado, cuando está disponible en la planta sus hojas y tallos crecen rápidamente (García et al., 2016).

Montaño (2010) señala que “en Ecuador el Nitrógeno forma parte del 3 % de la agricultura, ganadería, flora, fauna y la población del país, articulando estos sectores a los recursos naturales, al medioambiente y la salud”. Además, Yara (2018) explica el nitrógeno como uno de los nutrientes que más limita la producción, debido a que junto con el potasio son los elementos de mayor nivel de demanda por unidad de materia seca de los cultivos. En el fruto de café (almendra + pulpa + pergamino + mucílago) la concentración de N es del 30,94 %, y hasta los 650 días después de siembra la absorción varía de 8,6 a 19 g planta⁻¹.

La eficiencia en el uso de fertilizantes es de al menos 50 %, debido a factores como lixiviación, desnitrificación, pérdidas por erosión y escorrentía. En café se ha estimado que la pérdida de N, solo por volatilización después de aplicación de urea, varía de 30 a 35 %, mientras que por percolación se pierde de 23 a 42 % (Payan et al., 2012).

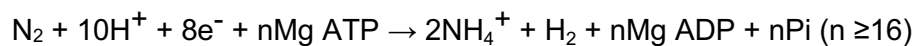
El nitrógeno amoniacal no se acumula en el suelo, ya que las condiciones convenientes de temperatura y humedad para que la planta crezca también son ideales para la conversión de N_2 a NH_4 y N_2 a NO_3 . Las concentraciones de nitrógeno amoniacal de 2 a 10 ppm son típicas. Niveles de N a NH_4 arriba de 10 ppm en el suelo pueden suceder en suelos fríos ó extremadamente húmedos, o si el suelo contiene residuos de fertilizante (Domínguez, 2013).

4.2.3. Fijación biológica del nitrógeno

Ortega et al. (2014) explican, “el Nitrógeno es un elemento necesario en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo así una molécula esencial para el crecimiento de todos los organismos” (p. 12).

Bianco (2020) refiere, el proceso a través del cual los microorganismos reducen el nitrógeno hasta una forma utilizable es conocido como fijación biológica de nitrógeno y no sólo permite usar el nitrógeno atmosférico sino también revertir o reducir la degradación del suelo.

La FBN es mediada por el complejo nitrogenasa, presente en los organismos fijadores, el cual cataliza la conversión del N_2 a NH_4^+ bajo la reacción general:



Esta requiere de grandes cantidades de poder reductor y energía (ATP - Adenosín Trifosfato), y la reducción obligada de protones con un mínimo de un mol de H_2 producido por mol de N_2 reducido. La actividad del complejo enzimático puede ser reducida por el oxígeno, de tal manera que los organismos fijadores poseen mecanismos que les permiten mantener bajas concentraciones de éste a fin de mantener la enzima funcionando (Eguiarte, 2021).

Entre los microorganismos involucrados en la FBN se encuentran: bacterias, algas verde-azules (cianobacterias) y actinomicetos, los cuales pueden fijar el nitrógeno viviendo libremente o formando asociaciones (Hakspiel & Martínez, 2014).

4.2.4. Mineralización del nitrógeno

El proceso de mineralización del nitrógeno es la conversión del nitrógeno orgánico a formas minerales (amonio y nitrato) aprovechables por las plantas y los microorganismos, del cual se distinguen dos etapas: la amonificación y la nitrificación (Rodríguez 2002). La amonificación es la primera etapa en la mineralización del nitrógeno orgánico, en la cual la descomposición enzimática de aminas (llamada proteólisis o aminización) genera amonio (NH_4^+) (Celaya et al., 2011).

La nitrificación la realiza un conjunto reducido de especies aerobias, bacterias muy sensibles a los agentes externos y comprende dos fases: la nitritación y la nitratación. En la nitritación el amoníaco (NH_3) se oxida a nitrito (NO_2) por nitrobacterias; en la nitratación se oxida el NO_2 a dióxido de nitrógeno (NO_3) por las nitrobacterias (Delgado et al., 2011).

Tanto la nitrificación como la mineralización del nitrógeno orgánico en el suelo, se ven afectadas por la humedad, la temperatura y factores químicos entre los que se encuentra el pH, las sales y la presencia de compuestos inorgánicos y organismos tóxicos; como también, por la relación C/N, presencia de sustancias aleloquímicas de las plantas y el aporte de nutrientes esenciales (Pérez Ríos, 2012). La relación C/N se considera como la información más sencilla sobre la capacidad de mineralización de un material orgánico, ya que los contenidos de carbono y nitrógeno, son esenciales para la vida y la reproducción de los microorganismos (Solórzano et al., 2019).

4.3. Agricultura biogénica, nitrógeno bien expresado y NitrAgua

Las proteínas son moléculas grandes y complejas formadas por una o más cadenas de aminoácidos que se pliegan generando una estructura tridimensional (3D), en los vegetales intervienen en diferentes funciones: enzimáticas, de transportación, catálisis de reacciones bioquímicas, procesos de fotosíntesis, respiración, síntesis de azúcares almidones y otros compuestos (Works, 2019).

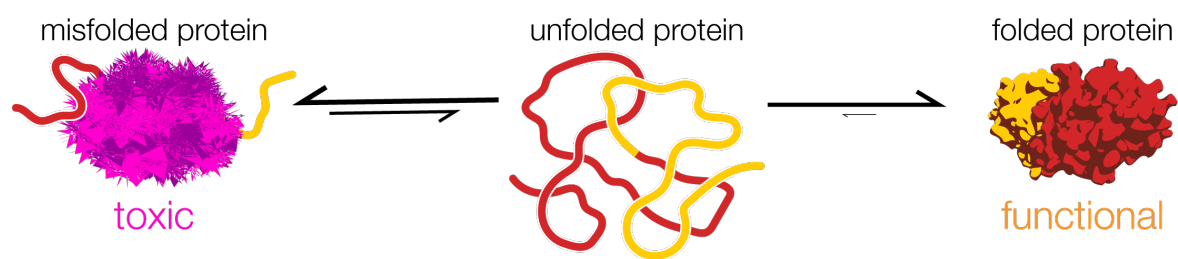
Todas las proteínas poseen la misma estructura química; a pesar de eso, son las secuencias de aminoácidos a partir de la cual están hechas, lo que diferencia una de la otra, tales secuencias se conocen como estructuras de las proteínas. El plegamiento de una proteína surge cuando alcanza la estructura tridimensional, para esto los aminoácidos se dividen en cuatro estructuras, la primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. Estas estructuras son las que determinará la función que realizará más tarde una proteína; es decir, el número de aminoácidos presentes y el orden en que están enlazados y la forma en que se

pliega las cadenas de aminoácidos influyen en la formación de la estructura tridimensional de las mismas y posterior eficiencia en sus respectivas funciones (Montaño, 2015).

El mal plegamiento de una proteína (Figura 2) ocurre cuando la cadena de aminoácidos no tiene una forma definida, no es estable o pierde un aminoácido, fenómeno más conocido como desnaturalización (Gil, 2016). En algunos casos el mal plegamiento de las proteínas está asociado a enfermedades como el Alzheimer, diabetes, el Parkinson, fibrosis quística y el enfisema pulmonar familiar (Montaño, 2015).

Figura 2.

Esquema de proteína bien y mal plegada



Fuente: Tomado de Proteins Fold, 2016

Frente a lo expuesto y a las tradicionales formas de agricultura, para Montaño (2020) surge la “**Agricultura biogénica**”, como una de las funciones originales de la naturaleza, al producir nitrógeno a partir de formas de vida; este modelo no solo reduce el CO₂, si no que aumenta la cantidad de N mediante un proceso natural y biológico a través de simbiosis *Azolla - Anabaena*. Por la forma biológica de generación de nitrógeno se denomina “**nitrógeno bien expresado**” (N_{be}) y por el alto contenido de nitrógeno presente en el agua, se la identifica como “**NitrAgua**” (Montaño, 2015).

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

4.3.1. *Azolla filiculoides*

Azolla filiculoides es un helecho acuático (Figura 3) que alberga en las cavidades de sus hojas a la bacteria *Anabaena*. Esta bacteria cumple con la función del fijar del aire sobre los 1 200 kg de nitrógeno por hectárea por año, en condiciones óptimas de temperatura, luz y composición química del suelo y agua; además, tiene un elevado potencial como abono verde en diferentes tipos de cultivo y de un sinnúmero de aplicaciones en los sectores agrícola, pecuario y acuícola (Aldás et al., 2016).

Figura 3.

Azolla filiculoides



Fuente: La autora

Azolla filiculoides tiene una relación simbiótica hereditaria con *Anabaena*, una cianobacteria fijadora de nitrógeno, también denominada diazotrófica, siendo la única especie conocida que mantiene una simbiosis a lo largo de todas las fases del ciclo de vida del helecho (Aldás et al., 2016).

Hill (2014) en investigación realizada en California señala, *Azolla filiculoides* contiene alrededor de 4,5 % de nitrógeno, 0,5 % de fósforo, 1,2 % de potasio, 0,5 % de carbono, 0,5 % de magnesio y 0,1 % de hierro asimilable, lo que favorece la calidad del agua y suelo. La fijación de nitrógeno que realiza la simbiosis, varía según la especie de *azolla*; también, influyen los factores externos del ambiente sobre la cantidad de biomasa que se podrá producir.

Origen y clasificación taxonómica de *azolla*: La palabra *azolla*, tiene origen griego, proviene de los términos *azo* y *olloyo*, (muerta por sequía); se divide en dos subgéneros: *azolla* y *Rhizosperma* (Peters & Meeks, 2018). La clasificación taxonómica según Huayamave Maestre & Layana Bernal (2018), se expone en la Tabla 1.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de azolla

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

Fuente: Huayamave Maestre & Layana Bernal (2018).

Simbiosis en *azolla* - *anabaena*: La relación simbiótica es de tipo mutualista (ambas especies se benefician de la simbiosis). Los beneficios más evidentes entre las partes consisten en suministrar *azolla* a los compuestos nitrogenados producidos por la *anabaena* a partir del nitrógeno atmosférico y en agregar a la cianobacteria compuestos carbonados provenientes de la fotosíntesis del helecho (Herrera, 2018).

Morfología de *azolla*: En general, *azolla* presenta hojas de forma triangular o poligonal, flotan en el agua en forma de alfombra de coloraciones verde oscuro a rojizo, y diámetro de 1 a 2,5 cm, siempre y cuando la especie sea pequeña (Portela, 2021).

4.3.2. *Anabaena*

Es un simbionte extracelular que aporta el nitrógeno necesario al helecho *azolla* y este a su vez recibe otros nutrientes. Su capacidad fijadora es de 1,8 kg ha⁻¹ día⁻¹ de nitrógeno y se utiliza generalmente en cultivos de arroz (Portado, 2022).

Origen y clasificación taxonómica de *anabaena*: Las cianobacterias son organismos aeróbicos que existen desde aproximadamente 2 700 millones de años y son capaces de capturar la energía solar y usarla en la producción de compuestos orgánicos. Han colonizado una variedad de ecosistemas, la mayor parte de especies viven y se reproducen en sistemas acuáticos, semi-acuáticos y terrestres. Algunas especies funcionan como simbiontes un caso claro se evidencia en el helecho *azolla*, que se asocia a la cianobacteria *anabaena*. Las cianobacterias han sido utilizadas por los seres humanos por centenares de años principalmente como alimento y fertilizante (Gómez, 2019).

Es un género de cianobacterias fotosintéticas y son conocidas como algas verde-azules por su coloración; además, son capaces de fijar nitrógeno atmosférico,

presentar clorofila y hacer fotosíntesis (Aguilar, 2017). Según Loreto et al. (2013) las condiciones que favorecen el desarrollo de la *Anabaena* se describen en la Tabla 2.

Tabla 2.

Condiciones favorables en el desarrollo de la cianobacteria Anabaena

Parámetro	Descripción
Temperatura	13 °C a 20 °C
Intensidad de luz	Menor que el de las algas
Absorción de nutrientes	En el día mayor tasa de absorción de nitrógeno y fósforo
Rango de pH	5,5 – 8
Método más efectivo para la aireación	Agitación
Salinidades	15 g l ⁻¹

Fuente: Coello (2008)

4.3.3. Fijación simbiótica con bacterias libres

Las bacterias libres son una fuente de nitrógeno para los cultivos. Por ejemplo, los productores de arroz añaden helechos acuáticos (*azolla*) a sus campos como abono verde, y sirve de hábitat a *Anabaena*, famosa por sus propiedades de fijación (Fernández, 2012).

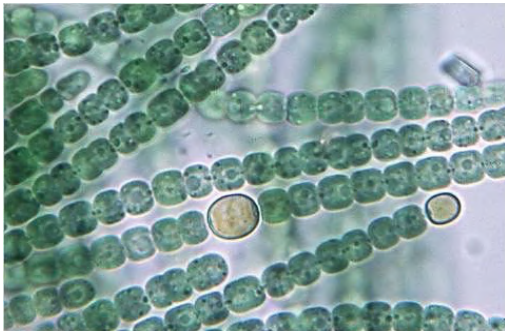
Martínez (2019) menciona, la fijación de nitrógeno por cianobacterias sucede, ya que pueden vivir de forma simbiótica o libre en suelos húmedos y masas acuáticas de interior. Este tipo reúne propiedades únicas: están clasificadas como bacterias, aunque se parecen a las algas. De hecho, contienen clorofila,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

4.3.4. Proceso de fijación en *azolla*

En las cianobacterias, las condiciones anaeróbicas se crean en unas células especializadas llamadas heterocistos (Figura 4), los mismos que son células redondas y de gruesas paredes celulares que se diferencian cuando las bacterias filamentosas se ven privadas de NH_4^+ ; además, son una adaptación para la fijación de nitrógeno, ya que están extendidos en cianobacterias filamentosas aeróbicas (Elvira, 2014).

Figura 4.

Cianobacteria Anabaena sp. con su morfología filamentosa y dos heterocistos



Fuente: Adoptado de Sistema *azolla-anabaena*, por Gamboa, 2011

Las cianobacterias que no tienen heterocistos pueden llevar a cabo la fijación de nitrógeno sólo en condiciones anaeróbicas como las que existen en campos inundados. En países asiáticos las cianobacterias fijadoras con y sin heterocistos, es el principal modo de mantener un aporte de nitrógeno en el suelo de campos de arroz; además, *azolla* mantiene una asociación simbiótica con la cianobacteria anabaena y puede fijar entre 30 - 60 kg nitrógeno atmosférico por hectárea en 30 días. También, el helecho acuático contiene de 3 - 6 % N en peso seco y podría duplicar la biomasa cada 3 - 5 días bajo condiciones favorables (Navarro, 2020).

4.3.5. Siembra y cosecha de azolla

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

4.4. Cultivo de café

El café (*coffea arabica* L.), se cultiva en varios países del mundo, tuvo origen en Etiopía. En Ecuador se introdujo en 1830 en la provincia de Manabí y posteriormente, se cultiva en otras provincias (Zuñiga, 2018). Cien años después, llegó el café Robusta al país. Lo hizo concretamente en el año 1951, cuando se inició su producción en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, en Quevedo, provincia de Los Ríos. Las privilegiadas aptitudes agroecológicas de este país han facilitado desde el inicio, el cultivo de café en Ecuador, siendo actualmente uno de los pocos países del mundo donde es posible cultivar este producto en prácticamente toda su geografía. Tungurahua es oficialmente el único territorio donde no se cultiva café, aunque se reportan algunas pequeñas cosechas en el cantón Baños (AgroEcuador, 2019).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador realizó en 1983 el Primer Censo Cafetero, liderado por el Programa Nacional del Café. En este recuento, se concluyó que había una superficie de 426 965 ha aptas para el cultivo en el país, de las cuales 346 971 ha correspondían a cafetales en producción (81 %). Según el mismo registro, en ese momento había 105 000 familias de pequeños caficultores que dependían directamente de la producción del café. En la actualidad, aunque no existen estadísticas actualizadas, el número de familias productoras ha descendido drásticamente. Muchas han cambiado de cultivo, sustituyendo los cafetales por pastizales, cacao o plantaciones forestales y frutales. Esta disminución de caficultores ha ido acompañada de un significativo descenso de las áreas cultivadas de café, las cuales, según el II Censo Agropecuario, pasaron de 346 971 ha en 1983, 260 528 ha en 2002, y alrededor de 195 000 ha en 2019 (MAGAP, 2020).

Las provincias donde más se cultiva el café son: Manabí, Loja, El Oro, parte de la provincia de Orellana y Sucumbíos. En cuanto a la provincia de Loja, los suelos son aptos para el cultivo que van de 800 a 2 000 msnm, las temperaturas promedio anual oscila entre 17 a 24 °C, las precipitaciones se concentran en pocos meses y están en un rango similar entre la mayoría de los cantones a excepción de Sozoranga y Catamayo con precipitaciones menores a 1 000 mm anuales; sin embargo, como consecuencia de la variedad de temperaturas, de los diversos niveles de pluviosidad y de sus características orográficas, esta provincia presenta una serie de microclimas que favorecen el desarrollo de las plantas de café obteniendo un rendimiento de 0,24 t ha⁻¹ (Estrella, 2019).

4.4.1. Generalidades del cultivo de café

Según Alvarado (2005), el vocablo café se deriva del árabe “*kahwah*” (cauá), luego del vocablo turco “*kahmeh*” (cavé), con distintas acepciones, según sus idiomas, pero conservando su raíz. Es un arbusto verde originario de Etiopía que sin duda hoy es uno de los cultivos más conocidos del mundo.

Clasificación y taxonomía: El café pertenece al género *Coffea* con aproximadamente 100 especies. No obstante, únicamente tres de estas se mencionan como cultivadas comercialmente, destacándose las dos primeras en el siguiente orden: *Coffea arabica* L., *C. Canephora* Pierrees - Froehner y por último la *C. Libérica* Bull ex - Hiern.

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Sub-División: Angiospermae

- Clase: Magnoliata
- Sub-Clase: Asteridae
- Orden: Rubiales
- Familia: Rubiaceae
- Género: Coffea
- Especie(s): arábica, canéfora, ibérica
- Nombre Científico: Coffea arábica (Méndez, 2018).

4.4.2. Variedad de café Sarchimor

Los sarchimores, se originaron del cruce del Híbrido de Timor CIFC 832/2 (resistente a roya) y plantas de la variedad Villa Sarchí. De este cruce derivaron progenies que originaron variedades con características estables en diferentes países. Se llama simplemente Sarchimor cuando se desconoce su procedencia. Son plantas de tamaño bajo, brote verde o bronce, vigor y producción alta, bien adaptado en zonas de baja y media altitud. Dentro de estos materiales hay variedades prometedoras por su adaptación agronómica, tamaño de grano y calidad de taza, en algunos casos superiores a los Catimores (Pérez, 2019).

A Ecuador se introdujeron en 1985, las líneas de Sarchimor C-1669 y Sarchimor C-4260, seleccionadas en el Instituto Agronómico de Campinas (Brasil). El híbrido de Sarchimor C-1669 tiene una amplia adaptabilidad, principalmente en las zonas secas de la provincia de Manabí, El Oro y Loja; se caracteriza por su alta productividad, reducido índice de frutos vanos y resistencia a la roya anaranjada (Alberto & Ruiz, 2019).

4.4.3. Características de la variedad Sarchimor

Alta Productividad: Vélez & Inurreta (2016), refieren que algunas de las principales características que tiene la variedad son: alto rendimiento, porte bajo, resistencia a la roya de café y buena calidad de taza.

Calidad Organoléptica: Guambi et al. (2018) mencionan, los principales factores que determinan la calidad del café de esta variedad son: altitud, fertilidad del suelo, cantidad y distribución de la precipitación, temperatura, manejo agronómico, cosecha y post cosecha.

Clima y Suelo: Para Peña (2019), el cafeto no parece tener exigencias definidas en cuanto a la naturaleza de los suelos. La textura y profundidad del suelo si tienen una gran importancia; el cafeto posee un sistema radicular que alcanza una gran extensión; en los suelos compactos o poco profundos, el tallo queda corto y las raíces

no se extienden más que en los horizontes superficiales, en un espesor que raramente sobrepasa los 0,30 m.

Clorofila de las plantas: Marín (2014) indica, medir la clorofila es importante porque permite comprender su nivel nutricional; el instrumento que se utiliza es el SPAD-502 Plus de Konica Minolta.

Ramírez (2018), refiere las condiciones edáficas para el cultivo de café variedad Sarchimor (Tabla 3).

Tabla 3.

Condiciones edáficas y climáticas del café Sarchimor

Condiciones	Rangos
Textura	Franco o franco arcilloso
pH	5,5 – 6,5
Temperatura	23 a 25 °C
Humedad relativa	70 a 95 %
Precipitación	2 000 a 3 500 mm al año
Luminosidad	1 344 horas luz al año

Fuente: Ramírez (2018)

4.4.4. pH en el cultivo de café Sarchimor

El pH expresa la concentración de los iones libres de hidrógeno en la solución del suelo, es determinante para el desarrollo del cafetal debido a su influencia en la solubilidad y absorción de los nutrientes en el suelo; el pH óptimo varía de 5,5 a 6,5, cuando es bajo puede deprimir el crecimiento por uno o varios factores, razón por la cual, los suelos ácidos afectan de diversas maneras el crecimiento de la planta (Gonzalez & Samuel, 2014).

Como consecuencia de elevados niveles de acidez, la concentración de Al, Fe y Mn podrían llegar a niveles tóxicos, principalmente altas concentraciones de Al son sin duda el factor que más limita el crecimiento de las plantas en suelos con pH inferiores a 5,5. Además, de deficiencias de Ca y Mg, se reduce la disponibilidad de P y Mo; y favorece la lixiviación del K (Gonzalez & Samuel, 2014).

4.4.5. Requerimientos nutricionales del cultivo de café

Villamagua et al. (2021) expresa, en todas las fases el cultivo necesita extraer del suelo una cierta cantidad de requerimientos nutricionales para su eficaz desarrollo vegetativo (Tabla 4).

Tabla 4.*Requerimientos nutricionales del cultivo de café*

N	P	K	B	Mg	S	Zn
			kg ha ⁻¹			
200	60	41	5	119	146	3
			g planta ⁻¹			
50	15	10,3	1,3	30	36,5	0,8

Fuente: Villamagua et al 2021.

4.4.6. Requerimientos hídricos del café

Hernández (2018), menciona que los requerimiento hídricos hacen referencia a la cantidad de agua que emplea el cultivo durante su ciclo de producción o por etapas de su ciclo productivo; que en términos precisos, es la cantidad de agua que el cultivo mueve desde el suelo hasta la atmósfera, en el proceso conocido como evapotranspiración del cultivo (ETc).

Los requerimientos hídricos son variables y dependen de la demanda atmosférica, de la densidad de siembra y de la edad de la plantación; de esta manera, los requerimientos hídricos del cultivo de café oscilan entre 76 mm mes⁻¹ a una altitud de 1800 msnm, en un cafetal menor de un año y a una densidad de 2 500 plantas ha⁻¹, hasta 114 mm mes⁻¹ en un cafetal mayor de 3 años a 1 000 msnm de altitud y con una densidad de 10 000 plantas ha⁻¹ como se observa en la Tabla 5 (Peña & Silva, 2017).

Tabla 5.*Requerimientos hídricos de café en función de la altitud, edad y densidad de siembra*

Altitud metros	Edad años	Densidad plantas ha⁻¹	Requerimientos hídricos			
			mm día⁻¹	mm mes⁻¹	mm año⁻¹	l día⁻¹ planta⁻¹
1 000	1 a 3	2 500	3,0	89	1 079	12
		5 500	3,4	103	1 253	6
		7 500	3,6	109	1 322	5
		8 500	3,7	111	1 347	4
		10 000	3,8	114	1 385	4
1 400	1 a 3	2 500	2,7	82	996	11
		5 500	3,2	95	1 157	6
		7 500	3,3	100	1 220	4
		8 500	3,4	102	1 246	4
		10 000	3,5	105	1 279	4
1 800	1 a 3	2 500	2,5	76	919	10
		5 500	2,9	88	1 068	5
		7 500	3,1	93	1 126	4
		8 500	3,2	95	1 150	4
		10 000	3,2	97	1 181	3

Fuente: Farfán (2013).

4.5. Calidad del agua de riego

La composición físico-química del agua para riego influye principalmente en el desarrollo de las plantas y deterioro del suelo. De acuerdo con Carabalí et al. (2019), los principales indicadores que afectan la calidad del agua son: conductividad eléctrica (CE) o sales totales, relación de absorción de sodio (RAS), potencial de hidrógeno (pH) y concentración altamente tóxica de elementos (Na^+ , Cl^- , B).

Tabla 6.

Parámetros de calidad de agua de riego

Parámetro	Unidades	Grado de restricción		
		Ninguno	Moderado	Severo
CE	milimhos cm^{-1}	0,7	3,0	>3,0
TDS	mg l^{-1}	<450	2 000	>2 000
RAS	U	<0,3	<9,0	>9,0
Cloruros	meq l^{-1}	<4,0	10	>10
Boro	mg l^{-1}	<0,7	3,0	>3,0
Nitratos	mg l^{-1}	<5,0	30	>30,0
Manganeso	meq l^{-1}	<0,1	1,5	>1,5
Hierro	mg l^{-1}	<0,1	1,5	>1,5
Bicarbonatos	meq l^{-1}	<1,5	8,5	>8,5
pH			6,5 a 8,4	

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

4.6. Clorofila

La clorofila es un pigmento verde encontrado en los cloroplastos (organelas celulares de plantas y algas), presentes en las hojas y otras partes que quedan expuestas al sol, siendo responsables de la absorción de la luz solar en el proceso de la fotosíntesis; también, están presentes en las cianobacterias y en organismos protistas (dinoflagelados, algas rojas) que son autótrofos (producen su propio alimento y sustentan a otros organismos). La concentración de clorofila en las hojas de las plantas se expresa en unidades de concentración por unidad de área de superficie de la hoja: micro moles ($\mu\text{mol m}^{-2}$), miligramos (mg m^{-2}) (Cardoza, 2015).

Una de las maneras para cuantificar las concentraciones de clorofila es usando los SPAD o CLOROFILÓMETROS, que se basan en el principio: parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD, convertida en una señal eléctrica. La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila. La señal es procesada y la absorbancia se cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199 (Hurtado et al., 2017).

4.7. Producción de café

Entre los principales países productores de café a nivel mundial, Brasil destaca con el 30 % de café arábica que exporta a Europa. La producción anual de café en Brasil (arábica y robusta) supera los 3,5 millones de toneladas. La mayor parte del café se cultiva en el sudeste del país y en altitudes no superiores a 1 200 msnm. La producción de arábica se concentra en las regiones de Minas Gerais, Sao Paulo, Bahía, Río de Janeiro, Ceará y Paraná. En Espírito Santo, región con menos tradición cafetera, se cultiva el café robusta (Estrella, 2019).

En Ecuador, la especie arábica representa el 63 % de la producción nacional de café y presenta un rendimiento de 0,22 t ha⁻¹. El café robusta constituye el 37 % del total producido a nivel nacional con una productividad de 0,48 t ha⁻¹; luego de Manabí, la provincia de Loja ocupa el segundo lugar en extensión de cultivo de café, con aproximadamente 30 000 ha de café arábica (Sánchez et al., 2018); actualmente, la mayor parte de la zona cafetalera de la provincia se encuentra en labores de cosecha y postcosecha de café, donde se mantiene una gran expectativa, ya que según datos del MAG, hay un incremento de la productividad promedio de 2,5 a 11 quintales de café por hectárea. Pero más que su extensión, el punto más relevante de la producción cafetalera en Loja, es el sabor y cualidades organolépticas; lo que ha merecido el reconocimiento a nivel nacional. Tan buena es su calidad, que la producción lojana ha sido de las mejores puntuadas en los últimos torneos nacionales de la “Taza dorada”, alcanzando los primeros lugares desde el 2007; Loja (2007), Loja (2011) Palanda (2012), Olmedo (2013), Olmedo (2014), Puyango (2015), Loja (2016), Pallatanga (2017), Pichincha (2018), Pichincha (2019), Sozoranga (2020), Pichincha (2021), y finalmente Quilanga (2022) (COFENAC, 2019).

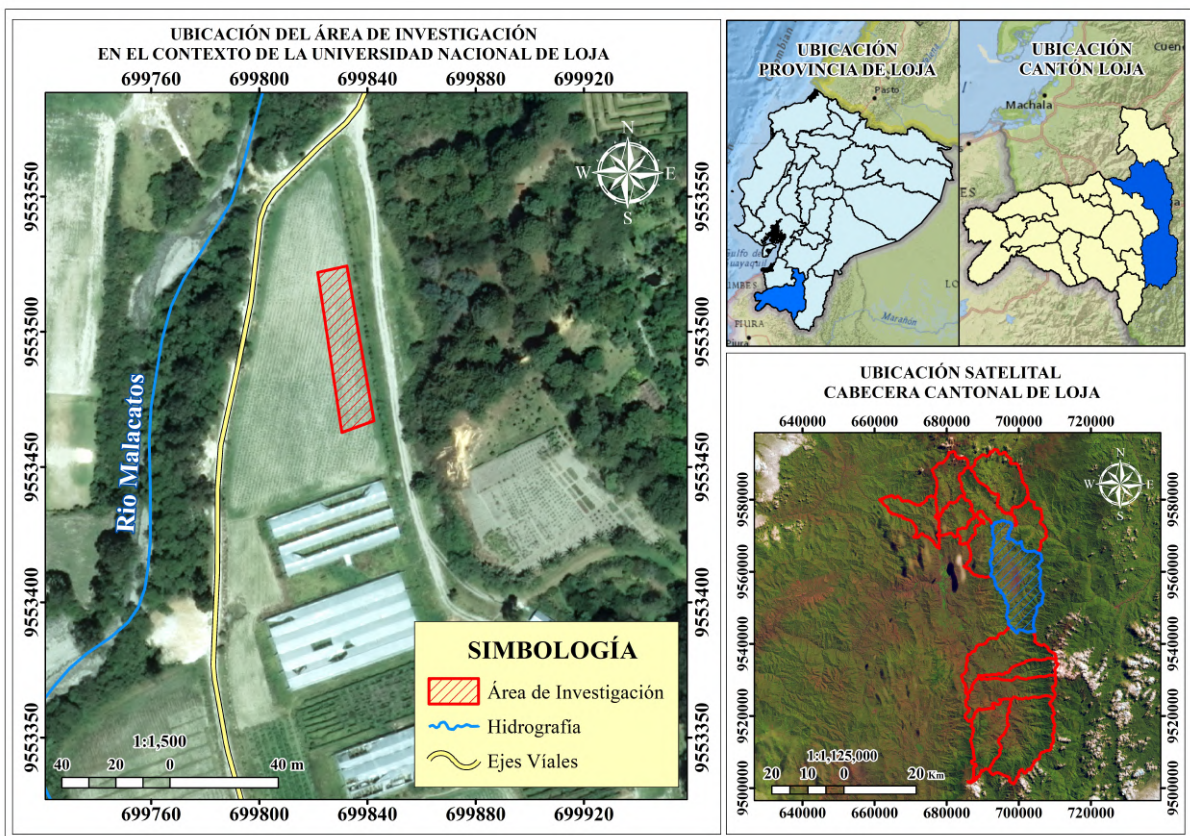
5. Metodología

5.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

El ensayo se realizó en la Quinta Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja; ubicada en la parroquia urbana Punzara del cantón Loja, a una latitud de 04°02'09" Sur y longitud 79°12'00" Oeste (Figura 5); altitud de 2 150 msnm, temperatura media anual de 13 °C, precipitación anual de 1 453 mm año⁻¹ y humedad relativa media de 78 %.

Figura 5.

Ubicación del ensayo, Punzara-Loja-Ecuador



Fuente: Elaboración propia

5.2. Materiales y equipos

Para el desarrollo del ensayo se utilizó semilla de *azolla* drenada durante 24 horas, cámara fotográfica, geomembrana de 200 micras marca HDPE, cinta métrica, agua, suelo, fundas Ziploc, herramientas agrícolas, manguera, conductímetro, potenciómetro, termómetro, flexómetro, rótulos de madera y suelo, libreta de apuntes, computadora, calculadora, material de impresión y suministros.

5.3. Metodología para el primer objetivo

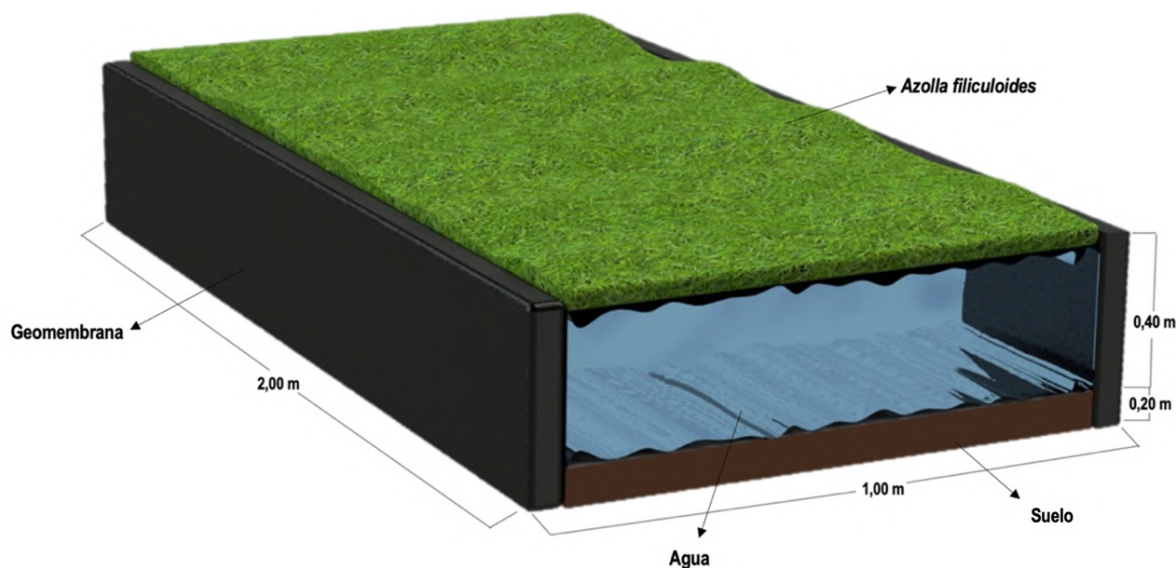
Obtención de nitrógeno bien expresado (N_{be}) en condiciones accesibles para los caficultores del cantón Loja

La metodología se realizó en función a lo expuesto por Montaña (2020) en su investigación titulada *Azolla: Nuevo paradigma* y en base a la cantidad de nitrAgua y biomasa a utilizar; para ello, se llevo a cabo la construcción de dos azollarios de 1,0 m de ancho por 2,0 m de largo y altura de 0,60 m, con una capacidad de 1,20 m³ cada uno.

Además, se impermeabilizó con geomembrana el azollario; posteriormente se colocó 0,20 m de suelo en el fondo, se completó con agua hasta una altura de 0,40 m (Figura 6) y se trasplantó 0,16 m² de *Azolla filiculoides*, equivalente a 133 g de biomasa fresca drenada durante 24 horas.

Figura 6.

Diseño del azollario



Fuente: Elaboración propia

En el azollario se utilizó agua potable de consumo en la ciudad de Loja, se tomó una muestra, la cual se dejó reposar durante 24 horas para que el cloro se evapore naturalmente y se envió al Laboratorio del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) para análisis químico; después, cada siete días a partir de la siembra de *azolla* se tomaron muestras de agua (NitrAgua) y se enviaron al laboratorio.

Después, a los 30 días se tomó una muestra de biomasa de *azolla* cuando ya se encontraba cubierto el 100 % del azollario y se envió al laboratorio para el análisis químico que determinó la cantidad de nitrógeno que contiene, tanto en base seca como húmeda; la

medición de la superficie (m^2) del crecimiento del helecho acuático se realizó cada dos días, hasta cubrir el total de la misma (Montaño, 2020).

Paralelamente a estas actividades, se realizó el levantamiento de información sobre la situación actual del cultivo de café en primera instancia y se registraron los datos de los parámetros como: altura de la planta, diámetro del tallo, número de ramas, número de hojas y medición de clorofila.

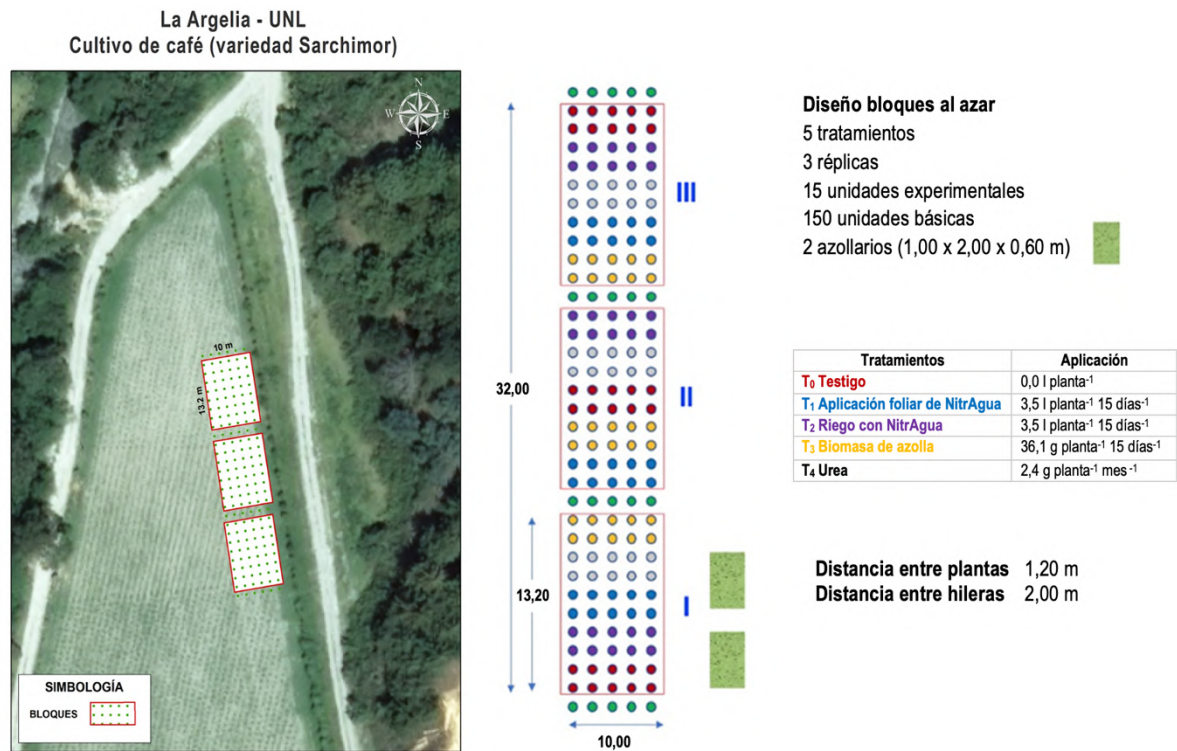
5.4. Metodología para el segundo objetivo

Efecto del nitrógeno bien expresado (N_{be}) en la fase inicial del cultivo de café

En el cultivo establecido de café de la variedad Sarchimor con dos años de edad y rodeado de especies arbóreas (*Alnus glutinosa*) para proporcionar sombra, se trazó un diseño experimental de bloques al azar con cinco tratamientos y tres réplicas (Figura 7), cada unidad experimental (Figura 8) con diez unidades básicas; cabe mencionar, que la elección de este diseño se lo realizó ya que, al mismo se lo considera el más común en la experimentación agrícola y se utiliza cuando las unidades experimentales pueden agruparse de una forma sustancialmente lógica; además el objeto del agrupamiento en bloques es tener las unidades experimentales de forma tan uniforme como sea posible, de manera que las diferencias observadas sean fundamentalmente debidas a los tratamientos (Eguiarte, 2021). De igual manera, las dosis de los tratamientos y factores de aplicación para el cultivo de café estuvieron en función de los análisis del suelo, requerimientos nutricionales del cultivo y cantidad de nitrógeno producido en el azollario, las cuales se distribuyeron de la siguiente manera: el (testigo T_0) tal como el agricultor realiza sus labores agrícolas; (T_1) aplicación de NitrAgua de forma foliar; (T_2) riego con NitrAgua; (T_3) riego normal y biomasa de *azolla*; (T_4) fertilización convencional (Urea).

Figura 7.

Diseño de bloques al azar para el cultivo de café



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 réplica (i: 1,2,3,4,5; j: 1,2,3).

μ Efecto de la media general.

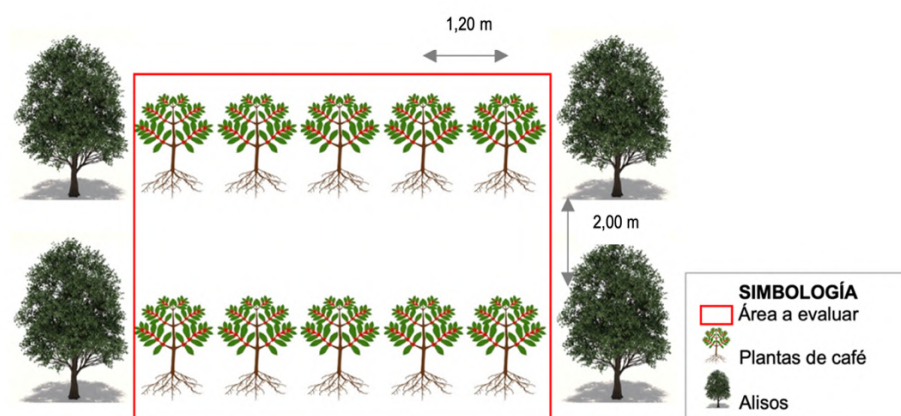
α_i Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j Efecto de la j-ésima réplica

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

Figura 8.

Unidad experimental



Fuente: Elaboración propia

La toma de muestras se efectuó con un barreno a profundidad de 0,20 m; posteriormente, fueron recolectadas, enfundadas e identificadas, conformando muestras de 1 kg, las cuales se destinaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja y al Laboratorio del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), para los análisis físicos y químicos correspondientes.

Se calculó la dosis para cada tratamiento con base en los resultados del análisis químico y requerimientos del cultivo; además, la aplicación de NitrAgua se realizó de manera foliar y edáfica a las plantas de café cada quince días, durante cinco meses. En la Tabla 7 se presenta los factores y dosis aplicadas en el cultivo de café.

Tabla 7.

Factores y dosis del experimento

Código	Descripción	Dosis
T ₀	Testigo	0,0 l planta ⁻¹
T ₁	Aplicación foliar de NitrAgua	3,5 l planta ⁻¹ 15 días ⁻¹
T ₂	Riego con NitrAgua	3,5 l planta ⁻¹ 15 días ⁻¹
T ₃	Biomasa de <i>azolla</i>	36,1 g planta ⁻¹ 15 días ⁻¹
T ₄	Urea	2,4 g planta ⁻¹ mes ⁻¹

Fuente: Comunicación personal Villamagua, 22 octubre 2022.

Las variables agronómicas registradas en el período septiembre 2022 – febrero 2023 fueron: altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, número de ramas, número de frutos por planta y medición de clorofila.

También, durante el desarrollo del cultivo se proporcionó el riego a las plantas de acuerdo a las especificaciones de cada tratamiento y en cada unidad básica se realizó el registro de datos. Con la finalidad de mantener el cultivo libre y evitar la competencia por nutrientes se realizaron controles con implementos manuales (deshierba).

6. Resultados

6.1. Descripción del área experimental

En el experimento se encuentra establecido un cultivo de café, variedad sarchimor de 2 años de edad a partir del transplante, sembrado a una distancia de 1,20 m x 2,00 m y rodeado de especies arbóreas de aliso (*Alnus acuminata*) para proporcionar sombra. En la Tabla 8, se presentan las características agronómicas del cultivo, relacionadas con altura de planta, diámetro del tallo, número de ramas, número de hojas y clorofila; y, en la Tabla 9, las variables dasométricas de los alisos.

Tabla 8.

Características agronómicas del cultivo de café (septiembre, 2022)

Tratamientos	Altura de planta (cm)				
	Mínima	Máxima	\bar{x}	σ	CV (%)
Testigo	28,0	123,0	66,6	20,4	31
NitrAgua-Foliar	36,5	77,0	62,1	16,3	26
NitrAgua-Riego	45,5	72,0	64,2	15,0	23
Biomasa de <i>azolla</i>	34,0	81,0	61,6	17,1	28
Urea	22,0	75,0	63,2	17,4	28
Grosor del tallo (mm)					
Testigo	17,5	23,5	21,0	1,9	9
NitrAgua-Foliar	10,6	23,7	19,8	4,9	25
NitrAgua-Riego	14,0	25,8	23,7	5,5	23
Biomasa de <i>azolla</i>	14,1	25,1	21,6	3,7	17
Urea	14,5	20,1	20,6	4,5	22
Número de ramas					
Testigo	2	29	16,4	6,80	41
NitrAgua-Foliar	5	23	16,9	5,84	34
NitrAgua-Riego	6	21	16,9	5,47	32
Biomasa de <i>azolla</i>	6	24	16,3	6,21	38
Urea	5	22	16,2	6,55	40
Número hojas planta ⁻¹					
Testigo	3	18,00	8,87	3,38	38
NitrAgua-Foliar	6	10,00	9,41	3,60	38
NitrAgua-Riego	6	13,00	10,11	3,90	39
Biomasa de <i>azolla</i>	6	13,00	10,61	2,69	25
Urea	6	11,00	9,70	3,33	34

Tratamientos	Clorofila (unidades SPAD, rango 0 a 199)					
	Hojas evaluadas	Mínima	Máxima	\bar{x}	σ	CV (%)
Testigo	209	4,7	159,7	65,7	29,2	44
NitrAgua-Foliar	156	9,8	170,5	59,9	24,0	40
NitrAgua-Riego	179	1,6	150,1	61,9	26,4	43
Biomasa de <i>azolla</i>	184	2,1	147,8	69,8	28,1	40
Urea	141	2,6	143,4	69,8	27,7	40

\bar{x} Media aritmética σ Desviación estándar CV Coeficiente de variación
Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.

Variables dasométricas de los alisos (septiembre, 2022)

Aliso	Nro. ramas	Número de hojas		Altura (m)	Grosor tallo (cm)
		Mínimo	Máximo		
1	12	17	47	2,0	30,0
2	14	10	40	2,0	20,0
3	16	8	35	1,9	22,0
4	15	6	26	1,4	21,0
5	16	4	15	2,0	13,5
6	47	14	52	3,3	24,5
7	44	32	86	4,5	25,5
8	23	12	63	3,0	20,5
9	38	9	38	2,5	20,2
10	23	6	12	2,3	16,0
11	32	7	37	2,1	17,3
12	27	3	15	1,3	15,5
13	29	13	35	2,3	25,2
14	17	3	19	1,8	17,0
15	24	5	26	2,1	18,3
\bar{x}	25	10	36	2	20
σ	11	7	20	0,8	4,5
CV (%)	2	1	2	3	5

Fuente: Elaboración propia

Dada la heterogeneidad del campo experimental, en lo relacionado al desarrollo del cultivo, se procedió a identificar únicamente los individuos que presentaban características homogéneas para continuar con el registro de datos.

6.2. Obtención de nitrógeno bien expresado (N_{be}) en condiciones accesibles para los caficultores del cantón Loja

Las condiciones climáticas de septiembre 2022 a febrero 2023, período de la investigación, presenta una temperatura media mensual de 13 °C, humedad relativa de 74 % y precipitación media mensual de 14 mm día⁻¹.

La clase textural del suelo es Franco limoso, las características del suelo del área experimental se presenta en la Tabla 10 y del agua utilizada en los azollarios en la Tabla 11.

Tabla 10.

Propiedades químicas del suelo (septiembre, 2022)

pH	MO %	CIC (meq 100 ml ⁻¹)	CE uS cm ⁻¹	N	P	B	S	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu
						ppm			(meq 100 ml ⁻¹)			ppm	
5,1	1,61	11,2	170,8	55	22	0,31	7,8	0,05	2,41	0,41	16,3	323	5,4
FA				M	A	B	B	B	M	M	A	A	A

FA = fuertemente ácido, A = alto, M = medio y B = bajo

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

El pH del agua fue ligeramente ácido, con valores bajos de conductividad eléctrica (CE), P, Na, B y Cl; dureza muy blanda y bajo contenido de sales, por tratarse de agua potable y las RAS como se indica en la Tabla 11.

Tabla 11.

Propiedades químicas del agua potable (septiembre, 2022)

N	P	K	Ca	Mg	Na	B	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	CE	pH	RAS	Dureza
					ppm					ms cm ⁻¹			
0,03	0,27	0,67	3,42	0,57	1,45	0,01	3,27	13,41	1,20	0,03	6,15	0,20	10

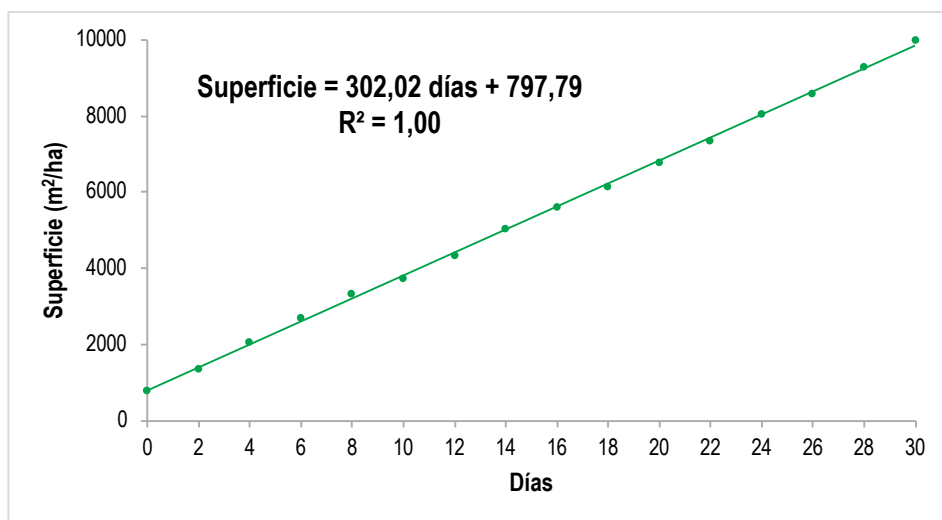
Fuente: INIAP, 2022

6.1.1. Desarrollo del cultivo de *Azolla filiculoides*

En la Figura 9 se muestra el modelo de regresión lineal del crecimiento de *Azolla filiculoides*; con una siembra inicial de 797,79 m² ha⁻¹ (equivalente al 8 % de 1,00 ha), se obtiene un incremento diario de 302,02 m² de superficie del helecho acuático. En la Figura 10 se expone el modelo de regresión lineal de producción de *Azolla filiculoides* desde 0,66 t ha⁻¹ iniciales y con incremento diario de 0,25 t ha⁻¹ de biomasa fresca (drenada por 24 horas).

Figura 9.

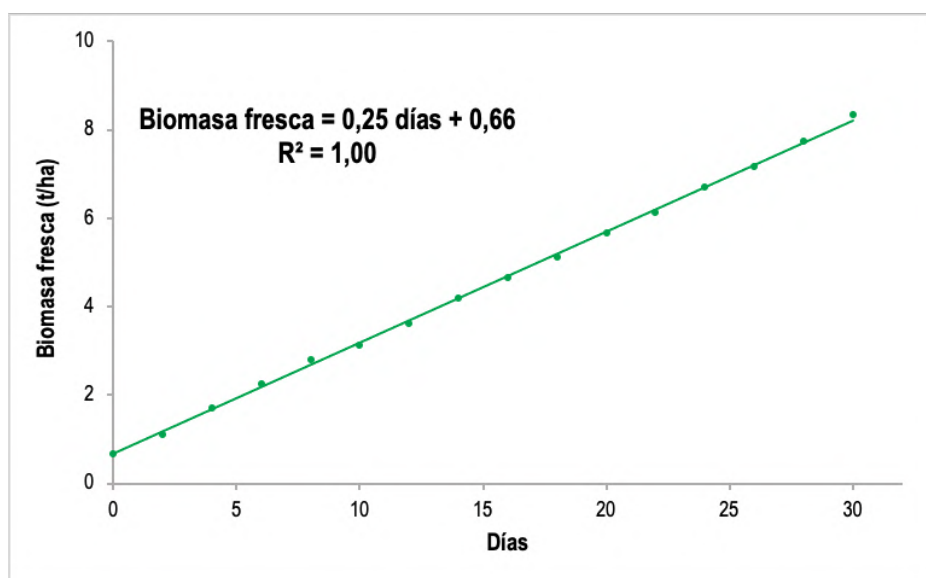
Crecimiento de Azolla filiculoides



Fuente: Elaboración propia

Figura 10.

Producción de Azolla filiculoides



Fuente: Elaboración propia

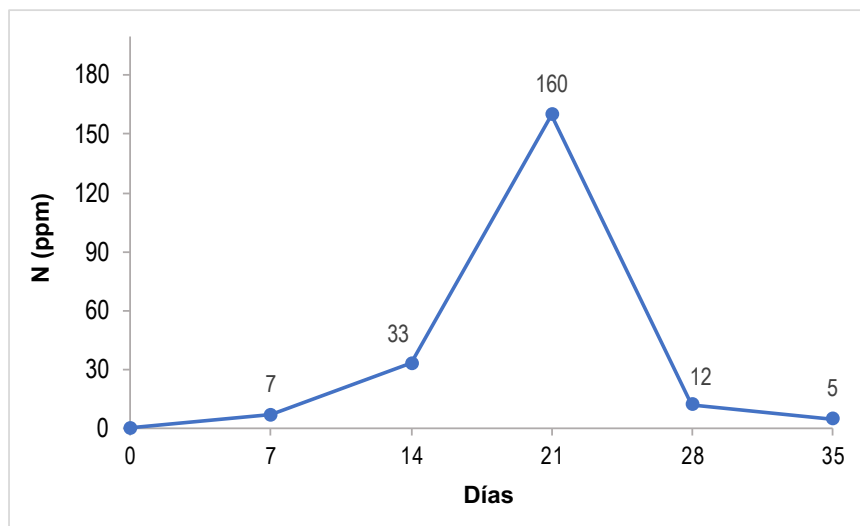
6.1.2. Análisis químico de NitrAgua

Contenido de nitrógeno en NitrAgua.

El contenido de nitrógeno en el agua del azollario (Figura 11) incrementó de 0,03 a 33 ppm a los 14 días, a los 21 días ascendió a 160 ppm; posteriormente, a los 28 días bajó a 12 ppm y finalmente a los 35 días descendió a 5 ppm.

Figura 11.

Contenido de nitrógeno en NitrAgua (ppm)



Fuente: Elaboración propia

Contenido de nitrógeno en biomasa de *Azolla filiculoides*.

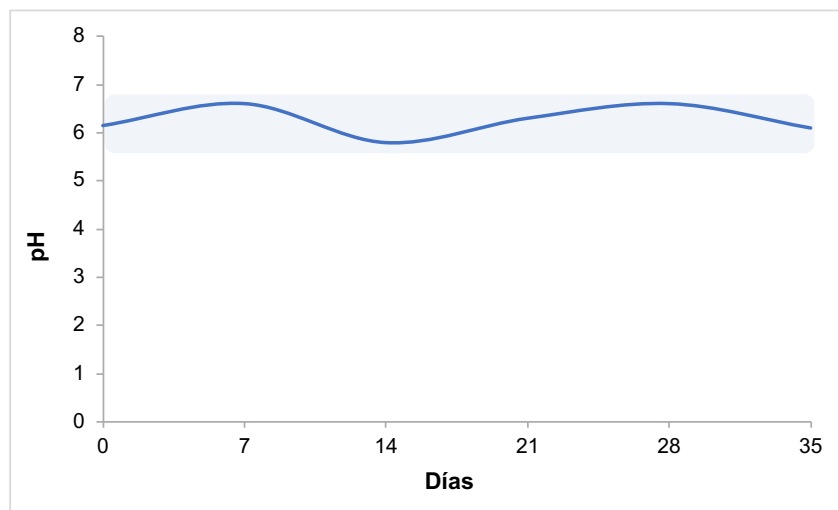
El análisis de la biomasa del helecho registró 0,21 % en base húmeda y 3,12 % en base seca de nitrógeno. Para La Argelia se obtuvo un contenido de nitrógeno disponible de 3,08 t N ha⁻¹ año⁻¹.

pH en NitrAgua.

El pH de NitrAgua se mantuvo ligeramente ácido en un rango de 6,1 a 6,6 durante los 35 días de registro de datos (Figura 12).

Figura 12.

pH de NitrAgua



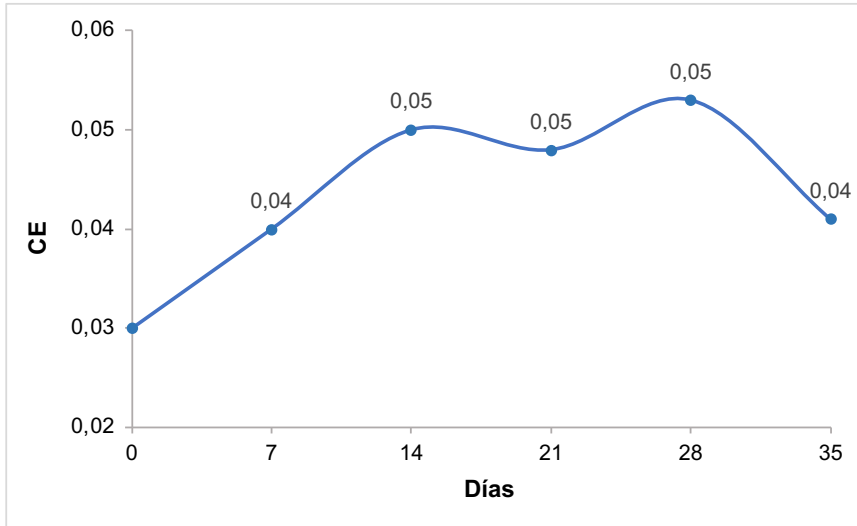
Fuente: Elaboración propia

Conductividad eléctrica en NitrAgua.

La conductividad eléctrica en NitrAgua fue baja de 0,03 a 0,05 mS cm⁻¹ durante los 28 días y a los 35 días descendió a 0,04 mS cm⁻¹.

Figura 13.

Conductividad eléctrica en NitrAgua



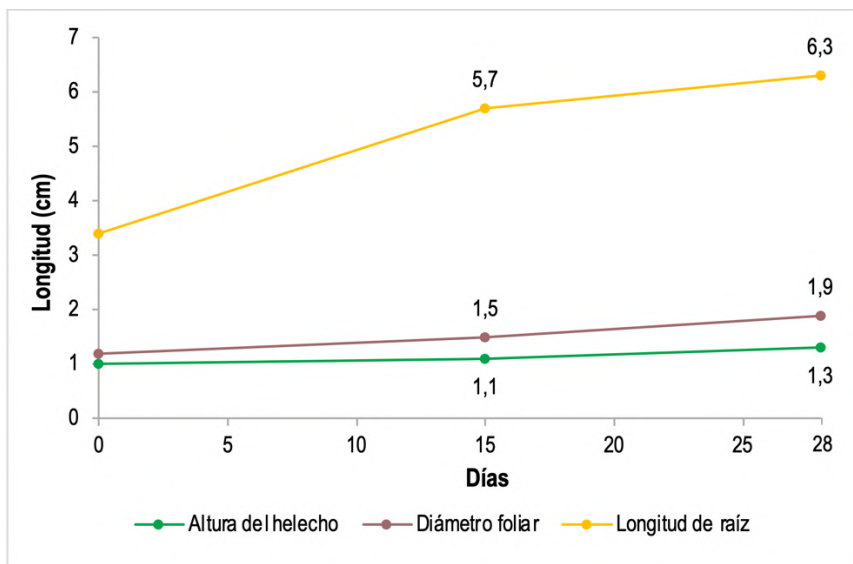
Fuente: Elaboración propia

Altura, diámetro y longitud de raíz de *Azolla filiculoides*.

El helecho acuático, hasta los 28 días de crecimiento, mantuvo una altura promedio de 1,1 cm; diámetro foliar de 1,2 a 1,9 cm y longitud de raíz de 3,4 a 6,3 cm (Figura 14).

Figura 14.

Altura, diámetro y longitud de raíz de *Azolla filiculoides*



Fuente: Elaboración propia




6.2. Efecto del nitrógeno bien expresado (N_{be}) en la fase inicial del cultivo de café

6.2.1. Contenido de clorofila en *Azolla filiculoides*

El registro del contenido de clorofila se realizó con el SPAD-502 en tres tonalidades de color en el helecho acuático (Tabla 12).

Tabla 12.

*Contenido de clorofila en *Azolla filiculoides* en unidades SPAD*

		
Unidades SPAD 19,4	7,9	0,9

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Requerimientos hídricos del cultivo de café

Para determinar la lámina de riego del cultivo de café, se realizó el cálculo en función a la evapotranspiración de referencia (ETo), el coeficiente de cultivo (Kc), evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitación efectiva (Pe) y densidad de siembra (Tabla 13), tomando como referencia los datos de la estación meteorológica “La Argelia” desde el año 1990 al 2013.

Tabla 13.

Requerimientos hídricos del cultivo de café para una hectárea

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm día ⁻¹)	2,90	2,81	-	-	-	-	-	-	-	3,17	3,20	3,33
Kc	0,95	0,92	-	-	-	-	-	-	-	0,91	1,01	1,01
ETc (mm día ⁻¹)	2,76	2,59	-	-	-	-	-	-	-	2,88	3,23	3,36
Pe (mm día ⁻¹)	2,64	3,45	-	-	-	-	-	-	-	2,23	2,17	3,26
Lámina de riego (mm día ⁻¹)	0,12	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,65	1,06	0,10
Lámina de riego (m ³ ha ⁻¹)	1,23	0,00	-	-	-	-	-	-	-	6,54	10,64	1,01
Densidad de siembra	4 166 plantas											
Lámina de riego (L planta ⁻¹ día ⁻¹)	0,30	0,00	-	-	-	-	-	-	-	1,57	2,55	0,24

Fuente: Elaboración propia

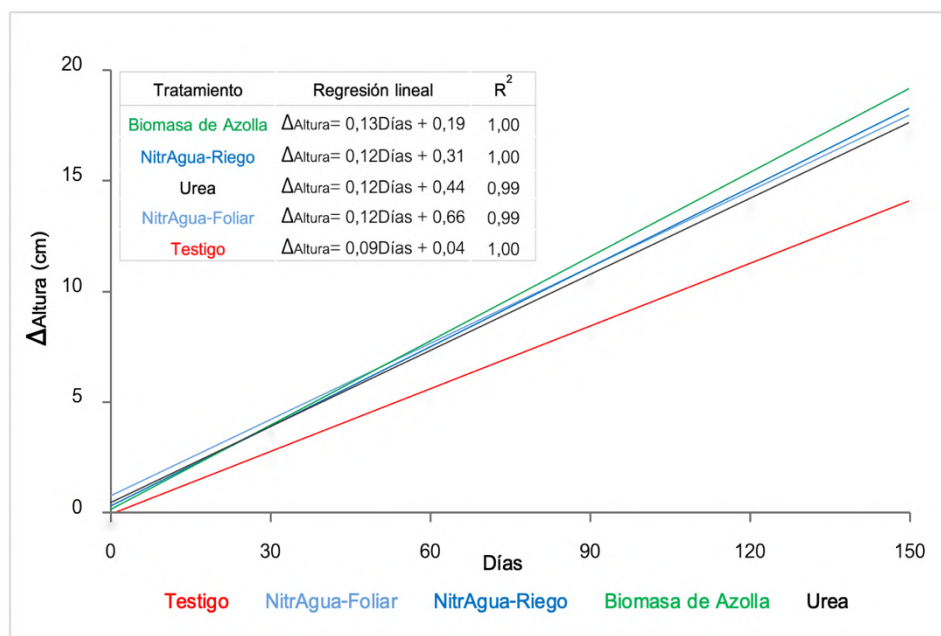
6.2.3. Variables dasométricas en el cultivo de café

Altura de la planta.

El modelo de regresión lineal (Figura 15), reportó un incremento de altura diario de 0,09 cm para el testigo; en tanto, con Urea, NitrAgua-Foliar y NitrAgua-Riego se registró 0,12 cm y la mayor altura de 0,13 cm, con aplicación de biomasa de azolla.

Figura 15.

Modelo de regresión lineal del incremento de altura de las plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)

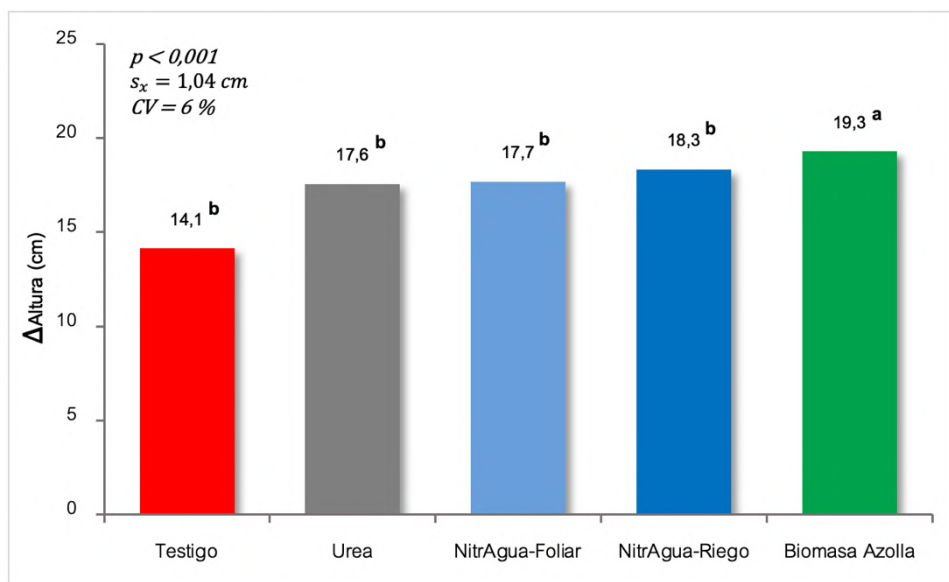


Fuente: Elaboración propia

Es significativa la diferencia de incremento de altura entre el testigo y la aplicación de nitrógeno; es preciso anotar, que no existe diferencia considerable, al comparar la aplicación de urea y nitrógeno bien expresado (Figura 16).

Figura 16.

Incremento de altura en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)



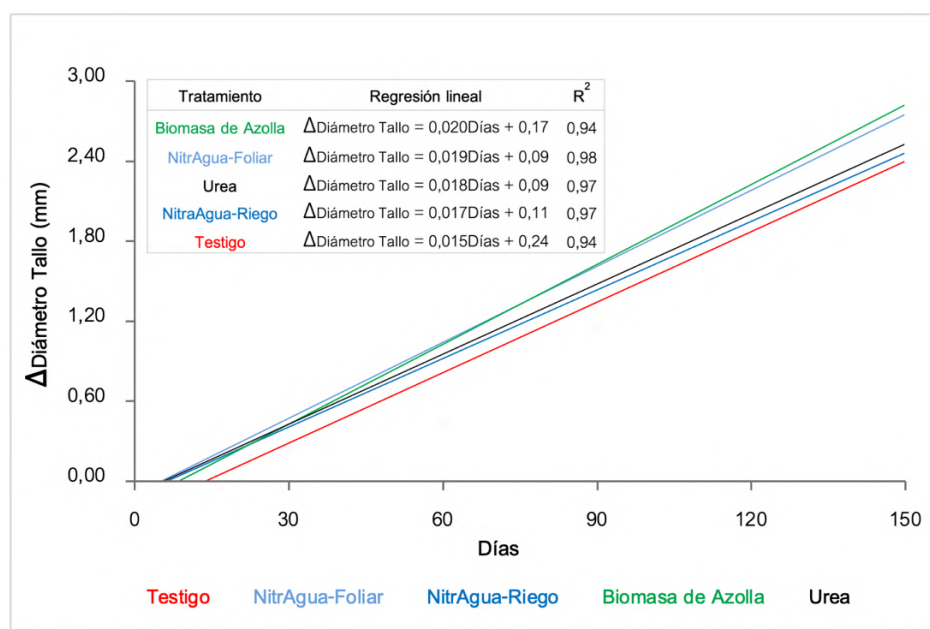
Fuente: Elaboración propia

Diámetro del tallo.

El modelo de regresión lineal para el diámetro del tallo de la planta de café (Figura 17), muestra un incremento diario en el testigo de 0,015 mm comparado con los demás tratamientos; y el mayor resultado se obtuvo de la aplicación de biomasa de *azolla* con 0,020 mm.

Figura 17.

Modelo de regresión lineal del incremento de diámetro en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero 2023)

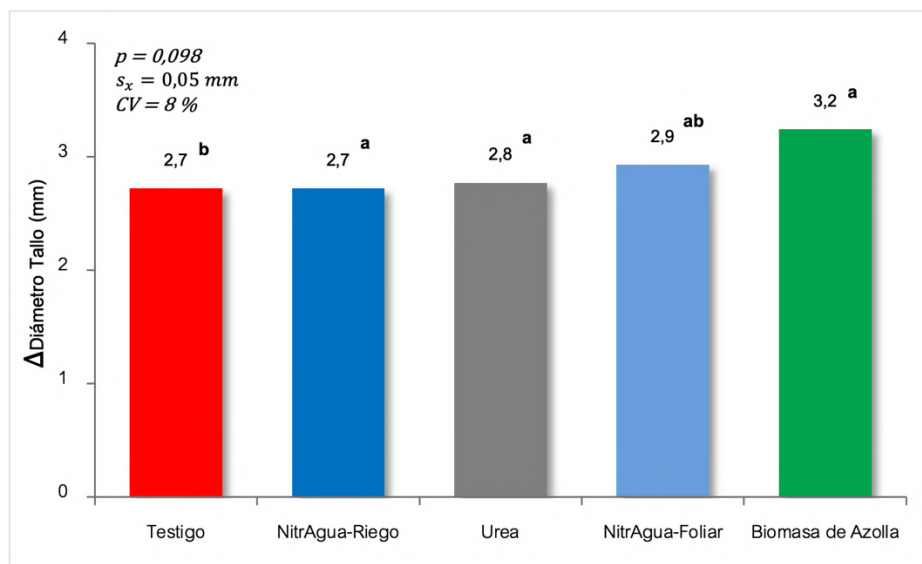


Fuente: Elaboración propia

Los tratamientos aplicados no presentaron mayor diferencia entre ellos; a los 150 días el testigo llegó a un incremento de 2,7 mm comparado con biomasa de azolla que obtuvo 3,2 mm (Figura 18).

Figura 18.

Incremento del diámetro en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)



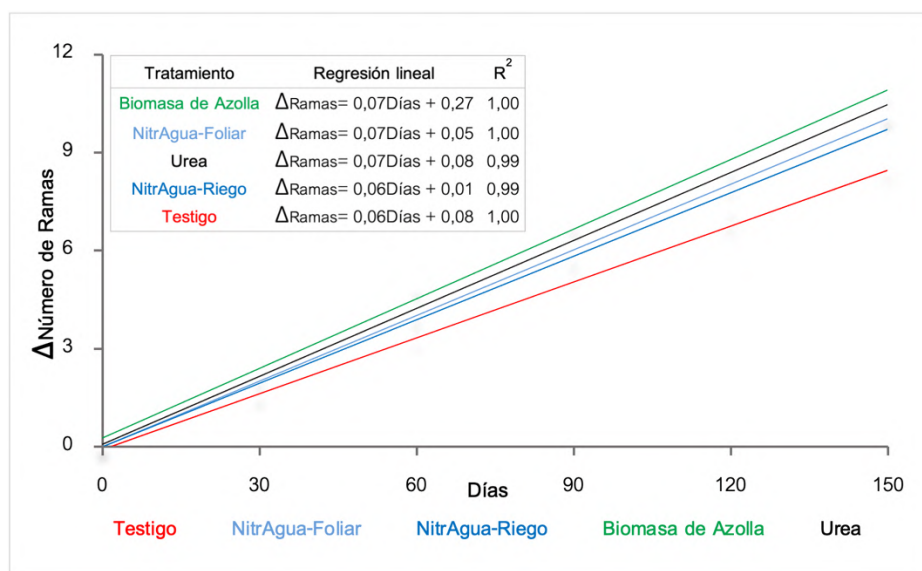
Fuente: Elaboración propia

Número de ramas.

Se obtuvieron valores similares entre los tratamientos, observando que no existe diferencia notable; sin embargo, biomasa de azolla predomina entre los demás (Figura 19).

Figura 19.

Modelo de regresión lineal del incremento del número de ramas en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)

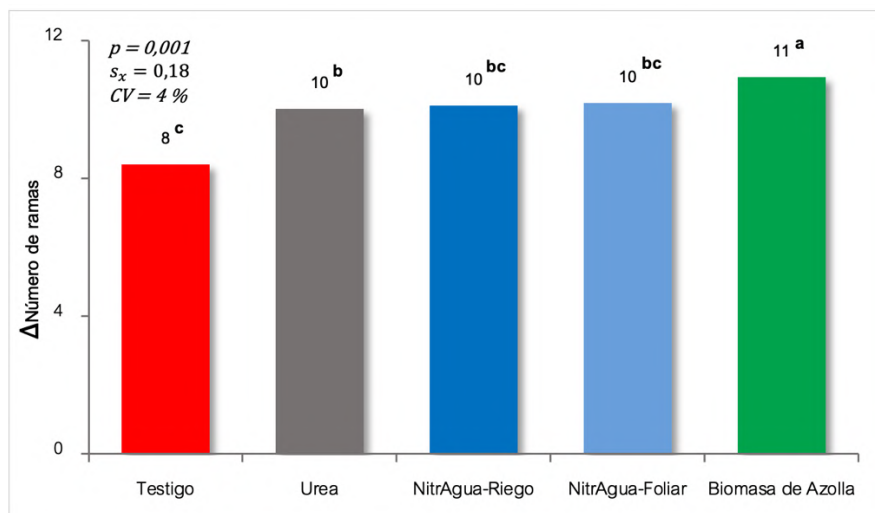


Fuente: Elaboración propia

En el análisis de varianza (Figura 20) para el número de ramas a los 150 días presenta diferencia significativa entre los tratamientos; las plantas testigo tuvieron un aumento de 8 ramas, de igual manera Urea, NitrAgua-Riego y NitrAgua-Foliar tuvieron valores de 10 ramas y biomasa de *azolla* con un incremento de 11 ramas.

Figura 20.

Incremento del número de ramas en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero 2023)



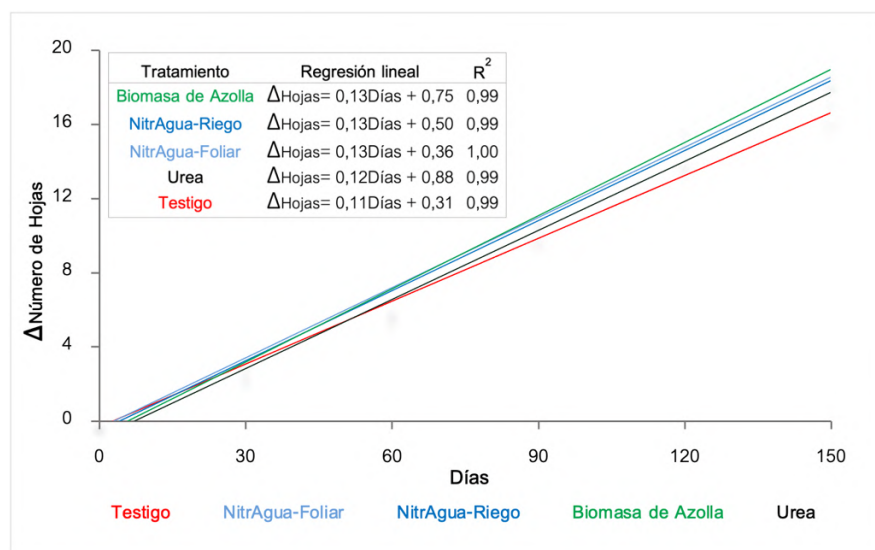
Fuente: Elaboración propia

Número de hojas.

El modelo de regresión lineal para el número de hojas (Figura 21), refiere incrementos diarios de 0,13 a 0,11; constatando que al aplicar biomasa de *azolla* se obtuvo mayor crecimiento.

Figura 21.

Modelo de regresión lineal del incremento del número de hojas en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)

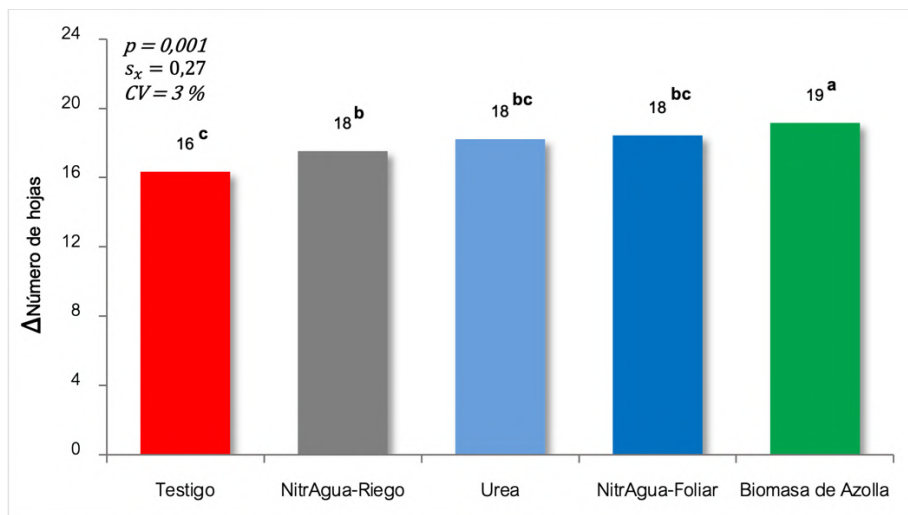


Fuente: Elaboración propia

A los 150 días, no se observa una diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 22); sin embargo, el mayor incremento lo consiguió biomasa de *azolla* con 19 hojas en comparación con el testigo que presentó 16.

Figura 22.

Incremento del número de hojas en plantas de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)



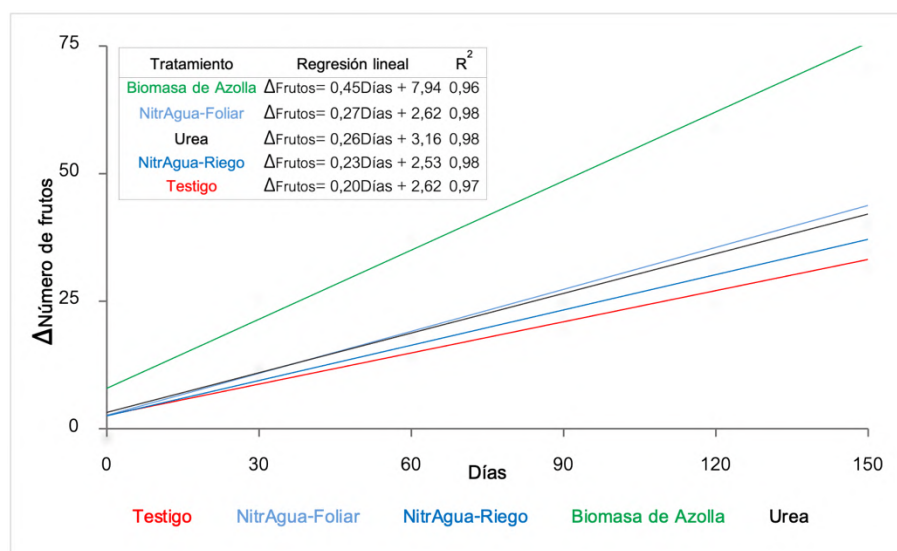
Fuente: Elaboración propia

Número de frutos.

El modelo de regresión lineal presentó un incremento diario del número de frutos por planta de 0,45 correspondiente a biomasa de *azolla*; seguido de NitrAgua-Foliar con 0,27 quedando por debajo el testigo con 0,20 (Figura 23).

Figura 23.

Modelo de regresión lineal del incremento del número de frutos por planta de café (septiembre, 2022 a febrero 2023)

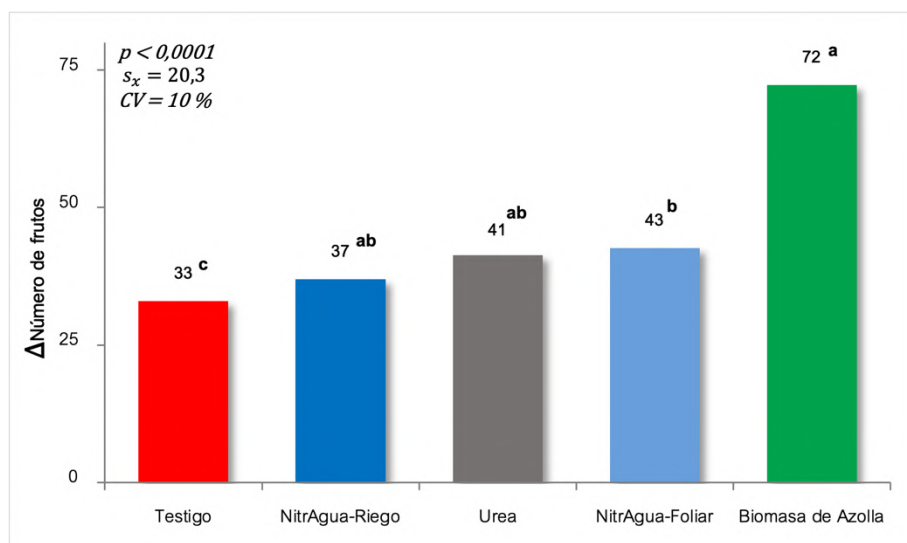


Fuente: Elaboración propia

En los cinco meses de evaluación, se observa una diferencia importante entre el tratamiento testigo (33 granos) y biomasa de *azolla* (72 granos) (Figura 24).

Figura 24.

Incremento del número de frutos por planta de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)



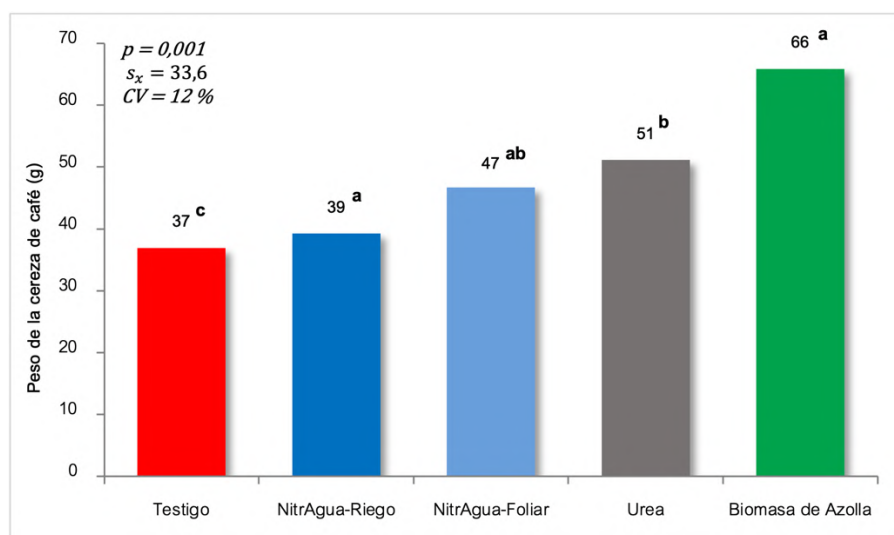
Fuente: Elaboración propia

Peso de la cereza de café.

En la Figura 25, se observa que con la aplicación de biomasa de *azolla* se obtuvo 66 g para el peso de la cereza de café, significativamente diferente a la Urea (51 g), NitrAgua-Foliar (47 g), NitrAgua-Riego (39 g) y testigo (37 g).

Figura 25.

Peso del fruto en fresco por planta de café (septiembre, 2022 a febrero, 2023)



Fuente: Elaboración propia

7. Discusión

7.1. Obtención de nitrógeno bien expresado (N_{be}) en condiciones accesibles para los caficultores del cantón Loja

7.1.1. Desarrollo del cultivo de *Azolla filiculoides*

El crecimiento de *Azolla filiculoides* en la Quinta experimental “La Argelia” con temperatura del agua de 19 °C y pH de 6,2 fue favorable, se registró un aumento diario de 0,06 m² día⁻¹ a campo abierto, duplicando la biomasa de 3 a 4 días, resultado menor a 0,11 m² día⁻¹ obtenido por Abad (2022) en azollarios bajo cubierta; al respecto, Espinoza & Gutiérrez (2013) señalan, “para un correcto crecimiento es necesario mantener un intervalo de temperatura de 13 a 21 °C, y un pH ideal entre 6 a 8 llegando a duplicar su biomasa cada 3 días” (p. 103); además, Rivera (2017) reafirma lo expuesto anteriormente, ya que considera a *azolla* como un helecho de gran capacidad de propagación y crecimiento, de tamaño pequeño, que en condiciones óptimas de nutrientes es capaz de alcanzar gran volumen de producción.

Martínez (2019), menciona que *Azolla filiculoides* ha sido considerada, por varios autores, como una plaga por su rápida propagación, que en ocasiones llegan a invadir lagunas y generar varios problemas, pero si se maneja adecuadamente su poder de proliferación, su capacidad de absorción de nutrientes y la bioacumulación de otros compuestos del agua las convierten en una opción útil en el tratamiento de aguas residuales. También, en el mundo y en particular en Asia, los granjeros producen y cosechan *Azolla filiculoides* para diferentes propósitos, los que incluyen, abonos verdes y fuente de alimento animal (Henderson, 2022).

Según Elvira (2014) menciona que este helecho, con el cursar de los años ha mostrado un nivel de producción superior a los demás organismos acuáticos. Además, suele crecer vertiginosamente en aguas frescas, tranquilas o de poco movimiento; es bastante tolerante, siempre que no se den cambios bruscos; su coloración suele variar, con iluminación intensa su color es más rojizo, mientras que es verde en condiciones de poca luz, es decir necesita por lo menos 10 horas diarias de luz (Alvarado & Gamboa, 2017).

Azolla filiculoides se caracteriza por una alta producción en biomasa, así como alto contenido de proteína y un adecuado nivel de fibra bruta (Martínez et al., 2018). Puede fijar nitrógeno atmosférico (N_2) y dióxido de carbono (CO_2) para formar carbohidratos y amoníaco, respectivamente, después de la descomposición agrega nitrógeno disponible para la absorción de los cultivos y contenido de carbono orgánico en el suelo (Katole et al.,

2017). Para las condiciones de “La Argelia” se propagó a razón de $0,25 \text{ t ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, resultado menor al que obtuvo Angamarca (2022) en la parroquia Gualiel ($0,39 \text{ t ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$), donde se aplicó 5 kg de estiércol de ganado bovino como sustrato en un azollario de 6 m^2 y 0,60 m de profundidad; Montaña (2015), reportó un rendimiento mayor de *azolla* fresca de $22,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ ($0,75 \text{ t ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) lo que equivale a $600 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Elvira (2014) menciona que la productividad del helecho acuático medida in situ (Maracay-Venezuela), registra una producción de $1\,340 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de materia fresca; además, requirió de agua en cantidades abundantes para mantener su integridad estructural y procesos fisiológicos.

Existen estudios realizados en provincias de Ecuador como Guayas, Pichincha e Imbabura sobre *azolla*, donde se practica su cultivo de manera casera en pequeñas piscinas en las que se siembra el helecho con el fin de usarlo como alimento de las aves de granja, ya que posee valores entre 18 y 32 % de proteína bruta, resultado semejante al que se obtuvo en el análisis de proteína en biomasa que fue de 19,5 % (Gómez, 2019).

La biomasa proveniente de plantas acuáticas con valor nutricional constituye un producto obtenido a partir de un proceso de cultivo o de colecta, sometido a una fase de adaptación para desarrollar cultivos de producción con fines prácticos. En el caso del helecho acuático, *Azolla filiculoides*, por sus altas propiedades nutricionales constituye una fuente de alimento de gran interés que no se ha estudiado de manera sistemática para evaluar las condiciones óptimas de su productividad.

7.1.2. Contenido de nitrógeno en NitrAgua

Para determinar el contenido de nitrógeno en NitrAgua se realizaron análisis de agua cada siete días, el valor inicial fue de $0,03 \text{ mg l}^{-1}$, después el contenido de N ascendió a $6,8 \text{ mg l}^{-1}$, a los 14 días incrementó a 33 mg l^{-1} , a los 21 días alcanzó su valor máximo de 160 mg l^{-1} , ya que los azollarios tenían el 85% de cobertura de biomasa de *azolla* con una temperatura de 19 °C , al transcurrir 28 días decayó a 12 mg l^{-1} , finalmente a los 35 días su valor registró $4,6 \text{ mg l}^{-1}$ de nitrógeno, esto se debe a la *azolla* empieza a envejecer y la cantidad de *anabaena azollae* en las raíces puede disminuir, lo que afecta la fijación de nitrógeno. Por esta razón, es importante reemplazar regularmente la *azolla* envejecida por nuevas plantas para mantener una alta tasa de fijación. También es importante monitorear la calidad del agua y los niveles de nutrientes para asegurarse de que haya suficiente alimento para la *azolla* y su simbionte bacteriano.

Abad (2022), alcanzó valores de nitrógeno en el agua de 160 mg l^{-1} a los 30 días a una temperatura de 17 °C , con cubierta, datos que difieren con Angamarca (2022) la cual en la parroquia Gualiel consiguió resultados de 400 mg l^{-1} con temperatura de 18 °C , esto se debió

a las variables climáticas que existen en ese sector y al sustrato utilizado en el fondo del azollario (estiércol bovino), el cual está compuesto por materia orgánica, nutrientes y microorganismos que complementan al contenido de nitrógeno en NitrAgua. Sin embargo, Calle (2022) en la parroquia Vilcabamba presentó a los 28 días un contenido de nitrógeno de 130 mg l⁻¹ con una temperatura de 21 °C. Por tal razón, para las condiciones del cantón Loja, los resultados de nitrógeno se encuentran entre 130 a 400 mg l⁻¹.

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

Azolla filiculoides se caracteriza por su riqueza en nitrógeno y proteína cruda. Debido a su simbiosis con la bacteria *Anabaena*, debe esperarse que el contenido de nitrógeno en el medio acuático tenga poco efecto en el contenido proteico del helecho, que más bien es sensible al nivel de fósforo en el agua. Por ello, Castillo (2014) expresa que en condiciones donde el medio no tenga fosfatos, *Azolla filiculoides* suele contener más nitrógeno que la lenteja de agua.

Por tal razón, *Azolla filiculoides* presentó un contenido de nitrógeno de 3,12 % por cada 100 g de materia seca, valores próximos a 3,45 % obtenidos por Abad (2022) y 3,28 % por Calle (2022); adicionalmente, Navarro (2020) explica, los helechos acuáticos contienen de 3 a 6 % N en peso seco y duplican la biomasa cada 3 a 5 días bajo condiciones favorables; sin embargo, Pérez (2012) mostró un contenido de nitrógeno de 1,51 % utilizada principalmente para la alimentación de Tilapia Roja en el cantón Babahoyo.

7.1.4. Contenido de pH y CE en NitrAgua

El pH al que estuvo expuesto *Azolla filiculoides* fue de 6,1 a 6,6 siendo totalmente aceptable para su desarrollo, ya que tolera un rango amplio de pH (5,5 a 8,0), siempre que no se den cambios bruscos, la conductividad eléctrica fue de 0,053 mS cm⁻¹; resultados similares a los de Abad (2022) con pH promedio de 6,5; sin embargo, la CE que registró fue menor con un valor de 0,0074 mS cm⁻¹. Adicionalmente, Espinoza & Gutierrez (2013), manifiestan que un buen desarrollo del helecho se logra a pH de 6,0 a 7,2 y CE de 0,50 mS cm⁻¹.

7.2. Efecto del nitrógeno bien expresado (N_{be}) en el cultivo de café

Los biofertilizantes como resultado de actividad de los microorganismos, que proveen y mejoran la disponibilidad de nutrientes (Sharma et al. 2012). Por tanto, la aplicación de *Azolla filiculoides* como biofertilizante, es una alternativa para mejorar los suelos e incrementar la producción, es de fácil descomposición y contiene nitrógeno disponible de 3 a 5 % en base seca y de 0,2 a 0,4 % en base húmeda (Mishra et al. 2015).

La idoneidad ambiental del uso de *azolla* para los agricultores a nivel mundial que no pueden solventar los gastos de los fertilizantes químicos, la aplicación del helecho acuático puede mejorar su situación económica, aumentando los rendimientos y minimizando los costos; dados los excelentes resultados obtenidos con biomasa de *azolla* en el cultivo de café.

7.2.1. Contenido de clorofila

Medir el contenido de clorofila en esta investigación resultó importante, ya que es un método de diagnóstico de nitrógeno en las plantas; para ello se utilizó el SPAD-502 y su precisión puede ser influenciada por la hora en que se registra la lectura o por la posición del foliolo; sin embargo, es importante mencionar que las condiciones de nutrición de una planta vienen estrechamente relacionadas con la presencia de clorofila y nitrógeno en sus hojas, y en algunas especies unos valores SPAD altos indican que la planta está sana (Hurtado et al., 2017); para las condiciones de “La Argelia” se registró 170,5 en las hojas de café con aplicación foliar de NitrAgua y 19,4 en el follaje de *Azolla filiculoides*; a diferencia de Cardoza (2015), que muestra lecturas de SPAD entre 15 y 30 unidades en tonalidades verde-claro, y con tonalidades de verde-rojizo entre 5 y 15 unidades en el helecho acuático; por otro lado, Ramírez (2019), presenta 26,9 a 120,1 unidades en tonalidades verde-claro a verde-osuro en variedad robusta; además, expresa que la molécula de clorofila es la determinante del proceso fotosintético; es decir, de la producción de material orgánico a partir del dióxido de carbono del aire; del mismo modo, cuando hay suficiente cantidad de nitrógeno se produce mayor cantidad de clorofila, mayor asimilación y síntesis de productos orgánicos.

7.2.2. Altura de la planta

Junco & Bravo (2016), con la aplicación de biol en la fase inicial del café obtuvieron valores de altura promedio de 20,5 cm en variedad Castilla y 30,9 cm en variedad Sarchimor en Santo Domingo de los Tsáchilas; sin embargo, Milla-Pino et al. (2019) en el sector La Maná (Cotopaxi) referente a la altura de la planta de café con abono foliar (biol) registran un incremento de 5,8 cm, con abono edáfico (vermicompost) 5,7 cm y con el testigo 5,4 cm; incrementos menores a 17,7 cm de altura obtenidos con la aplicación de NitrAgua-Foliar y 19,3 cm con biomasa de *azolla*; lo que evidencia que la aplicación edáfica presentan valores mayores a la aplicación foliar ya que, las raíces de las plantas están diseñadas para absorber nutrientes del suelo, lo que las hace mucho más efectivas para tomar y procesar nutrientes que las hojas.

7.2.3. Diámetro del tallo

Con la aplicación de biomasa de *azolla* se obtuvo 0,3 cm, resultado menor a 0,4 cm reportado por Milla-Pino et al., (2019) con abono edáfico (vermicompost) y abono foliar (biol) con 0,3 cm, lo que significa que la fertilización con *azolla* se considera más efectiva debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, mejorar la estructura del suelo, reducir la erosión y aumentar la disponibilidad de nutrientes.

7.2.4. Número de ramas

El incremento del número de ramas con aplicación de biomasa de *azolla* fue de 11; es decir, 18 ramas en variedad Sarchimor; al respecto Flores (2012) para la variedad Robusta reporta 31 ramas con la aplicación de bocashi, y con biol 27 ramas, ya que el autor menciona que esta variedad puede adaptarse a diferentes condiciones climáticas y de suelo; además se caracteriza por ser una planta más vigorosa y resistente en comparación con la variedad Sarchimor.

7.2.5. Número de hojas

El mayor incremento de 19 hojas por rama equivalente a 37 hojas por rama se observó con la aplicación de biomasa de *azolla* durante los cinco meses; en cambio, Armijos & Nicasio (2020) al aplicar Micorrizas obtuvieron un valor menor de 10 hojas en las plantas de café de variedad arábica evaluadas en Manabí; es decir, que la fertilización con *azolla* permite el desarrollo saludable de las raíces y mejora la capacidad de la planta para absorber nutrientes y agua, lo cual hace que la planta crezca y produzca más hojas.

7.2.6. Número de frutos

El mayor número de frutos se registró con el aporte de biomasa de *azolla* con 72 granos de café por planta; resultados mayores a los reportados por Arias (2012), de 54 granos por planta en variedad Catimor, el autor obtuvo este resultado debido a la poca luminosidad que recibieron las plantas lo que afectó principalmente el desarrollo de los frutos.

7.2.7. Peso de la cereza de café

El peso de la cereza de café registrado con la aplicación de biomasa de *azolla* fue de 0,066 kg planta⁻¹; en tanto que Condori (2019), reporta 1,71 kg planta⁻¹ en la variedad de café robusta, y en las variedades Paraíso y Caturra con 0,83 y 0,89 kg planta⁻¹, estos resultados se deben a que los cultivos están expuestos a condiciones climáticas favorables (24 °C); además, la edad de la variedad estudiada en esta investigación (2 años) difiere a las expuestas por el autor (6 años), ya que al ser plantas jóvenes durante los primeros años de vida se enfocan en desarrollar su sistema de raíces y ramas, y no a la producción de frutos.

De las investigaciones realizadas en Ecuador, únicamente se reportan resultados de la variedad Sarchimor en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Junco & Bravo, 2016); esto es en condiciones favorables del cultivo, razón por la cual se presentan indicadores mayores a los obtenidos en “La Argelia”. Además, se contrastó con otras variedades de café (Robusta, Arábica, Catimor, Paraíso y Caturra) cultivadas en otros territorios (provincias Manabí, Cotopaxi y Santo Domingo de los Tsáchilas) con condiciones ambientales; características físicas, químicas y biológicas del suelo diferentes. Aspectos a tomar en cuenta en los resultados obtenidos en la presente investigación, al parecer las condiciones ambientales y de suelo del sector “La Argelia” no son las más apropiadas para el café variedad Sarchimor, ya que el mismo se desarrolla de mejor manera en clima tropical, con temperatura de 23 °C, humedad relativa del 70 %, suelo de textura franco arcilloso y pH de 6,5.

Es por ello, que estos resultados fueron difundidos a los agricultores de cantón Vinces, provincia de Los Ríos y a los estudiantes de la Universidad Nacional de Loja (Anexo 7 y 8), con la finalidad de dar a conocer el gran impacto positivo que genera el utilizar fertilizantes orgánicos, incluyendo la reducción del riesgo de contaminación del suelo y agua, la mejora de la calidad del suelo y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero; a diferencia de los fertilizantes químicos sintéticos, que requieren grandes cantidades de energía para producirse y sobre todo comprometen la salud del agricultor.

8. Conclusiones

- *Azolla filiculoides* presenta un crecimiento lineal, duplica la biomasa de 3 a 4 días en condiciones ambientales a campo abierto durante la época lluviosa en la hoya de Loja, temperatura media de 13° C y humedad relativa de 78 %.
- En las condiciones de la hoya de Loja, en 30 días se logra cubrir el 8 % de 1 ha con siembra inicial de *Azolla filiculoides*; y rendimiento de 3,08 t N ha⁻¹ año de nitrógeno disponible equivalente a 99 t N ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno total; con alto contenido de proteína de 19,5 %, ideal para ser utilizada como alimento animal para peces, aves de corral y ganado porcino.
- El contenido de nitrógeno bien expresado en el azollario no tiene un comportamiento estable, a los 21 días se obtuvo el mayor contenido de 160 mg l⁻¹ equivalente a 23,33 kg ha⁻¹.
- El pH inicial del suelo fue de 5,1, considerado fuertemente ácido; por tal razón, se corrigió aplicando 12 g planta⁻¹ de cal dolomita, lo que permitió aumentar el pH a 5,7 siendo apto para la aplicación de los biofertilizantes en el cultivo de café y obtener mejor asimilación de nutrientes.
- En el cultivo de café variedad Sarchimor a los 150 días con la aplicación de biomasa de *azolla* las plantas alcanzaron un incremento de altura de 19,3 cm (22 %), diámetro del tallo de 3,2 mm (23 %), 11 ramas (22 %), 19 hojas (21 %), 72 granos (32 %) y peso de la cereza de 0,066 kg planta⁻¹ (27 %); lo que demuestra que este helecho puede ser empleado como un biofertilizante y reemplazar a los fertilizantes comerciales que a más de perjudicar la salud de los agricultores representan costos elevados.

9. Recomendaciones

- Tener precaución en el descenso del nivel de agua del azollario debido a la evapotranspiración, es decir que el helecho acuático no quede adherido a las paredes porque podría ocasionar su muerte.
- Para disminuir los costos de producción con *Azolla filiculoides* se recomienda optar por reemplazar la geomembrana impermeabilizante por plástico negro de polietileno.
- Realizar investigaciones relacionadas con la utilización de biofertilizantes a base del helecho acuático combinado con lixiviado de raquis del banano, compost y humus, para determinar la eficiencia en diferentes cultivos, particularmente en el café y en el mejoramiento de los suelos.
- En suelos con pH fuertemente ácido es recomendable realizar un proceso de encalado antes de aplicar cualquier biofertilizante, con la finalidad de obtener mejor absorción de nutrientes.
- Se debe difundir a la sociedad las técnicas utilizadas en esta investigación para que puedan ser aplicadas en beneficio del sector agrícola.

10. Bibliografía

- Abad, G. (2022). *Generación y evaluación de nitrógeno bien expresado a partir de la asociación simbiótica Azolla-Anabaena para producción de brócoli (Brassica oleracea L.) en la quinta experimental "La Argelia"*. 105.
- AgroEcuador. (2019). *Café ecuatoriano, aromatizando la economía nacional*.
<https://agro.com.ec/author/telandweb/page/2>
- Aguilar, M. G. C. (2017). "AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE *Anabaena* sp. DE LA CAMARONERA SAN AGUSTÍN, MACHALA PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR 2007 Y EVALUACIÓN DE SU CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SAL". 93.
- Alberto, H., & Ruiz, L. (2019). *Evaluación de la percepción de dulzura y el contenido de azúcares presentes en las variedades de café Parainema (Sarchimor), IHCAFE 90 (Catimor) y Typica*. 28.
- Aldás-Jarrín, J. C., Zurita-Vásquez, J. H., Cruz-Tobar, S. E., Villacís-Aldaz, L. A., Pomboza-Tamaquiza, P. P., & León-Gordón, O. A. (2016). Efecto biofertilizante de azolla—*Anabaena* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 109–115.
- Alvarado, E., & Gamboa, P. (2017). *EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE Azolla filiculoides (helecho acuático) EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN Y TIPO DE FERTILIZANTE, EN CONDICIONES DE LABORATORIO, CENTRO DE*. 65.
- Alvarado, M. (2005). *Cultivo y beneficiado del café*. EUNED.
- Armenta Bojórquez, A. D., García Gutiérrez, C., Camacho Báez, J. R., Apodaca Sánchez, M. Á., Gerardo Montoya, L., & Nava Pérez, E. (2015). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 51–56. <https://doi.org/10.35197/rx.06.01.2010.07.aa>
- Armijos, A., & Nicasio, F. (2020). *TRABAJO TITULACIÓN TRABAJO EXPERIMENTAL*. AZOLLAPARATODOS. (2017, julio 25). Forraje. *Azolla para Todos*.
<https://azollaparatodos.wordpress.com/2017/07/25/forraje/>
- Bianco, L. (2020). Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. *Idesia (Arica)*, 38(2), 21–29. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000200021>
- BioEco. (2018, febrero 21). Los peligros de los fertilizantes químicos. *Bio Eco Actual*.
<https://www.bioecoactual.com/2018/02/21/los-peligros-los-fertilizantes-quimicos/>

- Bustamante, V. (2015). *EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DEL GRANO DE CAFÉ (Coffea arabica L.) BAJO LA INFLUENCIA DE DIFERENTES MANEJOS AGROFORESTALES EN MASATEPE, NICARAGUA.*
- Calle, I. (2022, marzo 4). Cultivos cubren el 94 % del área agrícola en Ecuador. *Observatorio del Cambio Rural*. <https://ocaru.org.ec/2022/03/04/diez-tipos-de-cultivos-cubren-el-94-del-area-agricola-en-ecuador-sobreproduccion-e-incumplimiento-de-precios-de-sustentacion-quita-rentabilidad/>
- Calvo, A. (2018, abril 20). Agricultura intensiva: Qué es y cómo gestionarla. *Agroptima*. <https://www.agroptima.com/es/blog/agricultura-intensiva/>
- Canet Brenes, G., Soto Víquez, C., Ocampo Thomason, P., Rivera Ramírez, J., Navarro Hurtado, A., Guatemala Morales, G., Villanueva Rodríguez, S., Jalisco (México) (CIATEJ), C. de I. y A. en T. y D. del E. de, & Agricultura (IICA), I. I. de C. para la. (2016). *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2792>
- Carabalí, J. A. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra*, 6(2), Art. 2. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Cárdenas Navarro, R., Sanchez-Yañez, J., Farías-Rodríguez, R., & Peña Cabriales, J. (2014). Contribution of nitrogen to agriculture. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10, 173–178. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.07.039>
- Carrión, G. (2022). *La UTPL contribuye al desarrollo del café | Cultura Científica—UTPL*. <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/?p=4775>
- Castillo, J. P. C. (2014). “Cultivo de café y modos de vida local: Caso familias del cantón Puyango de la provincia de. 145.
- Cerón, L. (2012). *Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752012000100026
- COFENAC. (2019). *Informe de Terminación de Proyecto Manejo Integrado de la Broca del Café*. 77.
- Córdova, S., Castelán-Estrada, M., Cárdenas-Navarro, R., Lobbit-Phellipe, C., Peña-Cabriales, J. J., Vera-Núñez, J. A., & Salgado-García, S. (2013). Fijación biológica de nitrógeno por cuatro fabáceas en suelos ácidos de Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 45(1), 0–0.

- Coyne, M. (2010). *Microbiología del suelo*. Paraninfo.
http://biblioteca.especializada.unjbg.edu.pe/opac_css/index.php?lvi=notice_display&id=11020
- Delgado, M. del M., Porcel, M. Á., Imperial, R. M. D., Bellido, N., Bigerioego, M., Beltrán, E., & Calvo, R. (2011). MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO PROCEDENTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 15(1), Art. 1.
- Domínguez, F. (2013). *Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza*.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672008000100001
- Douwe, J. (2017). *Leisa revista de agroecología Volumen 29 número 4 by Revista Leisa— Issuu*. https://issuu.com/leisa-al/docs/leisa_vol29n4/6
- Eguiarte, R. (2021). *Eficiencia en fijación biológica de nitrógeno de cepas de Rhizobium spp. Recolectadas en frijol cultivado y silvestre*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792020000500841
- Elvira, A. (2014). *FIJACIÓN DE NITRÓGENO Y DIÓXIDO DE CARBONO CON EL SIMBIOSISTEMA AZOLLA-ANABAENA*. 65.
- Espinosa, P., & Edith, G. (2015). *Análisis de la producción y comercialización de café en la provincia de Loja – Ecuador, 2014*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/54785>
- Espinoza, Y., & Gutierrez, R. (2006). Caracterización agronomica de accesiones de Azolla de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(2), 135–150.
- Espinoza, Y., & Gutiérrez, R. (2013). Variabilidad intraespecifica de Azolla filiculoides, colectadas en la zona centro-occidental de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(2), 156–167.
- Estrella, C. J. A. (2019). *El sector cafetalero ecuatoriano y su orientación hacia la exportación, periodo 2015 – 202*. 58.
- FAO. (2022). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Ecuador en una mirada | FAO en Ecuador | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>
- Fernández, J. M. (2020, octubre 7). Loja produce el mejor café del Ecuador. *Crónica*. <https://cronica.com.ec/2020/10/07/loja-produce-el-mejor-cafe-del-ecuador/>

- Fernández-Pascual, M. (2012). *Fijación Biológica De Nitrógeno: Concepto Y Beneficios De Su Uso*. (2022, enero 12). <https://eos.com/es/blog/fijacion-biologica-de-nitrogeno/>
- Flores, N. M. (2012). *EVALUACION DE LA PRODUCCION DE PLANTINES DE TRES VARIETADES DE CAFÉ (Coffea arabica L.) BAJO TRES TIPOS DE SUSTRATOS*.
- García, G. V., Studdert, G. A., Noé Domingo, M., & Domínguez, G. F. (2016). Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis: Relación con sistemas de cultivo de agricultura continua. *Ciencia del suelo*, 34(1), 127–138.
- Gil, J. (2016, abril 21). ¿Qué es la amiloidosis? *Amiloidosis - Que es, Sintomas, Tratamiento*. <http://amiloidosis.es/2016/04/que-es-la-amiloidosis/>
- Ginés, N. G., & Simón, N. G. (2014). *Fertilizantes: Química y acción*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Gómez, C. F. L. (2019, marzo 5). Anabaena: Características, hábitat, reproducción, nutrición. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/anabaena/>
- Gonzalez, Z., & Samuel, A. (2014). *Efecto de enclamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café*. 38.
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., & Peña-Cabriales, J. J. (2012). *Impacto de los biofertilizantes en la agricultura* Impact of biofertilizers in agriculture*. 15.
- Guambi, L. A. D. (2017). *CALIDAD ORGANOLÉPTICA DE CAFÉS SARCHIMOR EN RELACIÓN A LAS VARIETADES Y ALTITUDES DE LAS ZONAS DE CULTIVO, ECUADOR*. 18, 12.
- Guambi, L. A. D., Moreano, J. A., & Talledo, D. S. F. (2018). *Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café sarchimor en la amazonía del Ecuador*. 19, 15.
- Guambi, L. A. D., Soto, M. E. M., Solórzano, R. G. L., Díaz, A. T. M., Cedeño, A. M. G., Monroy, C. R., & Villafuerte, W. P. C. (2018). Gestión del conocimiento e innovación organizacional para reactivar la cadena productiva del café robusta, Ecuador. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 9(1), Art. 1.
- Hakspiel, C., & Martínez, A. (2014). Primera estimación de la tasa de fijación biológica de nitrógeno en Cuenca Alfonso, región sur del Golfo de California. *Revista de biología marina y oceanografía*, 49(2), 379–383. <https://doi.org/10.4067/S0718-1>
- Henderson, M. K. (2022). *Azolla: A Water Fern That Serves As a Fertilizer*. <https://www.hsu.edu/pages/academics/ellis-college-of-arts-and-sciences/biological-sciences/arkansas-nature-trivia/azolla-a-water-fern-that-serves-as-a-fertilizer/>
- Hernández, M. C. (2018). *DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS EN UN CULTIVO DE CAFÉ, EN ETAPA PRODUCTIVA, CON BASE EN EL CONOCIMIENTO DEL BALANCE HÍDRICO*. 76.

- Herrera, J. D. (2018, mayo 28). Características. *Azolla para Todos*.
<https://azollaparatodos.wordpress.com/caracteristicas/>
- Hill, D. J. (2014). The pattern of development of Anabaena in the Azolla-Anabaena symbiosis. *Planta*, 122(2), 179–184. <https://doi.org/10.1007/BF00388657>
- Houtart, F. (2018). La agricultura campesina e indígena como una transición hacia el bien común de la humanidad: El caso de Ecuador. *Desacatos*, 56, 177–187.
- Hurtado, E., González-Vallejos, F., Roper, C., Bastías, E., Mazuela, P., Hurtado, E., González-Vallejos, F., Roper, C., Bastías, E., & Mazuela, P. (2017). Propuesta para la determinación del contenido de clorofila en hojas de tomate. *Idesia (Arica)*, 35(4), 129–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017000400129>
- Junco, P. I. V., & Bravo, T. E. A. (2016). *DIFERENTES APLICACIONES FOLIARES DE BIOL*”.
- Khot (2011). *EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO Y MAGNESIO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELOS CULTIVADOS EN CAFÉ*. 16.
- Khalajabadi, S. S., Muñoz, B. M., & Osorio, H. G. (2012). *ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN*. 12.
- Latsague, M., Sáez, P., & Mora, M. (2014). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook.f. *Gayana. Botánica*, 71(1), 37–42. <https://doi.org/10.4067/S0717>
- Limas, M. L. (2021). *Como cultivar y cosechar la Azolla | Azolla bolivia*.
<https://azollabolivia.wordpress.com/como-cosechar/>
- López, A. E. G. (2020). *DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN*. 21.
- López, J. (2011). *En torno a una estrategia de crecimiento agrícola*.
<https://www.jstor.org/stable/42777188>
- Loreto, C., Rosales, N., Bermúdez, J., & Morales, E. (2013). PRODUCCION DE PIGMENTOS Y PROTEINAS DE LA CIANOBACTERIA ANABAENA PCC 7120 EN RELACION A LA CONCENTRACION DE NITROGENO E IRRADIANCIA. *Gayana. Botánica*, 60(2), 83–89. <https://doi.org/10.4067/S0717>
- Mancilla Castro, D. A., & Pérez Román, D. (2022). Rendimiento y valor nutricional de *Azolla filiculoides* fertilizada con estiércol de cuy en Arbieta, Cochabamba. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(2), 7–14.
<https://doi.org/10.53287/cbtn6542xa93u>

- Marín, C. D. (2014). *EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO PORTATIL SPAD-502 COMO INDICADOR DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO EN PLANTAS DE CAFÉ*. 117.
- Martínez, J. (2019). Bacterias fijadoras de nitrógeno | *Methylobacterium symbioticum*. *Symborg*. <https://symborg.com/es/bacterias-fijadoras-de-nitrogeno/>
- Martínez, M. (2012). *Biofertilizantes* | *Procuraduría Federal del Consumidor* | *Gobierno* | *gob.mx*. <https://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es>
- Mayz-Figueroa, J. (2014). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista Científica UDO Agrícola*, (1), 1–20.
- Méndez, J. E. T. (2018). Taxonomía y clasificación del café. *Bragantia*, 10, 335–343. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051950001100003>
- Milla Pino, M. E., Oliva Cruz, S. M., Leiva Espinoza, S. T., Collazos Silva, R., Gamarra Torres, O. Á., Barrena Gurbillón, M. Á., & Maicelo Quintana, J. L. (2019). Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra. *Acta Agronómica*, 68(4), 271–277. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.70496>
- Montaño Armijos, M. (2010). *Proyecto azolla anabaena*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/7018>
- Montaño Armijos, M. (2015). *Vista de Estudio de la aplicación de Azolla Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano*. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/240/182>
- Montaño Armijos, M. D. J. (2020). *Azolla: Nuevo paradigma del futuro del arroz*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/17160>
- Montaño, M. (2009). *Desarrollo del recurso Azolla Anabaena y aplicaciones en los sectores agrícola, pecuario, y acuícola*. 5.
- Monteros, R. J. C. (2012). *PARA LA PRODUCCIÓN DE NITRÓGENO EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA DE CAYAMBE, 2010.* 83.
- Morales, M. (2007). Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable. *Estudios Agrarios*, 13(36), Art. 36.
- Motato Alarcón, N., Solórzano Larrea, G., & Cedeño Macías, J. (2015). *Elaboración y uso de abonos orgánicos para el cacao que se cultiva en Manabí*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1172>
- Navarra, J. D. (2020). *Organismos fijadores de nitrógeno*. https://www.unavarra.es/herbario/leguminosas/htm/organismos_fijadores_L.htm
- Navarro, E. A. E. (2010). *Manual Elaboración de Abonos Orgánicos Sólidos, Tipo Compost*.

- Ortega, E., F.G. L., Ortega-Rodes, P., & Rodés, R. (2014). *La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar*.
- Payan, F., Beer, J., Jones, D., Harmand, J.-M., & Muschler, R. (2012). Concentraciones de carbono y nitrógeno en el suelo bajo *Erythrina poeppigiana* en plantaciones orgánicas y convencionales de café. *Agroforestería en las Américas*, 9, 10–15.
- Peña, A. M. F., & Silva, E. P. P. (2017). *Aproximación a la huella hídrica del cultivo de café*. 71.
- Peña, F. (2019). *CULTIVO DE CAFE - AGRO-LOJA*.
<https://sites.google.com/site/agroloja123/assignments/homeworkforweekofoctober25t>
- Pérez, A. (2019). *Variedad de café Sarchimor—Primero Café*.
<https://primerocafe.com.mx/caficultura/variedad-de-cafe-sarchimor/>
- Pérez Ríos, A. J. (2012). *Mineralización de nitrógeno en un suelo franco arcilloso de la Región Metropolitana, tratado con biosólidos urbanos*.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111131>
- Peters, G. A., & Meeks, J. C. (2018). The Azolla-Anabaena Symbiosis: Basic Biology. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40(1), 193–210.
<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.40.060189.001205>
- Portado, M. (2022). *Anabaena*. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Anabaena.html>
- Portela, R. (2021). *Azolla, el asombro helecho de agua*. <https://cienciaybiologia.com/azolla-helecho-agua/?cn-reloaded=1>
- Rivera, E. (2016). *Así funcionan los biofertilizantes—Ciencia UNAM*.
https://ciencia.unam.mx/leer/570/Asi_funcionan_los_biofertilizantes
- Rivera, L. M. (2017). Comportamiento de la azolla (*Azolla* spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. *Cumbres*, 3(2), Art. 2.
<https://doi.org/10.48190/cumbres.v3n2a9>
- Sánchez, S. V., Bueno, D. O., & Jara, P. P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 2(2), 72–91.
- Silva Cardoza, A. (2015). *Plantas Acuáticas: Aerénquima vs. Parénquima*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2542.6404>
- Solórzano, D. M., Brenes Rojas, P., & Peña, W. (2019). Mineralización de nitrógeno de rastrojo de vainica (*Phaseolus vulgaris*) en un suelo andisol tropical. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(3), 388–394. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2700>

- Tejero, D. (2019). *Azolla ¿un beneficio o perjuicio?*
<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1791-azolla-un-beneficio-o-perjuicio>
- TRIPLOV. (2010). *Revista TriploV de Artes, Religiões e Ciências*.
https://www.triplov.com/novaserie.revista/numero_11/francisco_carrapico_et_alii/index.html
- Vélez-Izquierdo, A., & Inurreta-Aguirre, H. D. (2016). Productividad y rentabilidad potencial del café sarchimor. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8), 2011–2024.
- Villacrés, F. C., Quiñónez, L. V., Ponce, F. Q., Charcopa, K. S., & Silva, E. V. da. (2017). Situación de la agricultura familiar y el extractivismo en el Ecuador caso de estudio en las parroquias rurales del cantón Muisne. *Dominio de las Ciencias*, 3(Extra 3), 689–713.
- Villamagua, M. A., Castillo, M. G. G., Sarango, R. del C. R., Vásquez, E., Manosalvas, C. A. V., & Erraez, R. M. M. (2021). Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) en Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 11(1), Art. 1.
- Wagner, R. (2011). *Historia del café de Guatemala*. Villegas Asociados.
- Watanabe, I. (1982). Azolla—Anabaena symbiosis—Its physiology and use in tropical agriculture. En Y. R. Domergues & H. G. Diem (Eds.), *Microbiology of Tropical Soils and Plant Productivity* (pp. 169–185). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-009-7529-3_6
- Watzka. (2016). *Uso eficiente del nitrógeno en agricultura: Formas de absorción, aplicación y efectos beneficiosos*.
https://www.infoagro.com/documentos/uso_eficiente_del_nitrogeno_agricultura__formas_absorcion__aplicacion_y_efectos_beneficiosos.asp
- Works, E. (2019). *Las formas múltiples del Nitrógeno (amónio-nitrato-nitrificación-desnitrificación)*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/las-formas-multiples-del-nitrogeno>
- Yara. (2018). *Resumen nutricional | Yara Ecuador*. Yara None.
<https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cafe/resumen-nutricional/>
- Zambrano-Franco, D. A., & Hinestroza, J. D. I. (2015). *DEMANDA QUIMICA DE OXÍGENO Y NITRÓGENO TOTAL, DE LOS SUBPRODUCTOS DEL PROCESO TRADICIONAL DE BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ*. 11.
- Zuñiga, H. (2018). *Café de Ecuador*. Revista Fórum Café.
<https://www.revistaforumcafe.com/el-cafe-en-ecuador>

11. Anexos

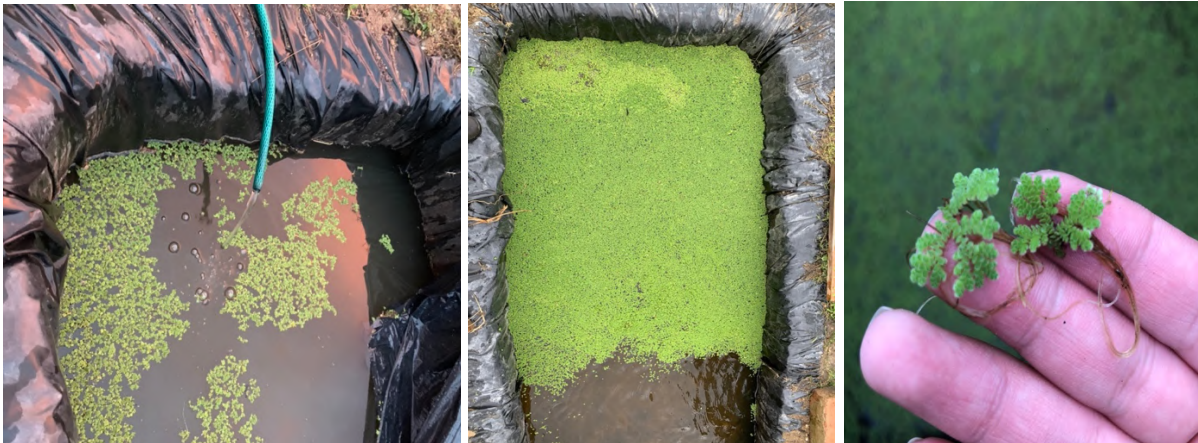
Anexo 1.

Construcción de azollarios



Anexo 2.

Siembra y monitoreo de Azolla filiculoides



Anexo 3.

Vista panorámica del área experimental, "La Argelia", Loja (2023)



Anexo 4.

Aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de café (Coffea arabica L.)



Anexo 5.

Variables evaluadas en el cultivo de café (Coffea arabica L.)



Anexo 6.

Evolución del cultivo de café (Coffea arabica L.)



Anexo 7.

Socialización de resultados en el cantón Vinces, provincia Los Ríos



Anexo 8.

Socialización de resultados en La Quinta Experimental "La Argelia"



Anexo 9.

Certificación de traducción Abstract



Unidad Educativa Fisco misional “Mercedes de Jesús Molina”

Loja, 07 de marzo del 2023

Lic. Carlos Vivanco C.

DOCENTE DE INGLÉS DE LA UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL “MERCEDES DE JESUS MOLINA”.

A petición verbal de la parte interesada:

CERTIFICA

Que, la traducción del documento adjunto solicitado por la Srta. **NOHELY DEL CISNE ESPINOSA PALACIOS** con cédula de ciudadanía No. **1150676342**, cuyo tema de investigación se titula: **Producción y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla - Anabaena* en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en “La Argelia” del cantón Loja**, ha sido realizada por Lic. Carlos Vivanco, docente de la Unidad Educativa “Mercedes de Jesús Molina”.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

Atentamente. -



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS XAVIER
VIVANCO CARRION**



.....
Lic. Carlos Vivanco C.
DOCENTE DE INGLÉS