



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Agronomía

### Evaluación de la fertilización de tres bioproductos en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones controladas en La Quinta Experimental La Argelia.

Trabajo de integración curricular  
previa a la obtención del título de  
Ingeniero Agrónomo

#### Autor:

Alex Fabián Jiménez Alverca

#### Directora:

Ing. Narcisa Urgiles Gómez PhD.

Loja - Ecuador

2022



## Certificación

Loja, 17 de agosto de 2022

Ing. Narcisa de Jesús Urgiles Gómez PhD.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### CERTIFICO

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la fertilización de tres bioproductos en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones controladas en la Quinta Experimental La Argelia** de autoría del estudiante **Alex Fabián Jiménez Alverca**, previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los trámites de titulación.

---

Ing. Narcisa de Jesús Urgiles Gómez PhD.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Alex Fabián Jiménez Alverca**, declaro ser autor del presente trabajo de integración curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

**Firma:** 

**Cédula de identidad:** 1105179020

**Fecha:** 02 de noviembre del 2022

**Correo electrónico:** [alex.f.jimenez@unl.edu.ec](mailto:alex.f.jimenez@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 098 016 8899

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

Yo **Alex Fabián Jiménez Alverca**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la fertilización de tres bioproductos en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones controladas en La Quinta Experimental La Argelia**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrónomo** 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 las cuales tenga convenio la Universidad.

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 02 días del mes de noviembre de dos mil veintidós.

**Firma:**



**Autor:** Alex Fabián Jiménez Alverca

**Cédula:** 1105179020

**Dirección:** La Argelia

**Correo electrónico:** [alex\\_fabi102@hotmail.com](mailto:alex_fabi102@hotmail.com)

**Teléfono:** 098 016 8899

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Directora del Trabajo de Integración Curricular**

Ing. Narcisa Urgiles Gómez PhD.

## **Dedicatoria**

A Dios por concederme salud y vida, por darme la fuerza para luchar por mis metas y por no dejarme solo ni un segundo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante el periodo de estudio.

Con inmensa gratitud y estima a mi madre Nancy Mercedes Alverca Jiménez, a mi tía María Teresa Alverca Jiménez, porque muchos de mis logros se los debo a ellas, desde el primer momento en que decidí seguir este camino me apoyaron incondicionalmente. Me dieron su amor incondicional priorizando mis necesidades antes de las suyas, por ser un ejemplo a seguir, porque desde el principio han sido luz en los momentos oscuros, la esperanza de mis malos días y el coraje cuando el miedo me superaba. Les dedico este trabajo por haber formado la persona que soy y por qué nunca me dejaron solo aun en sus peores momentos.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento, a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo en todo momento.

**Alex Fabián Jiménez Alverca**

## **Agradecimiento**

A Dios por permitirme llevar a feliz término este trabajo, porque la fe en él me dio las fuerzas para seguir adelante, superando cada obstáculo que se presenta a diario en nuestras vidas.

Mi eterna gratitud a mis padres, hermana y familiares por haberme brindado su apoyo moral y económico siendo los pilares fundamentales para lograr una de mis metas, gracias por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

A la Universidad Nacional de Loja (UNL), a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por brindarme el espacio, los recursos y las comodidades para ejecutar todas las actividades necesarias y así concluir de manera exitosa mi formación profesional.

A los docentes que me impartieron clases a lo largo de la carrera, de manera muy especial a mi directora de titulación: Dra. Narcisa Urgiles Gómez y a la Dra. Marina Mazón por darme la confianza; además de sus consejos, tiempo y apoyo incondicional, al brindarme todo el conocimiento y la información para hacer posible este trabajo.

**Alex Fabián Jiménez Alverca**

## Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría .....	iii
Carta de autorización .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos .....	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción .....	4
4. Marco teórico.....	7
4.1 Descripción botánica del café .....	7
4.2 Clasificación taxonómica .....	7
4.3 Crecimiento y desarrollo .....	7
4.4 Requerimientos nutricionales.....	9
4.4.1 Absorción de nutrientes.....	9
4.4.2 Nutrición en la etapa de germinación.....	9
4.4.3 Nutrición en la etapa de almácigo.....	9
4.5 Bioproductos .....	10
4.5.2 Raizoot® .....	10
4.6 Fertilizantes orgánicos.....	11
4.6.1 TrichoTic® ( <i>Trichoderma</i> spp).....	12
4.6.2 Mecanismos de acción de <i>Trichoderma</i> spp.....	13
4.7 <i>Azolla</i> spp .....	15
4.7.1 Composición química de <i>Azolla</i> spp.....	15
4.8 Aplicaciones de los bioproductos en cultivos .....	16
5. Metodología .....	19
5.1 Ubicación del estudio .....	19
5.2 Metodología general.....	20

5.2.1	Tipo de investigación .....	20
5.2.2	Diseño experimental.....	20
5.2.3	Modelo matemático.....	21
5.3	Descripción de los tratamientos .....	21
5.4	Análisis bromatológico de <i>Azolla</i> spp.....	22
5.5	Manejo agrotécnico de las plantas de café .....	22
5.6	Metodología para el primer objetivo.....	24
5.7	Metodología para el segundo objetivo .....	24
5.8	Análisis estadístico.....	25
6.	Resultados .....	26
7.	Discusión.....	32
8.	Conclusiones .....	36
9.	Recomendaciones .....	37
10.	Bibliografía .....	38
11.	Anexos .....	44

## Índice de tablas

Tabla 1. Riquezas garantizadas (% p/v) de cada elemento que conforma el Raizoot®. ..	11
Tabla 2. Composición garantizada de los elementos que componen el bioinsumo TrichoTic®. ....	13
Tabla 3. Características y composición química de Azolla spp.....	15
Tabla 4. Delineamiento de las unidades experimentales del Diseño Completamente al Azar.....	20
Tabla 5. Tratamientos con los cuales se evaluó la fertilización de los tres bioproductos en plántulas de café variedad bourbon.....	22
Tabla 6. Resultado del análisis bromatológico de Azolla spp, realizado en el laboratorio de bromatología de la Universidad Nacional de Loja. ....	26

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del invernadero en La Quinta Experimental La Argelia .....	19
Figura 2. Efecto de tres bioproductos en la altura de las plántulas de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días, para cada tratamiento T1 (SB, sin bioproductos) T2 ( <i>Azolla</i> spp), T3 (TrichoTic®) y T4 (Raizoot®). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). .....	27
Figura 3. Efecto de tres bioproductos en el diámetro del tallo de las plántulas de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días, para cada tratamiento T1 (SB, sin bioproductos), T2 ( <i>Azolla</i> spp), T3 (TrichoTic®) y T4 (Raizoot®). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). .....	28
Figura 4. Efecto de tres bioproductos en cuanto al número de hojas en las plántulas de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días, para cada tratamiento T1 (SB, sin bioproductos), T2 ( <i>Azolla</i> spp), T3 (TrichoTic®) y T4 (Raizoot®). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). .....	29
Figura 5. Efecto de los tres bioproductos en relación a la estimación del área foliar de las plántulas de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días, para cada tratamiento T1 (SB, sin bioproductos), T2 ( <i>Azolla</i> spp), T3 (TrichoTic®) y T4 (Raizoot®). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).....	30
Figura 6. Comparación del efecto de los tres bioproductos en relación a la biomasa seca foliar y radicular de las plántulas de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días. SB= sin bioproductos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). .....	31

## Índice de anexos

Anexo 1. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) de la altura de las plántulas de café en condiciones de invernadero.	44
Anexo 2. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) del diámetro del tallo de las plántulas de café en condiciones de invernadero. ....	45
Anexo 3. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) del número de hojas de las plántulas de café en condiciones de invernadero .....	45
Anexo 4. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) del área foliar efectiva de las plántulas de café en condiciones de invernadero. ....	46
Anexo 5. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) de la biomasa seca radicular de las plántulas de café en condiciones de invernadero.....	46
Anexo 6. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) de la biomasa seca foliar de las plántulas de café en condiciones de invernadero. ....	47
Anexo 7. Recolección de <i>Azolla</i> spp de estanques en el cantón Espiándola, barrio Sanambay.....	47
Anexo 8. Pesado de las dosis de <i>Azolla</i> spp seca luego de haberlas sacado de la estufa en el Laboratorio de Fisiología Vegetal.....	48
Anexo 9. Aplicación de los tratamientos a las plántulas de café ( <i>Azolla</i> spp, TrichoTic® y Raizoot®).....	49
Anexo 10. Aplicación del riego con agua destilada a las plántulas de café a cada tratamiento. ....	49
Anexo 11. Evaluación de la altura de las plántulas de café a cada tratamiento.....	50
Anexo 12. Evaluación del diámetro del tallo de las plántulas de café a cada tratamiento.....	50
Anexo 13. Valor de pH presentado en las plántulas de los distintos tratamientos Testigo (A), <i>Azolla</i> spp (B), TrichoTic® (C) y Raizoot® (D). ....	51
Anexo 14. Plántulas de café a los 100 días de haber aplicado los bioproductos Testigo (A), <i>Azolla</i> spp (B), TrichoTic® (C) y Raizoot® (D). ....	53
Anexo 15. Plántulas de café seleccionadas de los tratamientos para evaluar la biomasa seca Testigo (A), <i>Azolla</i> spp (B), TrichoTic® (C) y Raizoot® (D). ....	53
Anexo 16. Evaluación del peso de la biomasa seca radicular y foliar de los distintos tratamientos en el laboratorio de Fisiología Vegetal. ....	54
Anexo 17. Certificado del resumen del trabajo de investigación escrito en inglés por un	

profesional en el idioma.....55

**Evaluación de la fertilización de tres bioproductos en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones controladas en La Quinta Experimental La Argelia.**

## 2. Resumen

El cultivo de café constituye un rubro de gran importancia económica, social y cultural para el país y Loja, sin embargo, su producción se ve afectada debido a una baja disponibilidad de nutrientes en etapa inicial del crecimiento vegetativo en vivero y de allí la importancia de utilizar bioproductos con la finalidad de propagar plantas sanas y vigorosas y así incrementar la sobrevivencia de las mismas en los cafetales. La investigación se llevó a cabo en el invernadero de la Quinta Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja; el objetivo fue determinar el efecto de la fertilización de tres bioproductos TrichoTic® (T3), Raizoot® (T4), biomasa seca de *Azolla* spp (T2) y un Testigo sin bioproducto (SB), (T1); que fueron considerados los tratamientos para evaluar el crecimiento de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones controladas. Para la definición de resultados se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) y se evaluaron variables de altura, diámetro del tallo, número de hojas por plántula cada 20 días durante 120 días; y, el área de hojas, biomasa seca foliar y radicular, de las plántulas se evaluó una sola vez a los 120 días. De acuerdo a los resultados, en los bioproductos comerciales se observó una mejor respuesta en todas las variables de crecimiento; así en el tratamiento a base de Raizoot® (T4) especialmente en altura 12,00 cm, seguido del bioproducto de TrichoTic® (T3) de 11, 64 cm, a diferencia del SB (T1) que obtuvo 11,40 cm, en todas las variables evaluadas. Sin embargo, en el tratamiento de *Azolla* influyó negativamente por la acidificación presentada en el sustrato. Los mejores resultados en crecimiento y desarrollo de las plántulas de café se registraron en el tratamiento de Raizoot® (T4) en el comportamiento de las variables de crecimiento evaluadas.

**Palabras claves:** Biofertilizantes, microorganismos beneficios, café, desarrollo sostenible, agricultura.

## 2.1 Abstract

Coffee cultivation is an article of great economic, social and cultural importance in Ecuador and Loja, however, its production is affected by, due to a low availability of nutrients in the initial stage of vegetative growth in the nursery, hence the importance of using bioproducts in order to propagate healthy and vigorous plants and thus increase their survival in the coffee plantations. This experimental research work, was carried out in the greenhouse of the Quinta Experimental “La Argelia” of the “National University of Loja”; the main was to determine the effect of the fertilization of three bioproducts TrichoTic® (T3), Raizoot® (T4), dry biomass of *Azolla* spp (T2) and a Control without bioproduct (SB), (T1); which were considered the treatments to evaluate the growth of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) under controlled conditions. For the definition of results, a completely randomized experimental design (CRD) was used and the variables of height, stem diameter, number of leaves per seedling were evaluated every 20 days for 120 days and the area of leaves, leaf and root dry biomass of the seedlings was evaluated only once after 120 days. According to the results of the commercial bioproducts, a better response was observed in all growth variables; thus in the Raizoot® (T4) treatment, especially in height 12.00 cm, followed by the TrichoTic® bioproduct (T3) with 11.64 cm, as opposed to the SB (T1) which obtained 11.40 cm, in all the variables evaluated. However, the *Azolla* treatment was negatively influenced by the acidification of the substrate. The best results in growth and development of coffee seedlings were recorded in the Raizoot® treatment (T4) in the behavior of the growth variables evaluated (Anexo 17).

**Keywords:** Biofertilizers, beneficial microorganisms, coffee, sustainable development, agriculture.

### 3. Introducción

El café es una de las exportaciones más valiosas del mundo y su consumo está creciendo constantemente, tanto en los países productores como en los importadores según la Organización Internacional del Café (OIC). En los 12 meses que finalizaron en febrero de 2022, las exportaciones de la especie arábigo totalizaron 80,8 millones de sacos (OIC, 2016; 2022). De acuerdo al FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), este juega un papel importante en las economías de muchos países, ya que se ha convertido en una fuente importante de empleo, ingresos para los productores y divisas para los Estados (FIRA, 2019).

En Ecuador el 62 % del cultivo corresponde a café arábigo (*Coffea arabica* L.) y 38 % a café robusta (*Coffea canephora* P.), siendo la provincia de Loja una de las regiones más importantes a nivel nacional, representando el 13,5 % de las áreas cafetaleras del país (Monteros, 2017). Aunque el país es un productor pequeño, la producción, comercialización, industrialización y exportación de café son relevantes en la economía, pero a pesar de su relevancia la producción de café en Ecuador es deficiente y se encuentra en una situación crítica debido a la baja productividad (PRO-ECUADOR, 2016), la cual se debe principalmente a la falta de materiales genéticos validados en distintos ambientes, a la existencia de cafetales de edad avanzada con sistemas tradicionales y a un manejo agronómico deficiente, situación que se agudiza por la presencia de plagas y enfermedades.

El aporte de nutrientes durante el crecimiento de plántulas de café y sobre todo en la primera etapa fenológica es crucial. Ciertamente es que los primeros nutrientes los contiene la semilla en sus cotiledones, pero una vez iniciado el proceso de la emergencia de la nueva plántula, es importante que esta se encuentre en un medio rico en nutrientes y en las condiciones adecuadas para su exitoso desarrollo vegetativo (Villacrés, 2016).

Posada (2003) argumenta que el desequilibrio entre la alta demanda de nutrientes por parte de las plántulas de café y la baja disponibilidad en el suelo, comienza a manifestarse desde la etapa de almácigo, por lo tanto, la fertilización debe empezar desde esta fase de cultivo. Cualquier error cometido en el período de producción de plántulas resulta en una baja calidad, falta de homogeneidad y disminución de la longevidad de las plantaciones.

Actualmente, existe un crecimiento sostenible en la demanda de café orgánico en el exterior y con un considerable potencial de desarrollo, la tendencia actual de los consumidores

hacia estilos de vida más sanos, alimentos saludables y de calidad, impulsan a los agricultores hacia sistemas de producción agroecológicos, ya que el uso indiscriminado de agroquímicos, en la agricultura convencional ha provocado problemas de contaminación del medio ambiente (suelo, aire y agua), de ahí que se considera de mucha importancia buscar alternativas de producción limpia tanto a nivel de vivero, como de cultivos en producción (Rudy *et al.*, 2011). Cada vez es más necesario emplear métodos que sean efectivos y viables para obtener buenos rendimientos y satisfacer la demanda nacional e internacional de insumos de café, incrementar la calidad de los productos agrícolas y disminuir los costos de producción (Carvajal, 2010).

La adopción y uso eficaz de bioproductos va imponiéndose actualmente como una de las tecnologías clave para asegurar la sustentabilidad y la productividad de la agricultura, mismos que son obtenidos a partir de organismos vivos o sus derivados tales como hongos, bacterias, material vegetal, enzimas u otros (Filippone *et al.*, 2017).

En el sur del Ecuador es transcendental validar nuevas tecnologías encaminadas a la conservación del medioambiente, por ello, la presente investigación se enfoca en la evaluación de tres bioproductos: *Azolla* spp, *Trichoderma* spp y Raizoot, para evaluar a partir de las variables de crecimiento, las mejores características morfológicas que garanticen una plántula de buena calidad, expresada en sus medidas directas, de tal forma que su sobrevivencia y crecimiento en condiciones de campo esté asegurada.

La investigación se inserta dentro del proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Loja denominado: Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos micorrízicos sobre la macroporosidad del suelo y el crecimiento inicial del café (*Coffea arabica* L.) en dos agroecosistemas de la provincia de Loja, Ecuador. Además, la comunidad universitaria impulsa la expansión de este tipo de investigaciones y el mejorar la calidad de vida de la sociedad, el aprovechamiento de los recursos naturales relacionados con los sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria.

En este contexto, en la presente investigación se planteó como objetivo general “Determinar el efecto de la fertilización de tres bioproductos en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en condiciones controladas”.

Para el logro de esta investigación se plantearon dos objetivos específicos:

- ✓ Evaluar el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) con la aplicación de *Azolla*, *Trichoderma* spp y raizoot en condiciones controladas.
- ✓ Establecer qué bioproducto permite obtener plántulas de café (*Coffea arabica* L.) óptimas para el crecimiento en condiciones de invernadero.

## 4. Marco teórico

### 4.1 Descripción botánica del café

El café (*Coffea arabica* L.) es originario de Etiopía (Tadesse, 2013) y fue descrito por primera vez en 1753 por Linneo, se lo encuentra de forma silvestre entre 400 y 2 000 m s. n. m. (Criollo *et al.*, 2016). Café es el nombre que identifica a las plantas del género *Coffea* que está constituido por más de 80 especies, es un arbusto de hasta cinco metros de altura, presenta un solo tallo o eje central, con nudos y entrenudos, sus hojas son opuestas, ovaladas, de color verde oscuro brillante, sus flores son blancas, hermafroditas, dispuestas en racimos, el fruto es una drupa oblonga, esférica con dos semillas pergaminosas (Gómez, 2010).

### 4.2 Clasificación taxonómica

Espinoza, (2012) menciona que el café pertenece a la siguiente clasificación:

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Rubiales

**Familia:** Rubiaceae

**Género:** *Coffea*

**Especie:** *Coffea arabica* L.

### 4.3 Crecimiento y desarrollo

Arcila (2007) afirma que las etapas de desarrollo del café constan de tres fases: desarrollo vegetativo, fase reproductiva y fase de senescencia. Las investigaciones se centran en la observación de cambios en la morfología de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos, definiéndose un estado fenológico o fase de desarrollo de las plantas (Coa *et al.*, 2015).

El crecimiento vegetativo del café es complejo, puede ser atribuido a diversos factores climáticos como la temperatura, humedad ambiental, etc, los cuales, al incrementar o

disminuir, aceleran los procesos de evaporación y transpiración de la planta (Cisneros *et al.*, 2015).

Se considera como fase vegetativa, al tiempo transcurrido desde la germinación hasta la primera floración, en el caso de especies perennes y arbustivas como el cafeto, la definición de la fase vegetativa es bastante compleja, debido a que el crecimiento vegetativo, por ejemplo, la formación de nudos, hojas y la generación de nuevas raíces, ocurre durante toda la vida de la planta y en la mayor parte del tiempo está intercalado con el crecimiento reproductivo (Arcila, 2007).

La fase de desarrollo reproductivo del café, comienza con la aparición de las primeras flores, el período de iniciación de esta fase puede estar influenciado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica. Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50 % de las plantas hayan florecido, la fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y la maduración (Arcila, 2007).

Se considera que el café alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los seis y los ocho años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad (fase de senescencia), el ritmo de envejecimiento depende de la región donde se establece el cultivo, la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de plagas y enfermedades o del estrés ambiental, entre otros (Arcila, 2007).

El análisis de crecimiento ha sido ampliamente usado para estudiar los factores que influyen en el desarrollo del café y de otros cultivos, es una aproximación cuantitativa para comprender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas, este crecimiento puede ser cuantificado mediante el empleo de un conjunto de índices basados en modelos definidos mediante expresiones o funciones matemáticas, puede ser analizado en términos de un incremento del diámetro del tallo, altura de la planta, número de ramas, número de hojas y peso de la materia seca (Rojas *et al.*, 2012).

#### **4.4 Requerimientos nutricionales**

Varían según el estado del crecimiento, se distinguen cuatro fases: germinativo, almácigo, crecimiento vegetativo y crecimiento reproductivo (Sadeghian S. , 2008). El café requiere 16 o más elementos que se consideran esenciales para su crecimiento, estos, de acuerdo con su origen, pueden clasificarse en minerales (aquellos que se encuentran principalmente en el suelo y son absorbidos por las raíces de las plantas en su forma orgánica) y no minerales (los que proceden esencialmente de la atmósfera y del agua). De acuerdo con la cantidad requerida, los elementos minerales se clasifican en macronutrientes como: Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), y micronutrientes como: Hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo), zinc (Zn), y cloro (Cl), (Sadeghian S. , 2008).

La cantidad requerida de nutrientes por la planta varía de acuerdo con las características del cultivo (especies, variedad, etapa de desarrollo, entre otras), factores climáticos (precipitación, temperatura y luminosidad), propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas) y del manejo de la plantación (densidad de siembra, riego, sombrero, fertilización, etc.) (Sadeghian S. , 2008).

##### **4.4.1 Absorción de nutrientes**

La mayor parte de sus nutrientes se absorben por sus raíces absorbentes o raicillas, zona que abarca los 10 primeros centímetros del perfil del suelo y cerca de la proyección de la copa (Figuroa, 2012).

##### **4.4.2 Nutrición en la etapa de germinación**

Tiene una duración de dos meses, las semillas se siembran en arena y no requieren la adición de nutrientes, las reservas nutritivas contenidas en las mismas suplen las necesidades de las plántulas para alcanzar su desarrollo completo, solo requiere condiciones adecuadas de humedad, oscuridad y temperatura, además del manejo fitosanitario (Sadeghian S. , 2008).

##### **4.4.3 Nutrición en la etapa de almácigo**

Transcurre desde que la plántula de café ha emitido el primer par de hojas primarias, hasta el momento de la siembra en el campo y tiene una duración aproximadamente de seis meses. Es uno de los pilares fundamentales en el establecimiento de los cultivos que puedan permanecer por más de 15 años en el campo. Entre los factores de éxito está la adecuada

nutrición de las plantas, la cual depende entre otros aspectos, de la selección apropiada de la dosis y la fuente de cada elemento nutricional. El exceso en la cantidad de un fertilizante puede generar desbalances nutricionales, con consecuencias negativas en el crecimiento; en casos severos se produce toxicidad e incluso la muerte de la planta (Zapata, 2015; Sadeghian, 2008).

## **4.5 Bioproductos**

### **4.5.1 Fertilizantes inorgánicos**

Son aquellos elaborados artificialmente y están compuestos principalmente por sales minerales de nitrógeno, fósforo y potasio; cuando contienen uno solo elemento se les conoce como simples y cuando contienen más de uno se les conoce como compuestos. El mayor beneficio del uso, en la agricultura, es que se obtienen resultados muy rápidos, de forma visible, mejorando el estado de salud de las plantas y aumentando la producción de las cosechas, sin embargo, deben usarse eficazmente (Guzmán, 2018).

### **4.5.2 Raizoot®**

Es un abono especial NPK enriquecido con aminoácidos, microelementos y bioestimulantes radiculares (Tabla 1), se presenta como solución líquida altamente concentrada. Está compuesto por una elevada concentración de aminoácidos específicos para el desarrollo radicular primario y secundario. Con su aplicación, se potencia el desarrollo del sistema radicular, la resistencia de este frente a hongos y bacterias de suelo y la absorción de nutrientes por la planta (AgrinovaScience, 2018).

Es un enraizante que amortigua el estrés que sufre la planta en el momento del trasplante y facilita la propagación por esquejes y estacas. Como resultado final del fortalecimiento radicular, se obtienen frutos de mayor calidad y, por tanto, el rendimiento productivo aumenta (AgrinovaScience, 2018).

Tabla 1. Riquezas garantizadas (% p/v) de cada elemento que conforma el Raizoot® (AgrinovaScience, 2018).

Aminoácidos libres	11,0 % p/v
Boro (B)	0,12 % p/v
Nitrógeno total (N )	3,6 % p/v
Manganeso (Mn)	0,24 % p/v
Nitrógeno orgánico	0,8 % p/v
Zinc (Zn)	0,12 % p/v
Nitrógeno ureico	1,3 % p/v
Cobre (Cu)	0,06 % p/v
Nitrógeno amoniacal	1,5 % p/v
Molibdeno (Mo)	0,012 % p/v
Fósforo (P2O5)	7,3 % p/v
Factores Bioestimulantes	0,49 % p/v
Potasio (K2O)	3,7 % p/v
Hierro (Fe)	0,49 % p/v
ANA	0,43 % p/v
AIB	0,06 % p/v

#### 4.6 Fertilizantes orgánicos

Los abonos orgánicos son compuestos naturales que se obtienen por la descomposición o mineralización de materiales orgánicos que se utilizan para mejorar la calidad del suelo y proporcionar nutrientes a los cultivos con el fin de reemplazar o disminuir el uso de los fertilizantes químicos (Yugsi, 2011).

Por abono orgánico se entiende todas las sustancias orgánicas, de origen animal, vegetal o mixto, que se añaden al suelo con el fin de mejorar su fertilidad, además de aportar al suelo sustancias nutritivas, influyen positivamente sobre la estructura del suelo y sirven de alimento a los microorganismos, estos tipos de abono se presentan de diferente manera como la orina, sangre, huesos, cuernos, residuos de pesca, los cuales son de origen animal, y de origen vegetal tenemos la turba, residuos de cultivos, semillas, hojas secas, algas y desechos de cocina, y otros abonos como el estiércol y los residuos de hogares (Guerrero, 2018).

Constituyen un elemento crucial para la regulación de muchos procesos relacionados con la productividad agrícola; son bien conocidas sus principales funciones, como sustrato o medio de cultivo, mantenimiento de los niveles originales de materia orgánica del suelo y complemento o reemplazo de los fertilizantes de síntesis; este último aspecto reviste gran importancia, debido al auge de su implementación en sistemas de producción limpia y ecológica (Ramos, 2014).

#### **4.6.1 TrichoTic® (*Trichoderma spp*)**

Es un hongo anaerobio facultativo microscópico, que se encuentra de manera natural en un número importante de suelos agrícolas y otros tipos de medios. De igual manera, muestra diversas ventajas como agente de control biológico, debido a su rápido crecimiento y desarrollo (Rivera, 2018).

La actividad biológica está relacionada con la variedad de metabolitos que producen, que se ha descubierto que inhiben directamente el crecimiento de los patógenos, mejoran la resistencia a las enfermedades y mejoran el crecimiento de las plantas (Sharma *et al.*, 2019). Se ha demostrado que *Trichoderma spp* actúa contra un amplio rango de hongos fitopatógenos transmitidos por suelo y aire, ha sido identificado como potencial agentes de biocontrol, para uso contra hongos asociados, tales como *Fusarium spp*, *Rhizoctonia spp*, *Pythium spp*; y patógenos formadores de esclerocios como *Sclerotinia* y *Sclerotium* (Chiriboga *et al.*, 2015). *Trichoderma* extrae nutrientes de los hongos que degrada y de otros materiales orgánicos, ayudando a su descomposición, por lo que se ve favorecido con la adición de materia orgánica y compostaje, adicionalmente, este hongo presenta aislamientos con poderes antibióticos, los cuales actúan contra varios microorganismos fitopatógenos (Rivera, 2018), se comporta como saprófito en la rizosfera, por lo que es capaz de destruir residuos de plantas infectadas por patógenos, se considera que su acción es antagonista, y es capaz de sacar el mejor provecho dada su alta adaptación al medio y su competencia por el sustrato y espacio, el agente biocontrolador envuelve al hongo a atacar y penetra sus células, con lo cual le causa un daño extensivo que involucra la alteración de la pared celular, incluyendo su degradación, la retracción de la membrana plasmática de la pared y la desorganización del citoplasma, también actúa sobre la replicación celular al inhibir la germinación de esporas (Martínez *et al.*, 2013).

Los hongos del género *Trichoderma* spp actúan como descomponedores primarios de la materia orgánica, que se ve favorecido con la adición de materia orgánica y compostaje, aumenta las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hacen más rápidos los procesos fisiológicos que influye sobre la absorción de nutrientes y el rendimiento de los cultivos (Rivera, 2018). En la Tabla 2 se detalla la composición del bioinsumo TrichoTic®.

Tabla 2. Composición garantizada de los elementos que componen el bioinsumo TrichoTic® (Agrodiagnostic, 2021).

Composición	Concentración
<i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Trichoderma viride</i> , <i>Trichoderma cremeum</i> , <i>Trichoderma theobramicola</i>	70 %
Ingrediente Inerte	30 %
Contenido de esporas viables	$5 \times 10^8$ / ml
Contenido de metabolito activo	80

#### 4.6.2 Mecanismos de acción de *Trichoderma* spp

**Promotor del desarrollo vegetativo:** Raíces colonizadas por *Trichoderma* spp frecuentemente aumentan el crecimiento, desarrollo, productividad del cultivo, resistencia a estrés abiótico e incremento en la toma y uso de nutrientes (Rivillas, 2012). Diferentes especies del género *Trichoderma* producen factores de crecimiento, los cuales han sido detectados e identificados en el laboratorio, como son las auxinas, citoquininas y etileno, también, se ha descrito la producción de fitohormonas, tales como indol, ácido acético y etileno, también, producen moléculas de citoquininas y giberelinas GA3, involucradas en eventos de estimulación de crecimiento y desarrollo de las plantas. En adición a las características anteriormente mencionadas, *Trichoderma* tiene la capacidad de acidificar el entorno en que se encuentra por la secreción de ácidos orgánicos como ácido glucánico, cítrico y fumárico. Estos

ácidos orgánicos resultan del metabolismo de otras fuentes de carbono, principalmente glucosa, trayendo consigo la solubilización de fosfatos, micronutrientes y minerales incluyendo el hierro, magnesio y manganeso (Rivillas, 2012).

**Estimulador de los mecanismos de defensa de las plantas:** La habilidad de diferentes especies de *Trichoderma* de proteger las plantas contra patógenos radicales ha sido atribuida a un efecto antagónico contra la invasión del patógeno, sin embargo, las asociaciones hongo-raíz también estimulan los mecanismos de defensa de las plantas *Trichoderma* ejerce una protección a las plantas frente a patógenos que producen daños radicales y aéreos, inclusive infecciones virales (Rivillas, 2012). Estos mecanismos de inducción de resistencia son similares a la respuesta hipersensitiva, resistencia sistémica adquirida y resistencia sistémica inducida “RSI” en plantas. A nivel molecular, la resistencia resulta en un incremento de la concentración de metabolitos y enzimas relacionadas con los mecanismos de defensa, como la enzima Fenil-alanina amonio-liasa involucrada en la biosíntesis de fitoalexinas, quitinasas y glucanasas. Los genes de las plantas responden a patógenos o elicitores, por esta razón, los mecanismos de defensa de las plantas no necesariamente requieren de la estimulación de un agente vivo. La adición de metabolitos de *Trichoderma* que actúan como elicitores a la resistencia de la planta de bajo peso molecular, éstos son liberados por el hongo o por la pared celular de las plantas, debido a la actividad enzimática del hongo (Rivillas, 2012). Existen otros metabolitos secundarios producidos por diferentes especies de *Trichoderma*, los cuales inducen una expresión relacionada con la patogénesis, es así como se ha demostrado que al aplicar esta clase de proteínas en las plantas se reducen los síntomas de la enfermedad. (Rivillas, 2012).

**Facilitador de la solubilización y absorción de nutrientes:** Para desarrollar su metabolismo *Trichoderma* spp. necesita de fuentes de carbono difícilmente biodegradables, como ligninas y celulosas. Por ello, es capaz de movilizar nutrientes del suelo mediante excreción de enzimas extracelulares que transforman compuestos nitrogenados orgánicos en nitrógeno inorgánico, fundamentalmente amonio, y compuestos fosforados orgánicos en fósforo inorgánico, entre otros. Esta solubilización de nutrientes permite su utilización por las plantas, aumentando su salubridad y resistencia al ataque de patógenos (Rivillas, 2012). Martínez *et al.*, (2013) menciona que algunas cepas de *Trichoderma* pueden incrementar el uso

eficiente del nitrógeno en las plantas. Específicamente, semillas tratadas con algunas especies de *Trichoderma* pueden reducir la necesidad del uso de fertilizante nitrogenado hasta en 33% aproximadamente, mejorando a su vez la producción de las plantas.

#### 4.7 *Azolla* spp

Es un género de helecho acuático, que tiene usos multifacéticos y ha ganado considerable importancia en los últimos tiempos específicamente entre los diferentes tipos de biofertilizantes y abonos verdes, por ser una fuente amigable con el medioambiente, económicamente viable, también es una buena fuente de fósforo, potasio, carbono orgánico y otros minerales, teniendo un gran potencial de mejorar la fertilidad del suelo (Bhuvaneshwari, 2015; Nikhil, 2012).

La aplicación de *Azolla* spp como biofertilizante en cultivos agrícolas, puede ser muy beneficiosa para el futuro de nuestro planeta y para multitudes de agricultores en muchas partes del mundo que no pueden pagar fertilizantes químicos, su uso puede mejorar su situación económica, aumentar los rendimientos y minimizar los costos de producción (Ghorai, 2019).

##### 4.7.1 Composición química de *Azolla* spp

La composición de *Azolla* como muestra vegetal (en relación peso seco, Tabla 3) de acuerdo a los análisis realizados en la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL-ICQ y en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIAP respectivamente es la siguiente:

Tabla 3. Características y composición química de *Azolla* spp (Montaño, 2010).

Contenido	Porcentaje (%)
Humedad	97,34
Cenizas	8,10
E.E	2,50
Proteína	3,42
Fibra	24,95
E.L.N	61,04
Nitrógeno	4 – 5
Fósforo	0,5
Potasio	1 – 2

Calcio	0,5
Magnesio	0,5
Hierro	0,1

#### 4.8 Aplicaciones de los bioproductos en cultivos

Los estudios sobre el uso de *Azolla* spp como fertilizante autosustentable para la propagación de plántulas de café son totalmente novedosos en nuestro medio, ya que no se encontró información de la misma. Sin embargo, existen investigaciones donde se evalúa este fertilizante en otros cultivos como arroz, brócoli y maíz.

En el caso de arroz variedad INIAP 12 o INIAP 14, se observó que la capacidad de fertilización de la *Azolla* se cifraba en un rendimiento promedio de 7,42 t/ha, que se obtuvo en el cultivo de invierno, dosificando 40 t/ha de *Azolla*, siendo un negocio rentable al producir una Tasa Interna de Retorno del orden de 50,60 %, lo que resulta mayor a la tasa de descuento del costo de capital (Montaño, 2005).

Además, Zurita *et al.* (2018) evaluó el efecto de dos sustratos alternativos de siembra (tusa de maíz y *Azolla anabaena*) sobre los parámetros vegetativos (días a la emergencia, diámetro del tallo, altura de planta y volumen de raíces) en plántulas de brócoli híbrido Coronado, los cuales fueron comparados con un sustrato comercial (BM2). Los valores de grosor de tallo, altura de planta y volumen de raíz fueron estadísticamente superiores ( $p < 0,001$ ) en las plántulas sembradas en el sustrato comercial (0,18 cm; 5,27 cm y 0,61 cm<sup>3</sup>, respectivamente), seguidos de aquellas plántulas sembradas en el sustrato con 100% de *Azolla* (0,17 cm; 4,92 cm y 0,49 cm<sup>3</sup>, respectivamente). Las plántulas que crecieron en aquellos sustratos con mayor proporción de tusa mostraron menores valores en estos parámetros vegetativos. Basados en los resultados, *Azolla* mostró potencialidad para ser usado como sustrato de siembra en la producción de plántulas de brócoli.

En otra investigación realizada por Aldás *et al.* (2016) se evaluaron los estados de *Azolla* A1 en estado seco y A2 en estado fresco en plantas de maíz; las dosis se establecieron en relación al volumen de *Azolla* frente al volumen de suelo utilizado: 0,5:1, 0,75:1 y 1:1. Los datos recopilados fueron altura de planta y porcentaje de nitrógeno en materia seca a los 15,

30, 60 y 90 días. Los mejores resultados se presentaron en el tratamiento A1D3 (*Azolla* en estado seco-Dosis 1:1) teniendo en altura de planta 15,02 cm a los 15 días, 35,88 cm a los 30 días, 53,22 cm a los 60 días y 66,12 a los 90 días; para porcentaje de nitrógeno 0,54 % a los 15 días, 0,90 % a los 30 días, 1,68 % a los 60 días y 2,08 % a los 90 días. En conclusión, el uso de la *Azolla* como un biofertilizante rico en nitrógeno es factible, ya que se ha podido demostrar en esta investigación que la planta de maíz se beneficia del aporte de este material, mejorando las prácticas agrícolas sostenibles.

En cambio, varias especies de *Trichoderma* sí han sido aplicadas en varias investigaciones en café. Por ejemplo, en la investigación efectuada por Zhirvi (2016) se encontró que con la aplicación de una cepa nativa de *T. harzianum* en dosis de 20 cm<sup>3</sup>/litro, obtuvo los mejores resultados en cuanto al tamaño radicular, altura, diámetro de tallos, número de hojas y pesos de materia seca, en la producción de plántulas de café a nivel de vivero, frente al testigo comercial TRICHO-AGRO.

En un estudio realizado con *Trichoderma viride* en un cultivo de soya, además de observar el efecto protector frente al ataque de *Fusarium oxysporum* y *Pythium arrhenomanes*, hongos patógenos que disminuyen en un alto porcentaje la germinación de la semilla y en general, todos los estados de desarrollo de la planta, registraron que *T. viride* proporcionó un mayor crecimiento de las plantas, evidenciado en un mayor peso seco de tallo, raíz y frutos y mayor producción, en comparación con las plantas testigo y las inoculadas con los patógenos. (Rivillas, 2012).

En otra investigación realizada por Bone (2021) menciona que el bioestimulante que presentó mayor desarrollo morfológico de plántulas de *Coffea arabica* en condiciones de vivero fue el compuesto por Tricho D (*Trichoderma harzianum*) en altura de planta con promedio de 15,18 cm, mientras que el compuesto por *Micorriza* (Ecomic) tuvo un mayor número de hojas con promedio de 13,49, así como una mayor longitud de raíz con promedio de 19,94 cm.

En otro trabajo se evaluaron tres bioestimulantes: lixiviado de vermicompost de estiércol bovino, *Trichoderma* spp y microorganismos eficientes, en el cual se observó que los tres productos estimularon la germinación y el crecimiento con respecto al testigo, destacándose el efecto de *Trichoderma harzianum* (4 ml L<sup>-1</sup> de 1x10<sup>9</sup> UFC ml<sup>-1</sup>) en la altura

de planta y el diámetro del tallo en el crecimiento de café (Pincay *et al.*, 2022). Jácome (2015) encontró que con la aplicación de bioestimulantes (Ergostim, Hormonagro, Bioplus) con dosis recomendadas por el distribuidor del producto, existió una respuesta positiva de las plántulas de café en todos sus parámetros de crecimiento.

Fernández (2012) en su investigación determinó que con las dosis Raizoot (5 ml /L de agua) y Codi-Raíz (5 ml/L de agua) se obtuvo la mayor altura en plantas de cacao, en promedio llegando hasta 14,8 y 14,12 cm respectivamente; con dichas dosis se superó al testigo sin aplicación que llegó hasta 10 cm de altura por planta en promedio. Del mismo modo para la evaluación del número de hojas verdaderas las dosis de Raizoot (5 ml/L de agua) y la de Codi-Raíz (5 ml/L de agua) superaron al testigo, llegando hasta 12 y 11,4 hojas respectivamente.

## 5. Metodología

### 5.1 Ubicación del estudio

El estudio se realizó al sur del Ecuador, en la provincia de Loja, cantón Loja, concretamente en el invernadero de La Quinta Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja (Figura 1). Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas: latitud Sur  $4^{\circ}1'59.03''$  y longitud Oeste  $79^{\circ}11'57.97''$  a una altitud de 2140 m s. n. m.

Las condiciones meteorológicas que presenta el sitio de investigación según el plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Loja (2020) son:

- ❖ Precipitación media anual de 900 mm.
- ❖ Temperatura media anual de  $18^{\circ}\text{C}$ .
- ❖ Humedad media de 78 %.

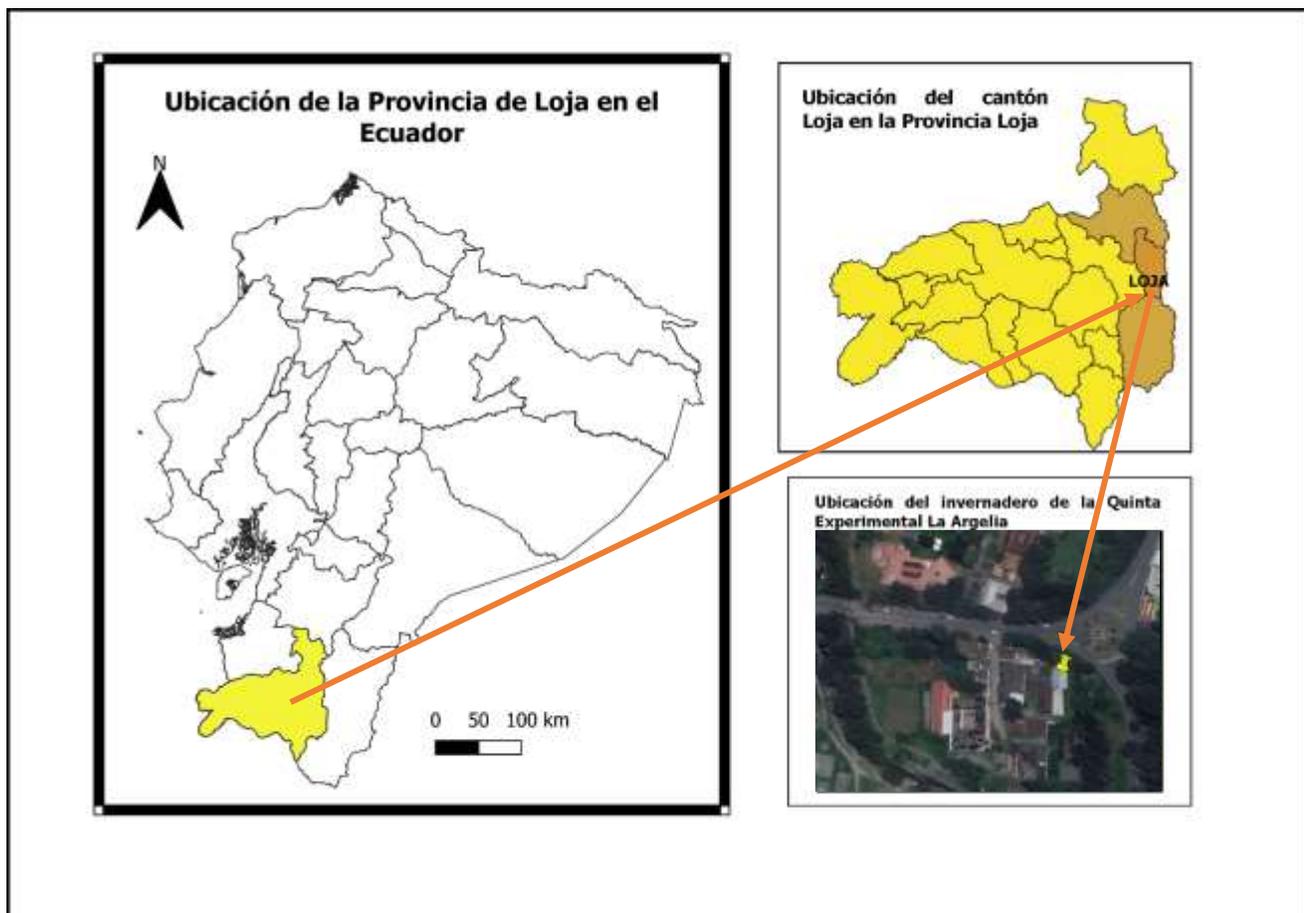


Figura 1. Ubicación del invernadero en La Quinta Experimental La Argelia (MAE, 2022).

## 5.2 Metodología general

### 5.2.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental con enfoque cuantitativo, se recopiló información cuantificable para ser utilizada en los análisis estadísticos de la muestra de población. El alcance de la investigación experimental es de tipo descriptiva y comparativa-causal, con la finalidad de puntualizar las características de la población que se estudió.

El estudio consistió en el uso de TrichoTic® y Raizoot® frente a la biomasa seca de *Azolla* spp, como biofertilizantes o bioproducto y un control (plantas sin bioproductos) en el crecimiento de plántulas de café variedad bourbon. Este estudio se realizó en condiciones controladas.

### 5.2.2 Diseño experimental

Se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Los lineamientos considerados de las unidades experimentales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Delineamiento de las unidades experimentales del Diseño Completamente al Azar.

<b>ITEMS</b>	<b>VALORES</b>
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones por tratamiento	5
Número total de réplicas	20
Número total de plántulas	100
Número de plántulas por tratamiento	25
Número de plántulas por unidad experimental	5
Número de plántulas evaluadas por tratamiento	25
Unidades experimentales	Macetas

### 5.2.3 Modelo matemático

León (2022) menciona que el modelo matemático a usarse para un Diseño Completamente al Azar (DCA) es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Para

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

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

Donde

$Y_{ij}$ : Observación correspondiente a la  $j$ -ésima unidad experimental que recibió el  $i$ -ésimo tratamiento.

$\mu$ : Media general.

$\tau_i$ : Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$ : Error aleatorio.

### 5.3 Descripción de los tratamientos

***Azolla spp***: Se recolectó de estanques o piscinas en el cantón Espíndola, barrio Sanambay (Anexo 8). Para bajar el exceso de humedad fue colocada sobre una superficie limpia de plástico polietileno negro, a temperatura ambiente por cuatro días, posteriormente, en estufa a 65 °C por 48 horas hasta que se estabilizó su peso específico (Anexo 9). Se aplicó el 5 % de la capacidad total del sustrato mezclado con el sustrato utilizado en la maceta.

**TrichoTic®**: Es un bioinsumo que contiene *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride*, *Trichoderma cremeum*, *Trichoderma theobramicola*, esporas viables en 100 ml  $5 \times 10^7$ , de la casa comercial AGRODIAGNOSTIC, en dosis de 80 ml/planta, se aplicó en la base de la planta o en el sustrato, para que los nutrientes se encuentren presentes lo más cerca de sus raíces y pueda ser aprovechado por las plántulas.

**Raizoot®:** Es un bioestimulante enriquecido con macro y micronutrientes y reguladores de crecimiento de la casa comercial AGRINOVA, la dosis utilizada fue según las indicaciones en la ficha técnica del producto para el uso en semillero y vivero, en dosis de 80 ml/ planta, aplicó en la base de la planta o en el sustrato, para que los nutrientes se encuentren presentes lo más cerca de sus raíces y pueda ser aprovechado por las plántulas. Los tratamientos aplicados por plántula se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Tratamientos con los cuales se evaluó la fertilización de los tres bioproductos en plántulas de café variedad bourbon.

N°	Símbolo	Condiciones	Dosis por plántula
1	T1	*SB-Testigo	0
2	T2	<i>Azolla</i> spp	50 g
3	T3	TrichoTic®	80 ml
4	T4	Raizoot®	80 ml

\*SB: sin bioproductos

#### 5.4 Análisis bromatológico de *Azolla* spp

El contenido nutricional de *Azolla* spp se evaluó mediante análisis químicos en el Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, donde se realizaron los siguientes análisis: Ceniza, grasa cruda, Fibra cruda y nitrógeno total. Para ello, se tomó una muestra representativa de materia seca de *Azolla* spp de 250 g, se colocó en bolsas de papel, selladas herméticamente y etiquetadas (nombre, fecha, procedencia de la muestra y otra información que se considere pertinente) y se analizó cada una de las variables mencionadas anteriormente.

#### 5.5 Manejo agrotécnico de las plantas de café

##### Desinfección del sustrato

El sustrato fue desinfectado con agua hervida a 100 °C y por insolación por tres días, ya que el éxito de unas buenas plantaciones radica en una buena desinfección del sustrato donde las plantas se van a desarrollar, el sustrato fue de arena y tierra agrícola en relación (2:1).

## **Trasplante**

Se lo realizó 60 días después que las plántulas de café cumplieron su ciclo en el semillero (fosforito o en botón), en macetas de plástico de 1000 g, llenadas con un sustrato de arena y tierra agrícola (2:1) con pH neutro, hasta que las plantas tuvieron 4 meses después del trasplante.

## **Aplicación de los tratamientos**

Se realizaron dos aplicaciones de los bioproductos por tratamiento (a los 20 y 40 días después del trasplante) en cada planta (Anexo 10), y se registraron los datos.

## **Riego**

El riego se efectuó con agua destilada cada dos o tres días de acuerdo a las condiciones climáticas, considerando que el agua es de suma importancia para que las plántulas de café se desarrollen normalmente (Anexo 11).

## **Control de malezas**

Se realizó de manera manual en cada uno de los tratamientos de acuerdo a la presencia de estas en las macetas utilizadas en la investigación.

## **Control de enfermedades**

A los 60 días después del trasplante se presentó la infestación de hongos conocido como "mal del talluelo" (*Rhizoctonia solani*), por lo cual se aplicó RIVAL (Ingrediente activo: Propamocarb Hydrochloride) etiqueta azul, menos al tratamiento a base de TrichoTic, en una dosis de 1 ml/l litro de agua, mediante una bomba fumigadora de 8 litros a la parte foliar de la plántula para reducir el crecimiento del hongo patógeno.

## **Control de plagas**

Durante el crecimiento de las plantas de café en condiciones controladas se presentó el ataque de insectos del Orden Diptera de la especie *Musca domestica* por lo que se instalaron seis trampas engomadas libres de compuestos tóxicos (Rapi Trampa), una trampa por cada tratamiento, en la superficie donde se encontraban las plántulas, con la que se consiguió frenar la proliferación de esta plaga.

## **Fertilización**

No se realizó aplicación de fertilizantes en el sustrato ya que los mismos podrían inferir en los resultados de la investigación, solo se aplicaron los bioproductos.

### **5.6 Metodología para el primer objetivo**

Para evaluar los diferentes indicadores de crecimiento en *C. arabica* variedad bourbon se tomaron datos de todas las plántulas por tratamiento, cada 20 días y durante 120 días (Anexo 15). Las plantas al momento del trasplante tenían la edad de 80 días. Se evaluaron las siguientes variables: altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas.

#### **Altura de la plántula (cm)**

Se tomaron datos considerando desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la planta, con un flexómetro de 5m/16' (Anexo 12).

#### **Diámetro del tallo (mm)**

Siempre a 2 cm por arriba del cuello de la raíz, se tomaron datos con un calibrador Vernier digital de 6" – 150 mm (Anexo 13).

#### **Número de hojas (N°)**

Se contabilizaron aquellas que midieron más de 2 cm de ancho y 3 cm de largo, sin contar las hojas cotiledonales.

### **5.7 Metodología para el segundo objetivo**

“Establecer qué bioproducto permite obtener plántulas de café (*Coffea arabica* L.) óptimas para su crecimiento en condiciones de invernadero”

Para establecer qué bioproducto permite obtener plántulas de café óptimas para su crecimiento se tomaron datos de cinco plántulas por tratamiento, a los 120 días se evaluó área foliar total efectiva, biomasa seca foliar y biomasa seca radicular.

#### **Área foliar total efectiva**

Al término de los 120 días de la evaluación por cada tratamiento se escogió una plántula por repetición, posteriormente, se tomaron las medidas de una hoja del centro del tallo. Se determinó el área foliar mediante las medidas lineales del largo y el ancho de las hojas con la aplicación de la siguiente fórmula (Soto, 1980):

$$AF = \{[0,64 * (L * A)] + 0,49\}$$

**AF:** área foliar en cm.

**L:** largo de la hoja en cm.

**A:** ancho de la hoja en cm.

#### **Determinación de biomasa seca (g)**

La biomasa seca foliar y radicular se determinó al final de la etapa de evaluación del crecimiento de las plantas de café en el invernadero, de cinco muestras por tratamiento (una plántula por repetición (Anexo 16), colocando cada parte en bolsas de papel y luego se llevó a la estufa a 55 °C por 48 horas hasta que se estabilice su peso específico (Anexo 17).

#### **5.8 Análisis estadístico**

Primeramente se verificó la normalidad y homogeneidad de varianza de los datos mediante los tests de Shapiro- Wilks y de Levene, respectivamente, mismos que indicaron que sí se cumplieron estos parámetros. También se realizaron análisis de correlación de Pearson. Para analizar los datos se aplicó estadística paramétrica, por lo tanto, se realizó análisis de varianza (ANOVA), con la prueba de significación de Tukey ( $p < 0,05$ ), en el programa estadístico InfoStat versión 2020 y la utilización de Excel 2019.

## 6. Resultados

### **Análisis bromatológico de *Azolla* spp**

Los datos presentados en el análisis bromatológico de la muestra de *Azolla* spp utilizada en este proyecto indican que el producto final que sería aplicado como fertilizante tiene un porcentaje de nitrógeno de 2,59 % (Tabla 6).

Tabla 6. Resultado del análisis bromatológico de *Azolla* spp, realizado en el laboratorio de bromatología de la Universidad Nacional de Loja.

<b>Contenido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cenizas	53,00
Grasa cruda	2,23
Fibra cruda	12,57
Nitrógeno total	2,59

### **Altura de las plántulas**

El efecto de los bioproductos en cuanto al crecimiento de las plántulas de café en invernadero; en la variable altura de las plántulas, se registraron los mejores resultados en los tratamientos T4 (Raizoot®), T3 (TrichoTic®), T1 (Testigo), con medias de 12,00, 11,64, 11,37 cm respectivamente, que difieren estadísticamente con relación al tratamiento T2 (*Azolla* spp) que se diferencia estadísticamente, con medias de 8,92 cm (Anexo 1), las cuales son plántulas de menor altura (Figura 2).

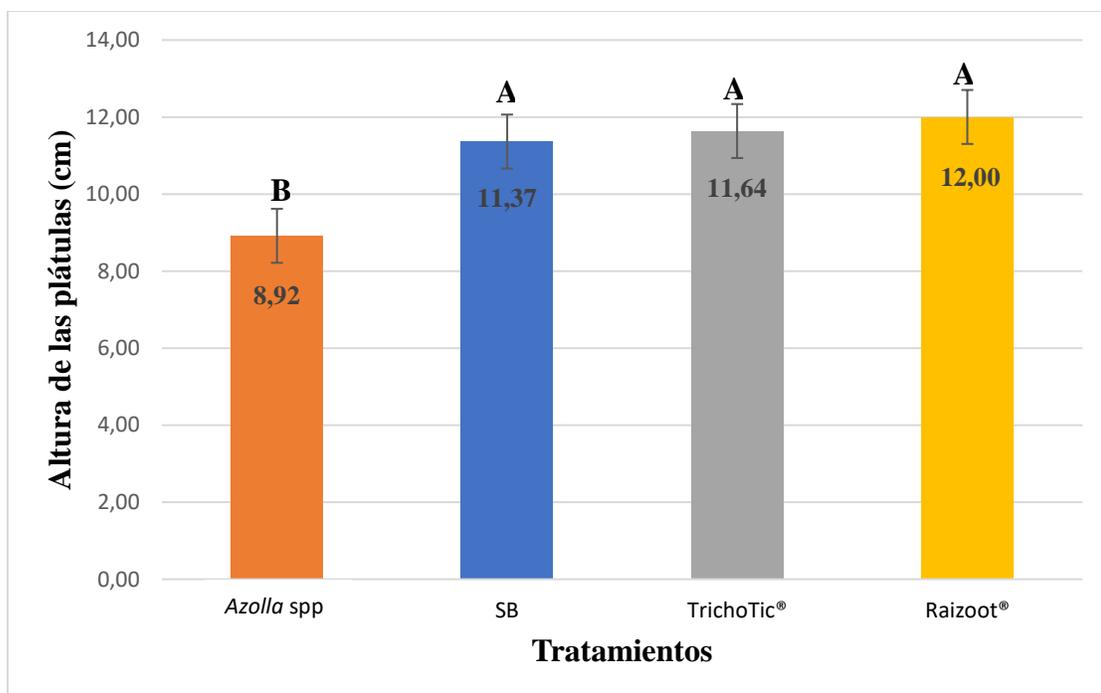


Figura 2. Efecto de tres bioproductos en la altura de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días, para cada tratamiento T1 (SB, sin bioproductos), T2 (*Azolla* spp), T3 (TrichoTic®) y T4 (Raizoot®). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### Diámetro del tallo

En cuanto la variable diámetro del tallo de las plántulas de café, se presentan en la Figura 3, en donde se determinó que si existe interacciones entre los bioproductos, en el crecimiento de las plántulas, lo que nos indica que si existe gran variabilidad entre los tratamientos evaluados; registrando el mayor diámetro del tallo en el tratamiento T4, con una media de 3,08 mm, seguido del tratamiento T3, con una media de 2,98 mm. El tratamiento que presentó menor diámetro fue T2 el cual fue a base de *Azolla* spp, presentando una media de 2,27 mm respectivamente (Anexo 2).

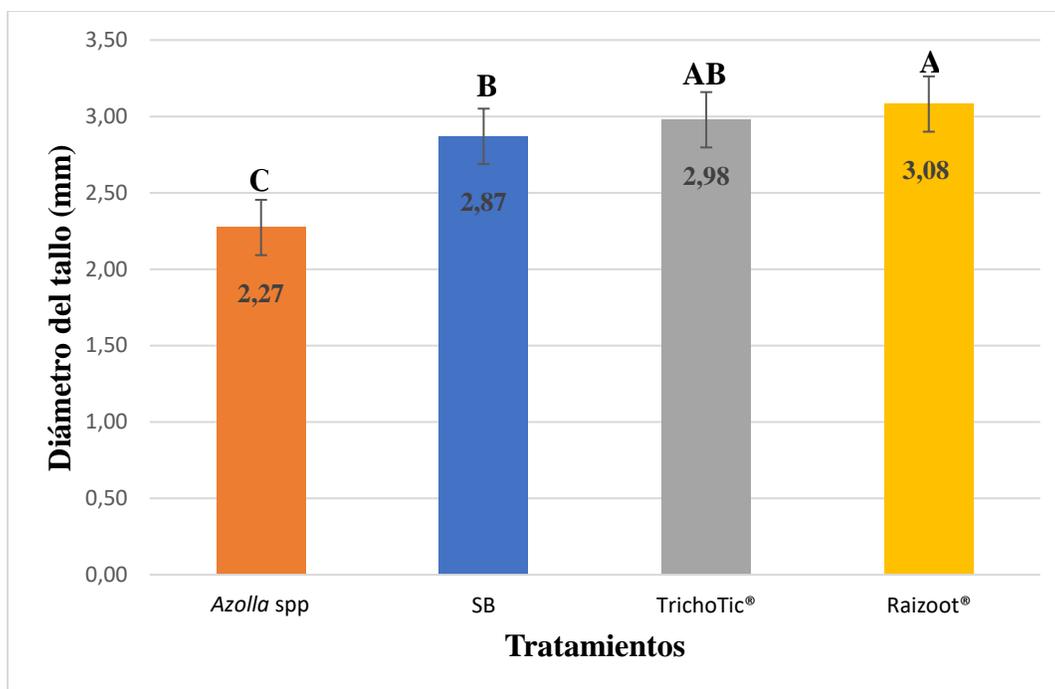


Figura 3. Efecto de tres bioproductos en el diámetro del tallo de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días, para cada tratamiento T1 (SB, sin bioproductos), T2 (*Azolla* spp), T3 (TrichoTic®) y T4 (Raizoot®). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ).

### Número de hojas

En la figura 4, se puede apreciar la variable número de hojas, sobre el efecto de los bioproductos. En la cual se determinó que el tratamiento T4, es él que tuvo mayor número de hojas, registrándose una media de 8,08 hojas. A diferencia de los demás tratamientos que no difieren estadísticamente entre sí; registrando el tratamiento T2 con el menor número de hojas superándose una media de 7,23 hojas (Anexo 3).

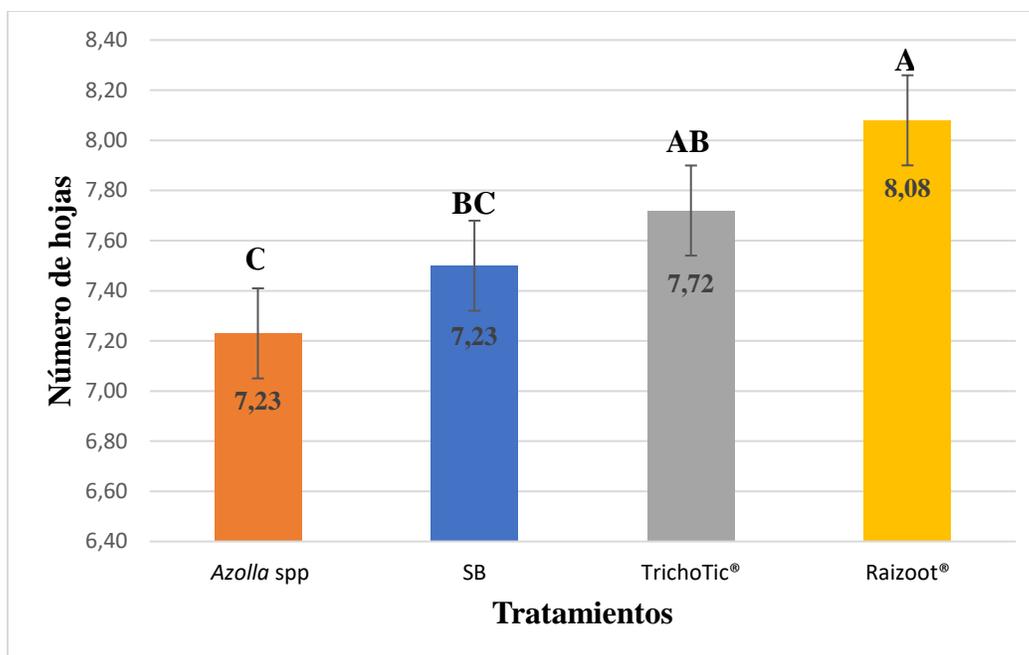


Figura 4. Efecto de tres bioproductos en cuanto al número de hojas en las plántulas de café (*Coffea arabica* L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días para cada tratamiento T1 (SB, sin bioproductos), T2 (*Azolla* spp), T3 (TrichoTic®) y T4 (Raizoot®). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ).

### Área foliar total efectiva

En cuanto al crecimiento del área foliar, en la Figura 5 se muestra que si existe interacción entre los bioproductos en el crecimiento de las plántulas de café, esto nos indica que existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, por lo cual el mejor tratamiento es el T4, con una media de 18,88 cm respectivamente de área foliar. El tratamiento que demostró menor crecimiento foliar es el T2 registrando una media de 9,84 cm respectivamente (Anexo 4).

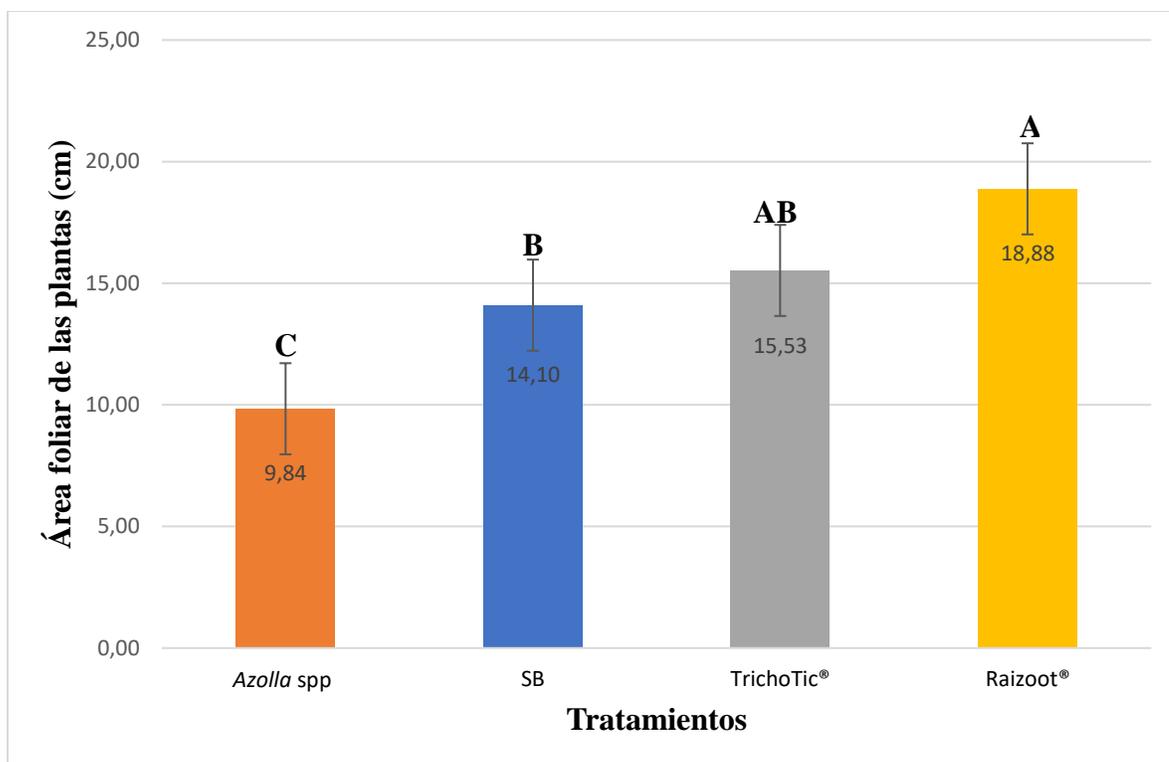


Figura 5. Efecto de los tres bioproductos en relación a la estimación del área foliar de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días, para cada tratamiento T1 (SB, sin bioproductos), T2 (*Azolla* spp), T3 (TrichoTic®) y T4 (Raizoot®). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ).

### Biomasa seca radicular y foliar

En la Figura 6 se puede observar la relación entre los distintos tratamientos y la biomasa seca foliar y radicular de las plántulas de café, en donde los tratamientos que tuvieron mayor peso en ambas fueron: Raizoot®, TrichoTic® y Testigo, aunque solo fueron significativamente mayores al tratamiento con *Azolla* en la biomasa seca radicular (Anexos 5 y 6).

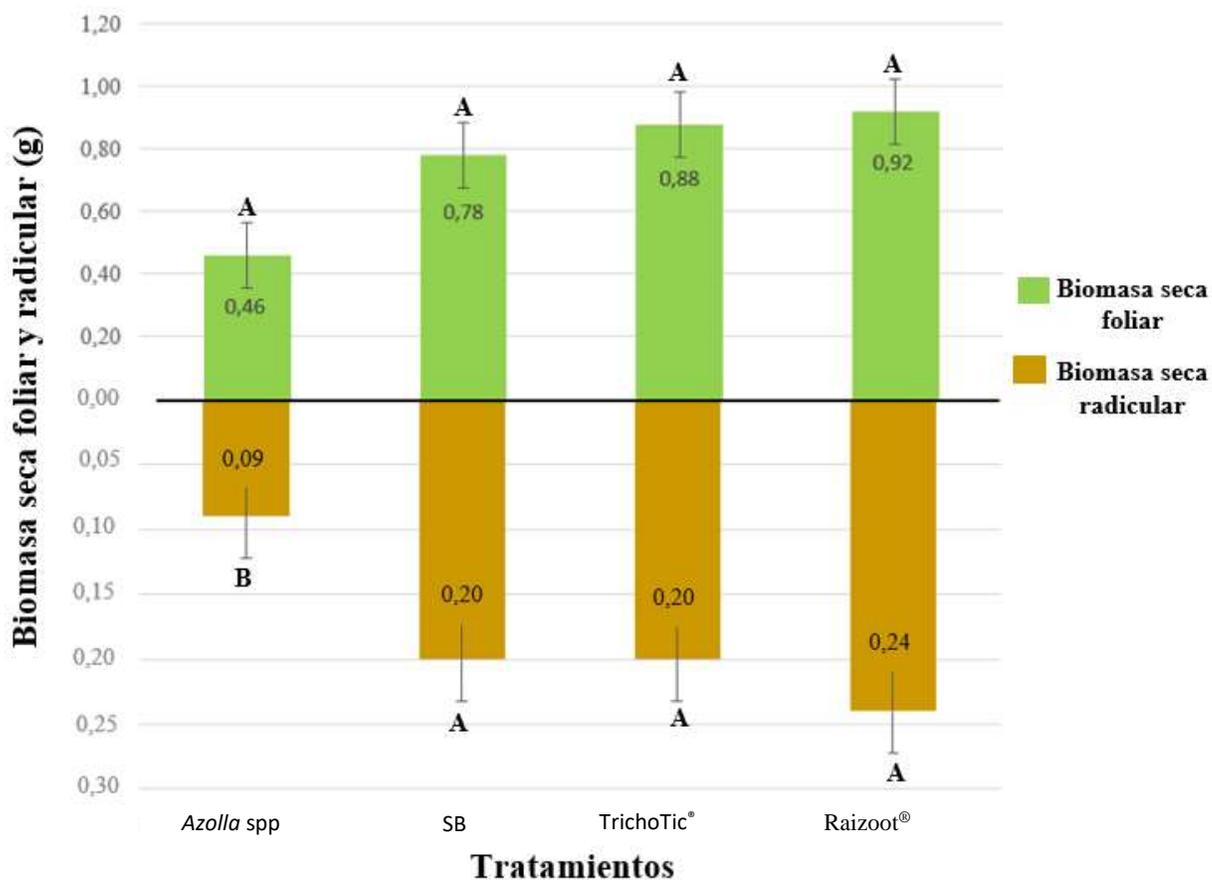


Figura 6. Comparación del efecto de los tres bioproductos en relación a la biomasa seca foliar y radicular de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.) variedad bourbon evaluadas durante 120 días. SB = sin bioproductos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas Tukey ( $p < 0,05$ ).

## Discusión

La presente investigación busca evaluar el efecto de la utilización de bioproductos en la producción de plántulas, mismos que son muy favorables en cuanto al crecimiento del cafeto. Según Montaña (2022) el porcentaje de nitrógeno en *Azolla* normalmente varía de 2,5 a 4 %, mismos resultados que se relacionan con los obtenidos en el análisis bromatológico. También menciona que la composición bromatológica de *Azolla* spp varía posiblemente por las condiciones climáticas y geográficas donde se cultiva o la metodología empleada para la determinación de los contenidos bromatológicos.

Con relación a la primera variable evaluada altura de las plántulas se encontró que los tratamientos Raizoot<sup>®</sup>, TrichoTic<sup>®</sup> y Testigo no presentaron diferencia estadística ( $p < 0,05$ ), quizá se atribuye al tamaño de la maceta utilizada en esta investigación de 9,5 x 10,5 cm que impidió un adecuado crecimiento radicular y por ende afectó el desarrollo de las plántulas de café. Encalada *et al.* (2018) en su investigación evaluó distintos sustratos y tamaños de recipientes en condiciones de vivero, donde encontró que las mejores condiciones para el crecimiento de las plántulas de café se dan en macetas de 12,5 x 20 cm siendo mayor su tamaño a los utilizados en este estudio. Esto quiere decir que a mayor tamaño del recipiente mejor será la calidad de la plántula, ya que existe mayor disponibilidad de nutrientes disponibles para la plántula y además se puede mantener mayor tiempo en la fase de vivero.

Y así mismo afirma Arizaleta (2008), que en las bolsas de mayor tamaño permiten el mejor crecimiento sostenido de la planta durante los seis meses en el vivero y que pequeñas dosis del fertilizante pueden ser suficientes para llevar a las plántulas a buen término previo a su establecimiento en campo.

Sin embargo, Raizoot<sup>®</sup> presentó el valor más alto en cuanto altura de las plántulas con 12,00 cm, mismos que eran de esperar debido a que está enriquecido con macro y micro nutrientes y reguladores de crecimiento que mejoran el desarrollo de las plántulas de café (AgrinovaScience, 2018), a su vez estos resultados están en concordancia con los obtenidos por Jácome (2015), donde al evaluar la aplicación de bioestimulantes en plantas de café, encontró que con la aplicación de Ergostim<sup>®</sup> presentó mayor altura de 12,33 cm, también Fernández (2012) en su investigación determinó que con la aplicación de Raizoot<sup>®</sup> se obtuvo la mayor altura de plantas de cacao de 14,8 cm, evaluadas durante 90 días.

Con la aplicación de biomasa de *Azolla* spp en distintas investigaciones realizadas se evidenció que *Azolla* mejoró el crecimiento de distintos cultivos como brócoli (Zurita *et al.*, 2018), maíz (Aldás *et al.*, 2016), olivo (Petrucci *et al.*, 2015) y arroz (Montaño, 2005) resultados diferentes a los obtenidos en esta investigación ya que *Azolla* influyó negativamente en el crecimiento de las plántulas de café, algo que no era de esperarse.

Posiblemente, esto se presentó por la acidificación presentada en el sustrato según los análisis realizados mediante un peachímetro digital se encontró valores de pH de 4,5 – 5,5 que afectó negativamente a las variables de crecimiento evaluadas (Anexo 14). El pH es uno de los parámetros más importantes que influyen en la fertilidad del suelo y en la disponibilidad de otros nutrientes, circunstancia que reduce la absorción de los nutrientes esenciales para la planta, afectando el crecimiento normal radicular y el desarrollo foliar de la planta (Sánchez, 2018; Sadeghian, 2016).

La acidificación presentada en el tratamiento a base de *Azolla* spp posiblemente cedió debido a que durante la descomposición de la *Azolla* libera nitrógeno en forma de amonio y las raíces de las plántulas toman el nitrógeno del suelo en forma de nitrato o amonio y este al ser asimilado por la raíz, se generó un proceso que tiene como consecuencia la liberación de un catión  $H^+$  cargado positivamente desde la raíz de la planta para mantener su equilibrio en el interior, entonces, el catión  $H^+$  reacciona con el sustrato causando una reducción en su pH, donde al no contar el sustrato con algún elemento que amortigüe estos  $H^+$  provocó la acumulación de los mismo y por ende la caída del pH (Lopez, 2022; Osorio, 2012).

Por otra parte al establecer la variable diámetro del tallo de las plántulas de café, se determinó que está en relación directa con la altura de las plantas, mientras mayor altura tenga mayor será su diámetro; donde los mejores resultados se observaron en el tratamiento T4 a base de Raizoot® con una media de 3,08 mm de diámetro, ya que existe mayor disponibilidad de nutrientes disponible para la plántula. Jácome (2015) en su investigación, aplicación de bioestimulantes en plantas de café, utilizando Hormonagro como bioestimulante, a los 90 días de evaluación, determinó diámetros no mayores a 2,66 mm, esto se dio por el menor tiempo de evaluación.

Cabe mencionar que TrichoTic® presenta buenos valores en cuanto a las variables de crecimiento evaluadas, similar a lo manifestado por Lino (2020): donde usó Tricho D®

(*Trichoderma harzianum*.) obtuvo buen desarrollo morfológico en altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas en las plántulas de café, algo que era de esperarse ya que además de su capacidad de inhibir los patógenos de las plantas en el suelo a través de su potente actividad antagonista y microparásita, numerosas especie *Trichoderma* extrae nutrientes de los hongos que degrada y de otros materiales orgánicos, ayudando a su descomposición, por lo que se ve favorecido con la adición de materia orgánica y compostaje (Rivera, 2018),

También *Trichoderma* se caracterizan por la capacidad de colonizar y la mejora de la estructura y condición las raíces, lo que aumenta el potencial de crecimiento de las plantas, contribuyendo a la solubilización de los nutrientes, mejorando la eficiencia fotosintética y la absorción de nutrientes y aumentando la eficiencia del uso de nitrógeno en los cultivos, el factor estimulante más importante en casi todas las etapas del crecimiento y desarrollo de las plantas es la síntesis de fitohormonas (auxina y giberelina), fitorreguladores y la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Tyskiewicz *et al.*, 2022; Kashyap *et al.*, 2017; Hermosa *et al.*, 2012; Rivillas, 2012).

Con relación al número de hojas en las de las plántulas de café, Fernández (2012), informó que con la aplicación de 5 ml/L de Raizoot® al final del experimento obtuvo 12 hojas a los 90 días. Jácome (2015) en su investigación, aplicación de bioestimulantes en plantas de café, utilizando Bioplus como bioestimulante, a los 90 días de evaluación, determinó un número promedio de 5,93 hojas. Mientras que en la investigación el número de hojas fue menor a 8 hojas hasta los 4 meses de evaluación, siendo mayores por el tiempo de evaluación, así como manifiesta Arcila (2007), un par de hojas o nudo se origina en promedio cada 25 o 30 días y en un año se forman alrededor de 12 a 14 pares de ramas primarias, pero está en relación con el buen suministro de energía solar, agua y la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de las plántulas.

En relación a la determinación de área foliar efectiva, se determinó que el efecto de los bioproductos influyeron en el crecimiento del área foliar, por lo cual, el crecimiento del área foliar está en relación directa con disponibilidad de nutrientes en los sustratos utilizados. Los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento T4 a base de Raizoot® con una media de 18,88 cm. Díaz *et al.* (2021) obtuvo 364,94 cm, aplicando el bioestimulante FitoMas-E®, evaluado a los 180 días.

En lo que se refiere a la variable biomasa seca, se encontró que los tratamientos Raizoot<sup>®</sup>, TrichoTic<sup>®</sup> y Testigo no presentaron diferencia estadística ( $p < 0,05$ ), por lo cual nuevamente se afirma que la biomasa seca total está en relación directa con el tamaño de la maceta. Sin embargo se determinó que los pesos más altos se observaron en los tratamientos T4 Raízoot<sup>®</sup> y T3 TrichoTic<sup>®</sup> con una media de 1,16 y 1,08 g en peso total. Mientras Valverde *et al.* (2019), superó este rango mediante la aplicación de bioestimulante Starlite<sup>®</sup>, registró un peso de 2,10 g de materia seca a los 120 días de evaluación. También Díaz *et al.* (2021) en su investigación, con la aplicación del bioestimulante FitoMas-E<sup>®</sup>, en plantas de café, a los 180 días de evaluación, determinó masa seca total de 2,98 g, debido al mayor tiempo de evaluación.

## **7. Conclusiones**

En el bioproducto Raizoot® se registraron los mejores efectos en el crecimiento de plántulas de café en las variables: altura, diámetro, número de hojas, área foliar total efectiva y biomasa seca.

Los bioproductos a base de Raizoot® y TrichoTic® son los que mejor influyeron en el crecimiento de plántulas de café, donde se apreciaron los mejores valores en todas las variables evaluadas en plántulas de café.

## 8. Recomendaciones

Realizar investigaciones con el uso de la fertilización con bioestimulantes como la *Azolla* u otros microorganismos benéficos como *Trichoderma*, hongos micorrízicos, bacterias promotoras del crecimiento vegetal, enfocados a mejorar el crecimiento y rendimiento de café (*Coffea arabica* L.) por ser un cultivo de interés nacional e internacional y su alto consumo a nivel mundial.

Es sumamente importante validar estos resultados sobre la aplicación de biofertilizantes como bioestimulantes naturales y comerciales, en otras condiciones ambientales, sustrato, variedades de café, mayor número de plantas y en períodos mayores de evaluación con la finalidad de obtener resultados comparativos.

En un futuro realizar investigaciones direccionadas con el uso de *Azolla* como biofertilizante, realizar correcciones de pH antes y durante la investigación de manera periódica con la finalidad de evitar problemas de acidez en el sustrato.

Aplicar biomasa seca o nitroagua proveniente de la *Azolla* spp con la finalidad de evaluar y mejorar el rendimiento del café u otros cultivos de interés ecológico, económico, social y cultural no solo a nivel de vivero sino también en plantaciones.

Realizar investigaciones sobre la identificación y uso de cepas de *Trichoderma* spp nativas de la provincia de Loja para promover la utilización y elaboración de nuevos biofertilizantes como fuentes de producción de nutrientes con la finalidad de incrementar el crecimiento de café y otros cultivos de interés comercial a nivel nacional e internacional.

## 9. Bibliografía

- AgrinovaScience. (2018). *Raizoot, aminoácidos y bioestimulantes*. Quito - Ecuador. Recuperado el 15 de Mayo de 2022, de <https://www.agri-novaec.com/product-page/raizoot#:~:text=Es%20un%20abono%20especial%20NPK,desarrollo%20radicular%20primario%20y%20secundario>.
- Aldás, J., Zurita, J., Cruz, S., Villacís, L., Pomboza, P., & León, O. (2016). Efecto biofertilizante de Azolla - anabaena en el cultivo de maíz (*Zea Mays L.*). *Selva Andina Biosphere*, 4(2), 109-115.
- Arcila, J. (2007). *Crecimiento y desarrollo de la planta de café*. Chinchiná - Colombia: CENICAFE.
- Arizaleta, M., & Pire, R. (2008). Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia*, 42(1), 47-55.
- Bhuvaneshwari, K., & Singh, P. (2015). Respuesta de la biofertilización con Azolla del helecho acuático fijador de nitrógeno al cultivo de arroz. *3 Biotecnología*, 5(4), 523-529.
- Bone, Y. M. (2021). *Análisis del desarrollo morfológico de plántulas de Coffea arabica L. cv Catimor en condiciones de vivero con diferentes sustratos y bioestimulantes*. Manabí - Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Carvajal, J. &. (2010). *Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible* (Vol. 5).
- Chiriboga, H., Gómez, G., & Garcés, K. (2015). *Trichoderma spp. Para el control biológico de enfermedades*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Cisneros, E., García, R., Martínez, R., López, T., & González, F. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 23-30.
- Coa, M., Silva, R., Méndez, J., & Padilla, S. (2015). Fenología de la floración del cafeto var. Catuaí Rojo en el municipio Caripe del estado Monagas, Venezuela. *Idesia (Arica)*, 33(1), 59-67.

- Criollo, H., Lagos, T., Bacca, T., & Muños, J. (2016). Caracterización de los sistemas productivos de café en Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 19(1), 105 - 113.
- Díaz, A., López, Y., Suárez, C., & Díaz, L. (2021). Efecto del FitoMas-E y de dos proporciones de materia orgánica sobre el crecimiento de plántulas de cafeto en vivero. *Centro Agrícola*, 48(1), 14-22.
- Encalada, M., Fernández, P., Jumbo, N., Alejo, A., & Reyes, L. (2018). Evaluación del crecimiento de plántulas de *Coffea arabica* L. c.v caturra en condiciones de vivero con diferentes sustratos y recipientes. *Bosque Latitud Cero*, 8(1), 70-84.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos* (Primera edición ed.). Quito-Ecuador: International Plant Nutrition Institute.
- Espinoza, J. T. (2012). *Caracterización fenotípica de 23 clones de café robusta (Coffea canephora P.) en la parroquia Manglaralto, cantón Santa Elena*. La Libertad - Ecuador.
- Fernández, A. (2012). *Eficacia de bioestimulante para inducir el crecimiento y desarrollo radicular en etapa de vivero del cultivo de cacao bajo las condiciones del valle Chancay Perú*. Perú. Recuperado el 20 de Mayo de 2022, de <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/eficacia-codi-raiz-raizoot-t3954/078-p0.htm>
- Figuroa, O. (2012). *Guía técnica: Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de café*. Lima - Perú: Agrobanco.
- Filipone, M., Grellet, C., Chalfoun, N., Tórtora, M., Vera, L., Mamaní, A., & Atilio, C. (2017). Bioproductos y sanidad vegetal. *Avance Agroindustrial*, 38(1), 50 -62.
- FIRA. (2019). *Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura*. Obtenido de Panorama Agroalimentario, Café. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial.
- Ghorai, N. h. (2019). Bio fertilizers and their role in sustainable Aquaculture with particular reference to Azolla & Spirulina. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE TECHNOLOGY AND CREATIVE ENGINEERING*, 9(5), 27-45.
- Gómez, G. (2010). Cultivo y beneficio del café. *Revista de Geografía Agrícola*, 1(45), 103-193.

- Guerrero, A. (2018). *Elaboración y uso de abonos orgánicos en la Comunidad de Imbabuela Bajo, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura, 2017*. El Angel - Carchí: UTB.
- Guilcapi, E. (2009). *Efecto de Trichoderma harzianum y Trichoderma viride, en la producción de plantas de café (Coffea arabica) variedad caturra a nivel de vivero*. Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Guzmán, J. (2018). Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México. CEDRSSA.
- Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I., & Monte, E. (2012). Plant-beneficial effects of Trichoderma and of its genes. *Microbiology*, 158(1), 17-25.
- Jácome, X. (2015). *Aplicación de bioestimulantes en plantas de café (Coffea arabica L.) En vivero, en la zona del Cantón Mocache*. Quevedo- Los Ríos.
- Kashyap, P., Rai, P., Srivastava, A., & Kumar, S. (2017). Trichoderma for climate resilient agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(8), 1-18.
- León, M. (2022). *Manual de aplicación de los diseños experimentales básicos en el paquete NCSS*. Xalapa: Xalapa.
- Lino, H. (2020). *Determinación del comportamiento agronómico de cinco cultivares de café en etapa de vivero, con el uso de bioestimulantes*. Manabí-Ecuador: Universidad Estat del Sur de Manabí.
- Lopez, J. (15 de Septiembre de 2022). *La influencia del nitrógeno en el pH del sustrato*. Recuperado el 27 de Octubre de 2022, de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-del-nitrogeno-en-el-ph-del-sustrato/>
- MAE. (2022). *Cobertura y Uso de la Tierra (CUT 2018)*. Recuperado el 15 de Enero de 2022, de <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). Trichoderma spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegeta*, 28(1), 1-11.
- Montaño, A. M. (2005). Estudio de la aplicación de Azolla Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano. *Revista Tecnológica ESPOL*, 18(1), 147-151.

- Montaño, M. (2010). *Proyecto Azolla*. Guayaquil-Ecuador: Editorial del Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.
- Montaño, M. (21 de Julio de 2022). Porcentaje promedio de nitrógeno en diferentes muestras de Azolla. Loja, Ecuador.
- Monteros, A. (2017). *Rendimiento de café grano seco en el Ecuador*. Ecuador.
- Nikhil, M., & N, M. (2012). Cultivation of safed musli (*Chlorophytum tuberosum* L.) by Azolla as green manure. *International Journal of Plant Sciences*, 7(1), 6-9.
- OIC. (2016). *Organización Internacional del Café*. Obtenido de Informe del mercado del café: <http://www.ico.org/documents/cy2015-16/cmr-0216-c.pdf>
- OIC. (2022). *Informe del mercado de café: estadísticas comerciales-febreo 2022*. Recuperado el 18 de Mayo de 2022, de <https://www.ico.org/>
- Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y Nutrición vegetal*, 1(4), 1-4.
- Petrucelli, R., Briccoli, C., Carlozzi, P., Padovani, G., Vignozzi, N., & Bartolini, G. (2015). Use of Azolla as a growing medium component in the nursery production of olive trees. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(4), 333-339.
- Pincay, J., Héctor, E., Antonio, T., & Fosado, O. (2022). Germinación de *Coffea arabica* L. var. Sarchimor con bioestimulantes y efecto posterior de estos sobre el crecimiento de plántulas. *La técnica: Revista de las Agrociencias*, 7(3), 27-36.
- Posada, C. &. (2003). *Respuesta de plántulas de café a la fertilización foliar y la aplicación de pulpa de café compostada*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- PRO-ECUADOR. (2016). *Boletín de Análisis Mercados Internacionales*. Recuperado el 18 de Mayo de 2022, de <http://www.proecuador.gob.ec/exportadores/sectores/cafe/>
- Ramos, D., & Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59.
- Rivera, J. B. (2018). *Influencia del hongo Trichoderma hazianum en la producción de plantas de café (Coffea arabicavar. Laurina, caturra)*. La Merced - Perú.

- Rivillas, Á. C. (2012). *Trichoderma spp. Modos de acción, eficacia y usos en el cultivo de café*. Colombia: FNC- Cenicafé .
- Rojas, Á., Hartman, K., & Márquez, R. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *El Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 93-104.
- Rudy, N., Hugh, S., Almanza, J., & Loza, M. (2011). Evaluación de la capacidad biocontroladora de cepas nativas de *Trichoderma spp* sobre *Rhizoctonia sp* y *Fusarium sp* en café (*Coffea arabica*) en condiciones experimentales. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(1), 43-52.
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. *CENICAFÉ*.
- Sadeghian, S. (2016). *La acidez del suelo, una limitante común para la preosucción de café*. Colombia: Cenicafé.
- Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento. *Revista de iniciación científica*, 4(1), 101 - 105.
- Sharma, S., Divjot, K., Kusam, R., Anu, D., Shiwanit, T., Priyanka, T., . . . Karan, S. (2019). *Trichoderma: Biodiversity, Ecological, Significaces, and Industrial Applications. Nature Switzerland* , 6(2), 86-98.
- Soto, F. (1980). Estimación del área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos tropicales*, 2(3), 115-128.
- Tadesse, G. &. (2013). Coffee landscapes as refugia for native woody biodiversity as forest loss continues in southwest Ethiopia. *Biological Conservation*, 169(1), 384-391.
- Tyskiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszek, J. (2022). *Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 23-29.
- Valverde, Y., Moreno, J., Quijije, K., Castro, A., Merchán, W., & Gabriel, J. (2019). Los bioestimulantes: Una innovación en la agricultura para el cultivo del café (*Coffea arabica* L). *Selva Andina Research Society*, 11(1), 18-28.

- Villacrés, M. R. (2016). *Evaluación de Azolla (azolla filiculoides) como sustrato en la propagación sexual de dos variedades de amaranto: amaranto blanco (Amaranthus hypocondriacus L.) y sangoracha (Amaranthus quitensis L.)*. Cevallos-Ecuador.
- Wojtkowiak, E., & Pietr, S. (2006). Colonization of roots and growth stimulation of Cucumber by iprodione –resistant isolates of Trichoderma spp. applied alone and combined with fungicides. *Agricultural University of Wrocław, Wrocław, Poland, 41(1)*, 51-64.
- Yugsi, L. (2011). *Elaboración y uso de abonos orgánicos*. Quito: INIAP.
- Zapata, S. S. (2015). Crecimiento de café (Coffe arabica) durante la etapa de almácigo en respuesta a la salinidad generada por fertilizantes. *Revista de Ciencias Agrícolas, 31(4)*, 40-50.
- Zhirvi, C. (2016). *Evaluación de dos (2) especies nativas y una comercial de Trichoderma sp. como agente de control de los hongos que ocasionan el damping off (Rhizoctonia spp.) en semilleros de café (Coffea arabica L.) variedad bourbón*. Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Zurita, H., Valle, L., Buenaño, M., Guevara, D., Mena, G., & Vásquez, C. (2018). Uso de sustratos alternativos para la producción de plántulas de brócoli en condiciones de invernadero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 21(1)*, 19-24.

## 10. Anexos

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
27-jul-22	19	0,86	0,84	5,07

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29,29	3	9,76	31,67	<0,0001
Tratamiento	29,29	3	9,76	31,67	<0,0001
Error	4,62	15	0,31		
Total	33,92	18			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,04326

Error: 0,3083 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	12,00	5	0,25	A
T3	11,64	5	0,25	A
T1	11,37	4	0,28	A
T2	8,92	5	0,25	B

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

Anexo 1. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) de la altura de las plántulas de café en condiciones de invernadero.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
27-jul-22	19	0,91	0,90	3,98

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,97	3	0,66	52,86	<0,0001
Tratamiento	1,97	3	0,66	52,86	<0,0001
Error	0,19	15	0,01		
Total	2,15	18			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,20927

Error: 0,0124 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	3,08	5	0,05	A
T3	2,98	5	0,05	A B
T1	2,87	4	0,06	B
T2	2,27	5	0,05	C

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

Anexo 2. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) del diámetro del tallo de las plántulas de café en condiciones de invernadero.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
27-jul-22	19	0,65	0,59	3,40

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,92	3	0,64	9,46	0,0009
Tratamiento	1,92	3	0,64	9,46	0,0009
Error	1,01	15	0,07		
Total	2,93	18			

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,48852**

Error: 0,0676 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T4	8,08	5	0,12	A	
T3	7,72	5	0,12	A	B
T1	7,50	4	0,13	B	C
T2	7,23	5	0,12		C

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

Anexo 3. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) del número de hojas de las plántulas de café en condiciones de invernadero.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Medición	19	0,81	0,78	12,31

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	210,57	3	70,19	21,70	<0,0001
Tratamiento	210,57	3	70,19	21,70	<0,0001
Error	48,52	15	3,23		
Total	259,09	18			

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,37930**

Error: 3,2347 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T4	18,88	5	0,80	A	
T3	15,53	5	0,80	A	B
T1	14,10	4	0,90	B	
T2	9,83	5	0,80		C

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

Anexo 4. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) del área foliar efectiva de las plántulas de café en condiciones de invernadero.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
MS radicular	19	0,66	0,60	25,62

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,06	3	0,02	9,90	0,0008
Tratamiento	0,06	3	0,02	9,90	0,0008
Error	0,03	15	2,2E-03		
Total	0,10	18			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08716

Error: 0,0022 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	0,24	5	0,02 A
T1	0,20	4	0,02 A
T3	0,20	5	0,02 A
T2	0,09	5	0,02 B

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

Anexo 5. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) de la biomasa seca radicular de las plántulas de café en condiciones de invernadero.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
MS foliar	19	0,34	0,21	42,47

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,78	3	0,26	2,57	0,0933
Tratamiento	0,78	3	0,26	2,57	0,0933
Error	1,51	15	0,10		
Total	2,29	18			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,59644

Error: 0,1008 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	0,92	5	0,14 A
T3	0,88	5	0,14 A
T1	0,78	4	0,16 A
T2	0,42	5	0,14 A

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

Anexo 6. Análisis de varianza y test de Tukey para determinar si existe diferencias significativas (0,05) de la biomasa seca foliar de las plántulas de café en condiciones de invernadero.



Anexo 7. Recolección de *Azolla* spp de estanques en el cantón Espiándola, barrio Sanambay.



Anexo 8. Pesado de las dosis de *Azolla* spp seca luego de haberlas sacado de la estufa en el Laboratorio de Fisiología Vegetal.



Anexo 9. Aplicación de los tratamientos a las plántulas de café (*Azolla* spp, TrichoTic® y Raizoot®).



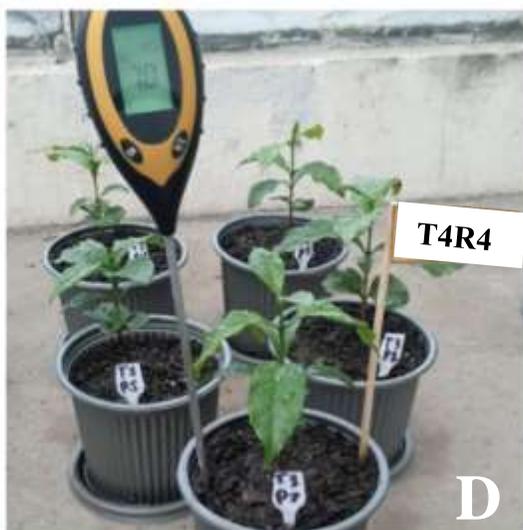
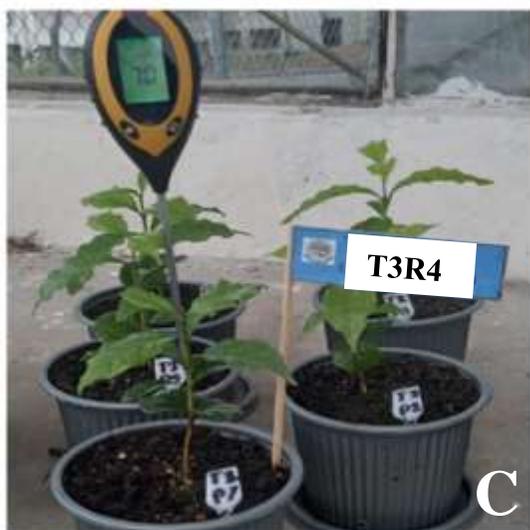
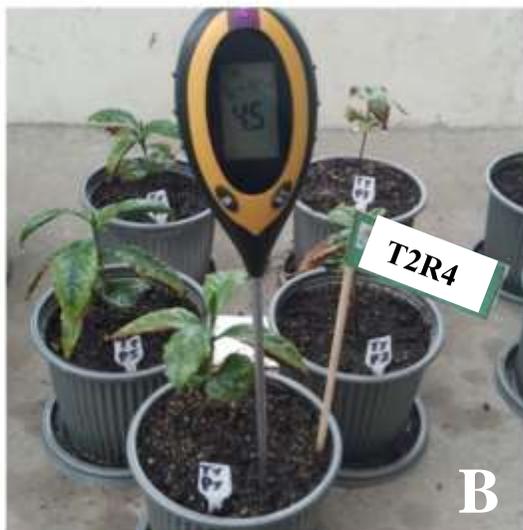
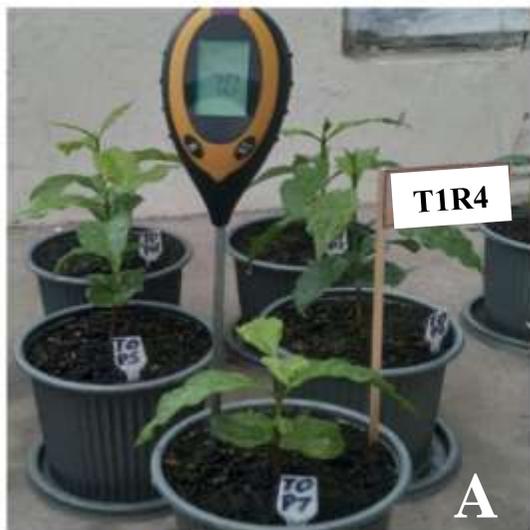
Anexo 10. Aplicación del riego con agua destilada a las plántulas de café a cada tratamiento.



Anexo 11. Evaluación de la altura de las plántulas de café a cada tratamiento.



Anexo 12. Evaluación del diámetro del tallo de las plántulas de café a cada tratamiento.



Anexo 13. Valor de pH presentado en las plántulas de los distintos tratamientos Testigo (A), *Azolla* spp (B), TrichoTic® (C) y Raizoot® (D).



Anexo 14. Plántulas de café a los 100 días de haber aplicado los bioproductos Testigo (A), *Azolla* spp (B), TrichoTic® (C) y Raizoot® (D).



Anexo 15. Plántulas de café seleccionadas de los tratamientos para evaluar la biomasa seca Testigo (A), *Azolla* spp (B), TrichoTic® (C) y Raizoot® (D).



Anexo 16. Evaluación del peso de la biomasa seca radicular y foliar de los distintos tratamientos en el laboratorio de Fisiología Vegetal.

Loja, 17 de octubre de 2022

## CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Doctora.

Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

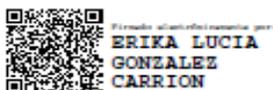
Docente de la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación de la Universidad Nacional de Loja

### CERTIFICO:

En mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de las traducciones realizadas para revistas de alto impacto como: Comunicar(Q1): <https://bit.ly/3v0JggL>, así como a través de la Certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: **“EVALUACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN DE TRES BIOPRODUCTOS EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN CONDICIONES CONTROLADAS EN LA QUINTA EXPERIMENTAL LA ARGELIA.”**; de la autoría del señor estudiante: **Alex Fabián Jiménez Alverca**, con CI: 1105179020, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, señor **Alex Fabián Jiménez Alverca**, hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,



**Dra. Erika González Carrión. PhD.**  
Docente de la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación  
Universidad Nacional de Loja

Anexo 17. Certificado del resumen del trabajo de investigación escrito en inglés por un profesional en el idioma.