



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE GRADO

Efecto de bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el crecimiento inicial y la distribución de biomasa en plántulas de café (*Coffea arabica* L.)

Martínez, I; Zelaya, D.

Tutor

Dr. Oscar Rafael Lanuza Lanuza

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL DE ESTELÍ

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

**Centro Universitario Regional de Estelí
CUR-Estelí**

Recinto Universitario “Leonel Rugama Rugama”

Departamento Ciencias Tecnológicas y Salud

**Efecto de bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el
crecimiento inicial y la distribución de biomasa en
plántulas de café (*Coffea arabica* L.)**

Tesis para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo

Autores

Itzamara Martínez Ordoñez

Dania Isabel Zelaya Herrera

Tutor

Dr. Oscar Rafael Lanuza Lanuza

1 de diciembre, 2025



Dedicatoria

Dedicamos este trabajo con profundo amor y gratitud a quienes han sido la base de nuestro esfuerzo, nuestra inspiración y nuestro más grande apoyo.

De manera especial, Dania Zelaya dedica este logro a sus padres, Milvia Herrera y Danilo Zelaya, a su hermano Enier Zelaya, por su amor incondicional, por ser guía constante y ejemplo de fortaleza, por motivarla a seguir adelante y creer siempre en sus capacidades.

Por su parte, Itzamara Martínez dedica este trabajo a su madre, Damaris Martínez, por su entrega, su paciencia y su apoyo incansable; a su abuelita, Azucena Sánchez, quien ha sido como una segunda madre, ejemplo de ternura, sabiduría y fortaleza; a su bisabuela, Adilia Sánchez, por su amor, sus oraciones y por ser fuente de inspiración; A su querida amiga Karla Tatiana Rodríguez, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y por siempre estar en los momentos más difíciles, con mucho orgullo para toda la familia.

A nuestra familia, con el más sincero cariño y agradecimiento, dedicamos este esfuerzo culminado, fruto de años de perseverancia, fe y dedicación.

Agradecimiento

Agradecemos, ante todo, a Dios, por habernos brindado la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para culminar esta importante etapa de nuestra formación profesional.

Extendemos nuestro agradecimiento a nuestros docentes, quienes durante toda nuestra formación académica nos brindaron sus conocimientos, consejos y acompañamiento, convirtiéndose en una segunda familia.

Con especial gratitud reconocemos al tutor de tesis, Dr. Oscar Rafael Lanuza, por su orientación, paciencia y valiosas aportaciones que guiaron este trabajo hacia su culminación.

De igual manera, expresamos nuestro sincero agradecimiento al profesor Josué Urrutia, al profesor Jorge Pinel por su apoyo, compromiso y constante disposición para ayudarnos en cada paso del proceso.

A todos los maestros que formaron parte de nuestra formación universitaria, gracias por su dedicación, su ejemplo y su entrega al enseñar. Finalmente, agradecemos a nuestros compañeros y amigos, por su amistad, colaboración y aliento, que hicieron de este camino una experiencia inolvidable. Este logro es el reflejo de cada persona que, con su apoyo, fe y cariño, contribuyó a hacer realidad esta meta.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL, ESTELÍ
“2025: Eficiencia y Calidad para seguir en victorias”
Departamento de Ciencias de la Educación y Humanidades

CARTA AVAL DEL TUTOR

Estelí, 1 de diciembre de 2025

Por medio de la presente, en calidad de tutor del trabajo de modalidad de graduación titulado: **“Efecto de bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el crecimiento inicial y la distribución de biomasa en plántulas de café (*Coffea arabica* L.)”**, elaborado por las estudiantes:

Itzamara Martínez Ordoñez

21-51422-8

Dania Isabel Zelaya Herrera

20-51393-1

Estudiante(s) de la carrera de **Ingeniería Agronómica**, hago constar que he brindado acompañamiento académico y metodológico durante el desarrollo de dicho trabajo, cumpliendo con lo establecido en el cronograma y en la normativa institucional vigente. Asimismo, avalo que el trabajo cumple con los requisitos formales, científicos y éticos exigidos por la Universidad, en cumplimiento de la modalidad de graduación correspondiente.

Atentamente,

Oscar Rafael Lanuza Lanuza

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3652-700X>

UNAN-Managua/CUR-Estelí

CC/

Resumen

El cultivo de café es un rubro de gran importancia para la economía en Nicaragua aportando empleo a miles de familias productoras. La etapa en vivero es crucial para asegurar plantas sanas y vigorosas. Sin embargo, el uso de agroquímicos en esta fase genera riesgos ambientales y productivos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el crecimiento inicial y la distribución de biomasa en plántulas de café (*Coffea arabica* L.) durante la etapa de vivero. La investigación se realizó en la Estación Experimental El Limón, perteneciente a la UNAN-Managua/CUR Estelí, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos: microorganismos de montaña, humato de potasio, foliar plus y un testigo sin aplicación. Cada tratamiento contó con tres repeticiones y quince plantas por repetición, para un total de 180 plántulas evaluadas. Durante doce semanas consecutivas se aplicaron los bioestimulantes en dosis previamente establecidas, registrando variables como altura de planta, diámetro del tallo, biomasa aérea y radicular. Los resultados evidenciaron que el uso de bioestimulantes agrícolas orgánicos favoreció la tasa de crecimiento relativo, el peso seco total, fracciones de masa; raíz, tallo y hojas, el índice de esbeltes y el índice de calidad de plántulas de Dickson. De los bioestimulantes agrícolas orgánicos, el que tuvo menor efecto sobre el crecimiento en las plántulas fue el Microorganismo de montaña en líquido. Se concluye, que la aplicación de bioestimulantes orgánicos constituye una alternativa sostenible y accesible para mejorar la calidad de las plántulas de café.

Palabras claves: café; bioestimulantes orgánicos; crecimiento inicial; biomasa; vivero; sostenibilidad.

Abstract

Coffee cultivation is a sector of great importance to Nicaragua's economy, providing employment to thousands of farming families. The nursery stage is crucial to ensuring healthy and vigorous plants. However, the use of agrochemicals at this stage poses environmental and production risks. The objective of this study was to evaluate the effect of organic agricultural biostimulants on the initial growth and biomass distribution of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) during the nursery stage. The research was conducted at the El Limón Experimental Station, belonging to UNAN-Managua/CUR Estelí, under a completely randomized block design with four treatments: mountain microorganisms, potassium humate, foliar plus, and a control without application. Each treatment had three replicates and fifteen plants per replicate, for a total of 180 seedlings evaluated. For twelve consecutive weeks, the biostimulants were applied in previously established doses, recording variables such as plant height, stem diameter, and above-ground and root biomass. The results showed that the use of organic agricultural biostimulants favored the relative growth rate, total dry weight, mass fractions (root, stem, and leaves), slenderness index, and Dickson seedling quality index. Of the organic agricultural biostimulants, the one that had the least effect on seedling growth was the liquid mountain microorganism. It is concluded that the application of organic biostimulants is a sustainable and accessible alternative for improving the quality of coffee seedlings.

Keywords: coffee; organic biostimulants; initial growth; biomass; nursery; sustainability.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	4
3. Planteamiento del problema.....	8
3.1. Preguntas de investigación.....	9
4. Justificación.....	10
5. Objetivos de investigación.....	11
5.1. Objetivo general.....	11
5.2. Objetivos específicos.....	11
6. Limitaciones del estudio.....	12
7. Hipótesis.....	13
8. Operacionalización de variables.....	14
9. Marco Teórico.....	17
9.1. Generalidades del cultivo.....	17
9.1.1. Taxonomía del cultivo del <i>C. arabica</i>	17
9.2. Aspectos botánicos del cultivo de café.....	18
9.2.1. Tallo.....	18
9.2.2. Raíz.....	18
9.2.3. Hojas.....	19
9.2.4. Reproducción.....	19
9.3. Aspectos agronómicos del cultivo de café.....	19
9.3.1. Siembra en etapa de vivero.....	19
9.3.2. Manejo del suelo.....	20
9.3.3. Condiciones climáticas.....	20
9.4. Bioestimulantes.....	21
9.4.1. Microorganismo de montaña.....	23
9.4.1.3. Usos y dosis en la agricultura del MML.....	25
9.4.2. Humato de potasio.....	26

9.4.3.	Foliar plus.....	29
9.4.3.3.	Usos y dosis en la agricultura del foliar plus.....	32
10.	Diseño metodológico	33
10.1.	Tipo de investigación	33
10.2.	Población y selección de muestra	33
10.3.	Técnicas, instrumentos y procedimiento para recolección de datos.....	34
10.4.	Confiabilidad y validez de los instrumentos.....	37
10.5.	Técnicas, instrumentos y procedimientos para el procesamiento y análisis de datos	38
11.	Análisis y discusión de resultados	39
11.1.	Tasa de crecimiento relativo en plántulas de <i>C. arabica</i>	39
11.2.	Producción y distribución de biomasa en plántulas de <i>C. arabica</i>	40
11.3.	Índice de calidad de plántulas de <i>C. arabica</i>	45
12.	Conclusiones	48
13.	Recomendaciones	49
14.	Referencias.....	51
15.	Anexos.....	57

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de operacionalización de las variables	14
Tabla 2. Descripción taxonómica del cultivo de <i>C. arabica</i>	17
Tabla 3. Composición química del humato de potasio.....	28
Tabla 4. Composición química del foliar plus	31

Índice de figuras

Figura 1. Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la tasa de crecimiento relativo de plántulas de <i>C. arabica</i>	39
Figura 2. Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el peso seco total de plántulas de <i>C. arabica</i>	40
Figura 3. Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la fracción de masa radicular en plántulas de <i>C. arabica</i>	41
Figura 4. Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la fracción de masa foliar en plántulas de <i>C. arabica</i>	43
Figura 5. Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la fracción de masa del tallo de plántulas de <i>C. arabica</i>	44
Figura 6. Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la relación de la biomasa subterránea y aérea de plántulas de <i>C. arabica</i>	45
Figura 7. Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el índice de esbeltez de plántulas de <i>C. arabica</i>	46
Figura 8. Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el índice de calidad Dickson de plántulas de <i>C. arabica</i>	47

1. Introducción

El cultivo del café (*Coffea arabica* L.) pertenece a la familia de la Rubiaceae, una planta arbustiva perenne y siempre verde que se originó en África, en diferentes regiones geográficas y climáticas. Como grupo botánico está constituido por más de 100 especies difundido en los países tropicales y subtropicales, y es la bebida más conocida a nivel mundial. De acuerdo a la región y clima de origen, se desarrollaron diferentes tipos de cafetos, con características genéticas diversas: porte y forma de planta, tamaño y color de fruto, resistencia a enfermedades, tolerancia a plagas, sabor de bebida, adaptabilidad, productividad, entre otras. De este centenar de especies, dos se cultivan comercialmente, *C. arabica* integrada por diferentes variedades de arábica y *Coffea canephora* formada por diferentes grupos de robusta. La especie arábica es la de mayor antigüedad, y la más conocida en todo el mundo, dado que produce un café fino y aromático (Agustina, 2019).

La calidad del café depende de determinadas condiciones agroclimáticas como la altura (900 a 1 200 m s.n.m), temperatura (17°C a 23°C), la humedad relativa (65-85%), suelos (franco-limosa). También depende de la variedad de café; así para los mercados diferenciados son relevantes las diferentes variedades de café. Las dos principales son la arábica (café suave) y el robusta (café fuerte). Tres cuartas partes de la producción mundial de café es arábica, *C. arabica*. En América Latina el 99 % del café es arábica, muy apreciado por su calidad, exige condiciones agroecológicas óptimas, propias de zonas altas y sus costos de producción son elevados, aunque los pequeños productores los reducen con fuerza de trabajo familiar (Chabrera & Ortells Chabrera, 2009).

En Nicaragua, la producción de café se encuentra en manos de pequeños y medianos productores de café. La región central de Nicaragua es la más apta para el cultivo del café, especialmente los departamentos de Jinotega y Matagalpa, donde el cultivo encuentra las mejores condiciones ambientales, por altura, suelos y bonanza del clima. El peso de la actividad cafetalera en la economía nicaragüense es significativo. En el período 1995-2000, el café representó

anualmente, en promedio el 29,1 % del PIB del sector agrícola y el 5,9 % del PIB global (Chabrera & Ortells Chabrera, 2009).

El cultivo de café en el país tiene un bajo rendimiento debido a múltiples factores. Uno de los principales causas del bajo rendimiento es la degradación del suelo y el uso escaso de tecnología, los altos precios de los insumos, lo que obliga al productor a descuidar sus plantaciones y a disminuir las labores porque sus rendimientos no cubren los costos (García 2021). Otra causa del bajo rendimiento es la susceptibilidad a plagas y enfermedades. Unas de las plagas de mayor importancia económica en el cultivo de café es la broca, ya que en diferentes zonas ha habido pérdidas de hasta el 50 % de la cosecha, lo que ha provocado alarma entre los caficultores, las plagas insectiles que afectan los cafetales durante la época seca son el minador de la hoja (*Leucoptera coffeella* Guer) y cochinilla (*Dysmicoccus cryptus* Hempel) que afecta la raíz y yemas florales, en la época lluviosa la plaga principal es la broca (*Hypothenemus hampei* Ferr.) (Jarquin & Jiménez-Martínez, 2021).

El vivero constituye la etapa inicial y la más estratégica en la producción de café, pues en él se establecen las bases para el futuro rendimiento del cafetal. De acuerdo con la cartilla del INTA (2015), el proceso comienza en los semilleros, donde se seleccionan y germinan las semillas de calidad, asegurando que solo las plantas más vigorosas avancen al vivero. Durante esta fase, se controla cuidadosamente la luz, la humedad, la nutrición y la protección contra plagas o enfermedades, favoreciendo el desarrollo de raíces fuertes y un follaje equilibrado. El manejo adecuado del vivero, no solo disminuye la mortalidad de las plántulas, sino que también optimiza su capacidad de adaptación al trasplante y al suelo definitivo, lo que repercute directamente en la productividad y salud del cultivo.

Esta investigación se enfocará en evaluar de manera experimental el efecto de diferentes bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre desarrollo de plántulas de *C. arabica*, Variedad Marsellesa. El informe de investigación se presentará siguiendo una secuencia lógica de apartados estructurados. En la primera parte se presentan la introducción, el planteamiento del problema, la justificación y los

objetivos de la investigación. En la segunda parte el marco teórico, en la tercera el diseño metodológico. Finalmente se presentarán los análisis y discusión de resultados, las conclusiones y recomendaciones.

2. Antecedentes

En los antecedentes internacionales, Villaizan-Chuck, (2025), realizó un estudio en Satipo, Perú, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes bioestimulantes sobre el crecimiento de plántulas de café, bajo un diseño de bloques completamente al azar con seis tratamientos (ácidos húmicos, algas marinas, aminoácidos, ácidos fúlvicos, microorganismos eficaces y un testigo). Los resultados mostraron diferencias significativas en altura, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de raíz y el área foliar demostrando que los bioestimulantes mejoraron de forma notable el desarrollo morfofisiológico de las plantas. Este antecedente se relaciona con el presente estudio, ya que ambos buscan determinar el impacto de bioestimulantes en el desarrollo del café en etapa de vivero.

Suarez-Cantos, (2022), evaluó el desarrollo morfológico y agronómico de plántulas de *C. arabica*, Catuai en vivero, en Jipijapa, Manabí (Ecuador), durante 120 días, aplicando un diseño bifactorial con bioestimulantes (biol, trichoderma y micorriza), y sustratos (humus, compost y tierra de guabo). Se analizaron variables de altura, diámetro, hojas, raíz, y mortalidad. Los mejores resultados se obtuvieron con thichoderma + tierra de guabo (14.20 cm de altura y 18.17 cm de raíz). Concluyó que la combinación adecuada de sustrato y bioestimulante mejora la calidad de las plántulas. Este estudio se relaciona estrechamente con el presente trabajo, pues plantea la comparación entre diferentes bioestimulantes sobre el crecimiento de plantas de café en vivero.

Lizame - Santistevan (2021), realizó una investigación en Jipijapa, Manabí, Ecuador, con el objetivo de evaluar el efecto de abonos orgánicos en sustratos sobre el crecimiento de dos híbridos de *C. arabica* (sarchimor 4260 y Lempira) en vivero. Utilizó un diseño experimental factorial 4×2 , midiendo variables morfológicas como altura, diámetro y longitud de raíz. Los mejores resultados se obtuvieron con humus de lombriz, destacando el híbrido Lempira por su desarrollo radicular y el sarchimor por su altura. Concluyó que los abonos orgánicos mejoran el vigor y calidad de las plántulas. Este estudio se relaciona con la presente

investigación en el uso de insumos orgánicos para promover el crecimiento del café, ambos coinciden en promover alternativas sostenibles que fortalezcan el desarrollo vegetal y la calidad de las plantas en vivero, demostrando la efectividad del manejo orgánico frente a métodos convencionales.

La investigación realizada por Moreno-Quinto (2018), en un vivero de Jipijapa (Ecuador), evaluó el efecto de bioestimulantes en plantas de *C. arabica* etapa vivero, se empleó una muestra experimental bajo un diseño completamente al azar (DCA) y un arreglo factorial con medidas repetidas, analizando variables fisiológicas y morfológicas. Los resultados mostraron que los bioestimulantes starlite, evergreen, humega y micorriza mejoraron significativamente materia seca, nitrógeno, absorción de clorofila y desarrollo morfológico, superando a la urea entre 90 y 120 días. Este estudio se relaciona con la presente investigación, ya que en ambos utilizaron bioestimulantes, con el objetivo de mejorar la absorción de nutrientes y la acumulación de biomasa, contribuyendo a obtener plántulas más vigorosas y adaptadas para el trasplante, reafirmando la importancia de los bioestimulantes orgánicos en la producción sostenible de café.

De La Cruz Jácome (2015), realizó su estudio en Mocache, Quevedo Ecuador, donde evaluó el efecto de bioestimulantes en plantas de *C. arabica*, en vivero mediante un diseño de bloques completamente al azar (BCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Donde Ergostim promovió la mayor altura (12.33cm), hormoagro el mayor diámetro (2.66 mm) y bioplus la mejor supervivencia y rentabilidad. Este antecedente se relaciona con la presente investigación, ya que aplicaron bioestimulantes que favorecieron el desarrollo radicular y foliar, incrementaron la tasa de supervivencia de las plántulas y demostraron la efectividad de estos insumos en el viveros de café.

En los antecedentes nacionales, García & Gonzales (2021), desarrollaron un estudio en la finca Chelol, Jinotepe - Carazo (Nicaragua), con el objetivo de determinar el efecto de bioproductos a base de *Trichoderma spp.*, *Bacillus subtilis* y micorrizas en plántulas de *C. arabica* L. El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y cinco plantas por unidad

experimental, encontrando que los bioproductos Trichozam, Bacillus I-C y Serenade generaron los mejores resultados en altura, diámetro, número de hojas y área foliar. La relación con la presente investigación radica en que ambos trabajos realizan la aplicación de bioestimulantes durante la fase de vivero del café, con el propósito de mejorar las características morfo-fisiológicas que definen la calidad de las plántulas de café.

Saenz & Manzanares (2018), en el municipio de Waslala, Costa Caribe Sur, evaluaron la eficacia de distintos sustratos en el desarrollo radicular de plántulas de *C. arabica* durante las etapas de semillero y vivero. El estudio se desarrolló mediante un diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos (arena más aserrín, pulpa tratada más suelo y suelo como testigo). Los resultados demostraron que el sustrato arena más aserrín redujo las malformaciones radiculares y promovió una mayor longitud de raíz, sin diferencias significativas en diámetro del tallo ni número de hojas. En particular, ambos trabajos identificaron que los tratamientos aplicados pueden influir significativamente en parámetros clave como la longitud y calidad del sistema radicular, así como en aspectos morfológicos asociados al vigor vegetal.

Centeno & Cuadra (2014), evaluó el efecto de tres fertilizantes foliares orgánicos (biofertilizante, purín y lombrifoliar) en plántulas de café variedad Pacamara en la finca Canaán, comunidad La Rica, Jinotega. El estudio realizado entre julio y septiembre aplicó los fertilizantes cada 15 días y midió variables como altura, grosor del tallo e incidencia de enfermedades. El biofertilizante mostró mejores resultados en altura (6.3 cm) y grosor (2.52 mm), con menor presencia de plantas enfermas, aunque sin diferencias significativas respecto a los otros tratamientos. Estos hallazgos se comparan con la presente investigación al explorar alternativas orgánicas para mejorar el desarrollo vegetativo del café en la etapa de vivero.

Cubillo & Gutierrez (2011), en la finca cafetalera Las Cuevas ubicadas en el municipio El Crucero, Managua, evaluaron el efecto de cinco sustratos orgánicos y químicos en la producción de plántulas de *C. arabica* en vivero, bajo un diseño

bifactorial en bloques completos al azar (BCA) con 300 plantas. Los tratamientos incluyeron estiércol, pulpa de café, lombriz-humus, mezcla de estos y suelo con fertilizante químico 20-20-0, aplicando además foliares de estiércol fermentado. Los sustratos orgánicos con biofertilizantes foliares promovieron mejor altura, tamaño y número de hojas, peso de raíz y follaje, grosor de tallo, además de mayor vigor y calidad foliar. Estos resultados recalcan la importancia del uso de biofertilizantes y sustratos orgánicos en el desarrollo saludable del café, aspectos relevantes en la presente investigación.

3. Planteamiento del problema

El café es uno de los principales rubros agrícolas de exportación en Nicaragua, representando una fuente vital de ingresos económicos, empleo rural y desarrollo comunitario. Sin embargo, uno de los puntos más vulnerables en su cadena de producción es la etapa de vivero, donde las plántulas enfrentan condiciones de estrés abiótico como altas temperaturas, deficiencia hídrica, baja disponibilidad de nutrientes y suelos poco estructurados, lo que afecta su desarrollo inicial (García, 2021).

En las últimas décadas, el uso intensivo de fertilizantes químicos y agroquímicos en la producción agrícola ha provocado un deterioro progresivo de los suelos, una creciente dependencia de insumos sintéticos y un impacto ambiental considerable. En este contexto, los bioestimulantes emergen como una alternativa sostenible, al permitir la estimulación de procesos fisiológicos naturales en las plantas, con el fin de mejorar su desarrollo, rendimiento y resistencia a condiciones adversas (Herrero, 2023).

Muchos productores llegan enfrentarse a los costos del ciclo productivo del café, los cuales son elevados y muchos productores no tienen recursos económicos propios para enfrentarlos, lo cual afecta la comercialización y sus ingresos, dado que al no dar el manejo adecuado a su plantación arriesgan la calidad de su cosecha.

El establecimiento en vivero es un punto débil en la producción de café, con mortalidad y crecimiento inicial limitado por muchos factores limitantes, las prácticas actuales dependen de fertilizantes químicos, poco favorables para la salud del suelo y el ambiente. Aunque hay indicios de beneficios de bioestimulantes orgánicos, faltan estudios comparativos locales que evalúen su efectividad en condiciones reales de vivero, por lo tanto, es necesario validar cuál bioestimulante (o combinación) es más eficaz para fortalecer plántulas de café en Nicaragua (García, 2021).

3.1. Preguntas de investigación

Pregunta general

¿Qué efecto tienen los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el desarrollo vegetativo y distribución de biomasa en plántulas de *Coffea arabica* durante la fase de vivero?

Preguntas específicas

- ¿Cómo influye cada tipo de bioestimulante agrícola orgánico en la tasa de crecimiento relativo de las plántulas de *C. arabica*?
- ¿Qué efecto tienen los distintos bioestimulantes sobre la distribución de biomasa aérea y subterránea en plántulas de *C. arabica*?
- ¿Qué diferencias existen en el índice de calidad de plántulas de *C. arabica* tratadas con distintos bioestimulantes orgánicos bajo condiciones de vivero?

4. Justificación

La etapa de vivero determina la calidad fisiológica de las plántulas de café. La producción de plantas mal formadas y poco balanceadas en biomasa área y subterránea generan pérdidas posteriores en campo, debido a bajos rendimientos y baja tolerancia al estrés hídrico y nutricional. Generalmente, el manejo de vivero se basa en uso excesivo de fertilizante sintéticos que pueden degradar el suelo, contaminar fuentes de agua y aumentar los costos productivos.

Los bioestimulantes orgánicos son considerados como una técnica de producción de gran importancia en la agricultura actual ya que aportan diversas sustancias, como ácido húmico y ácido fúlvico al suelo. Estas sustancias orgánicas mejoran los procesos naturales de la planta, aumentando su eficiencia en la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad de los cultivos (Azada verde, 2024). Aunque se promueven ampliamente, hay poca evidencia local y experimental que describa su eficacia real en condiciones de vivero en Nicaragua, especialmente en café. Por tanto, probar técnicas alternativas de fertilización, es clave para garantizar una agricultura más limpia, resiliente y de bajo costo.

Este estudio busca validar científicamente el efecto de diversos bioestimulantes en condiciones controladas para optimizar la producción de plantas de *C. arabica* de alta calidad fisiológica. Los datos experimentales de este estudio, permitirá ofrecer recomendaciones prácticas valiosas a los productores y viveristas de café, instituciones y proyectos de extensión que buscan una transición a la agroecología. Asimismo, contribuirá al fortalecimiento de la producción nacional mediante la transferencia de los resultados y el empoderamiento técnico.

5. Objetivos de investigación

5.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el crecimiento inicial y la distribución de biomasa en plántulas de café (*Coffea arabica* L.)

5.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de diferentes tipos de bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre tasa de crecimiento relativo de plántulas de *C. arabica*.

Calcular la distribución de biomasa área y subterránea de plántulas *C. arabica* sometida a diferentes bioestimulantes agrícolas orgánicos.

Comparar el efecto de diferentes bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el índice de calidad de plántulas de *C. arabica* en condiciones de vivero.

6. Limitaciones del estudio

Este trabajo presenta algunas limitaciones que conviene tener en cuenta al interpretar los resultados. Factores ambientales como la temperatura, la humedad y la luz pueden afectar la forma en que las plantas de café respondan a los bioestimulantes, por lo que los efectos observados podrían variar en otras condiciones, de igual manera, las características del suelo, incluyendo su composición, fertilidad y materia orgánica, pueden influir en la eficacia de los tratamientos aplicados. La disponibilidad suficiente de los bioestimulantes, así como el número de plantas utilizadas y las repeticiones del experimento, también representan restricciones que podrían limitar la precisión y consistencia de los datos obtenidos. Por último, los hallazgos reflejan únicamente las condiciones específicas de este estudio, por lo que su aplicación a otras zonas geográficas o sistemas de cultivo debe hacerse con precaución.

7. Hipótesis

Hipótesis de investigación

Al menos uno de los bioestimulantes agrícolas orgánicos aplicados, presenta diferencias significativas sobre el desarrollo vegetativo de plántulas de *C. arabica* durante la fase en vivero.

Los bioestimulantes agrícolas orgánicos como el humato de potasio y los MML, estimulan el crecimiento inicial y la distribución de biomasa de plántulas de *C. arabica* de forma equivalente al foliar plus, pero de forma superior al control durante la fase en vivero.

8. Operacionalización de Variables

Tabla 1.
Matriz de operacionalización de las variables

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicadores	Técnica o instrumentos	Fuente de datos
Determinar el efecto de diferentes tipos de bioestimulantes sobre tasa de crecimiento relativo de plántulas de <i>C. arabica</i> .	Tasa de crecimiento relativo	Es la velocidad de aumento de biomasa (peso seco) por unidad de peso total expresado g/d, aplicando la siguiente ecuación: $TCR = \frac{(\ln W2 - \ln W1)}{(t2 - t1)}$	Se determinará mediante la diferencia entre el incremento de biomasa seca final y la inicial de las plántulas expresado por el logaritmo natural (ln), entre el tiempo transcurrido durante el experimento.	Biomasa seca inicial g Biomasa seca final g Tiempo inicial y final en día	Hoja de registro, balanza digital, horno de secado	Datos primarios; Plantas de experimento de campo.
Calcular la distribución de biomasa aérea y subterránea de plántulas <i>C. arabica</i>	Biomasa vegetal	Es la cantidad total de materia orgánica producida por las plantas y	Se medirá a partir del peso seco de raíz, tallo y hoja, obtenido en una	Biomasa fresca de raíz, tallo y hoja (g)	Hoja de registro, balanza digital, horno de secado	Datos primarios; Plantas de experimento de campo.

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicadores	Técnica o instrumentos	Fuente de datos
sometida a diferentes bioestimulantes agrícolas.		expresada comúnmente en peso seco (g).	balanza analítica, tras el secado en horno de las plántulas a 85° C/48h.	Biomasa seca de raíz, tallo y hoja (g)		
Comparar el efecto de diferentes bioestimulantes sobre el índice de calidad de plántulas de <i>C. arabica</i> en condiciones de vivero.	Índice de esbeltez, Índice de calidad de Dickson	El índice de esbeltez es la relación entre la altura de un objeto y su diámetro Es un método para evaluar la calidad de las plantas de vivero que integra la	Se medirá la altura de cada planta con una cinta métrica y el diámetro al cuello de raíz con un pie de rey a 1cm sobre el nivel del suelo. En vivero se medirá la altura de cada planta se medirá con una cinta	Altura de planta (cm) Peso seco foliar (g) Peso seco tallo (g) Peso seco radicular (g) Diámetro al cuello de la raíz (mm)	Hoja de registro, balanza digital, horno de secado	Datos primarios; Plantas de experimento de campo.

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicadores	Técnica o instrumentos	Fuente de datos
		<p>masa seca total con la relación entre la altura y el diámetro del cuello, y la relación entre la parte aérea y la raíz (Dickson, 1960). El índice se obtendrá con la siguiente ecuación</p> $ICD = \frac{PTS}{\frac{Alt + PSA}{DCR \cdot PSR}}$	<p>métrica y el diámetro al cuello de raíz con un pie de rey a 1cm sobre el nivel del suelo. Posteriormente, a cada planta se le determinará el peso seco de raíz, tallo y hoja en una balanza analítica tras el secado en horno de las plántulas a 85°C/48h.</p>			

9. Marco Teórico

9.1. Generalidades del cultivo

El cultivo de café es una de las actividades agrícolas más importantes a nivel mundial, tanto por su impacto económico como por su relevancia en las culturas y economías locales. Su producción requiere un conocimiento detallado de las etapas del cultivo, desde la selección de semillas hasta la cosecha y el manejo posterior (Cambiagro, 2024) Las especies de café se diferencian en aspectos como la tolerancia a climas, resistencia a plagas y enfermedades, y composición de los granos (por ejemplo, contenido de cafeína). De acuerdo con (Cambiagro, 2024), las especies más comunes son:

- *Coffea arabica* (arábica): reconocida por su sabor suave y complejo, es la más cultivada a nivel mundial. Prefiere altitudes elevadas y climas frescos.
- *Coffea canephora* (robusta): conocida por su resistencia a enfermedades y climas cálidos. Produce granos con más cafeína y un sabor más amargo.
- *Coffea liberica*: originaria de África occidental, esta variedad se distingue por sus granos grandes y un sabor único, aunque es menos cultivada.
- *Coffea excelsa*: una subespecie de *C. liberica*, apreciada por sus notas afrutadas y aroma intenso, cultivada principalmente en Asia.

9.1.1. Taxonomía del cultivo del *C. arabica*

Tabla 2.

Descripción taxonómica del cultivo de *C. arabica*

Grupo	Fanerógamas, por ser planta de flores aparentes (órganos sexuales visibles).
Clase	Angiospermas, por ser una fanerógama con semillas contenidas en ovarios cerrados.

Subclase	Dicotiledóneas, por ser una angiosperma que contiene dos hojas embrionarias o seminales.
Orden	Rubiales, por ser dicotiledóneas con ovario ínfero, flor radiada, tetra o pentámetro (4 a 5 piezas en cada verticilo).
Familia	Rubiáceas, por ser rubiales que posee flores antinomorfos (regulares) tetracíclicas (4 verticilos) pentámeras, ovario ínfero, y bilobulado; y óvulos uniteguminados, hojas simples con estípulas.
Especie	El género Coffea cuenta con un gran número de especies entre las cuáles se enumera como principales: Arábica L, Canephora, Libérica, Dewevre

9.2. Aspectos botánicos del cultivo de café

9.2.1. Tallo

El tallo es recto y crece verticalmente. La corteza es rojiza en principio, y cuando empieza a lignificarse, el tallo adulto es de color gris, los más flexibles son los de la especie arábica, y de él nacen las ramas, que son plagiotrópicas o de crecimiento horizontal. El arbusto de café está compuesto de un solo tallo o eje central, leñoso, erecto y de diferente longitud dependiendo de la variedad y la transpiración (Ramos-Cruz, 2020).

9.2.2. Raíz

Al igual que en el tallo en el sistema radical hay un eje central o raíz pivotante que crece y se desarrolla en forma cónica. Esta puede alcanzar hasta un metro de profundidad si las condiciones del suelo lo permiten. De la raíz pivotante salen dos tipos de raíces: unas fuertes y vigorosas que crecen en sentido lateral y que ayudan en el anclaje del arbusto y otras que salen de éstas de carácter secundario y terciario. Normalmente estas se conocen como raicillas o pelos absorbentes. El sistema radical del cafeto es uno superficial, ya que se ha constatado que alrededor del 94% de las raíces se encuentran en el primer pie de

profundidad en el suelo. Las raíces laterales pueden extenderse hasta un metro alejadas del tronco. Generalmente la longitud de las raíces coincide con el largo de las ramas (Valdivieso et al., 2011).

9.2.3. Hojas

Son hojas ovaladas, bordes lisos, lustrosas, verdes, que se mantienen durante tres a cinco años, la colocación de las hojas está en cada nudo, salen en pares. En las hojas se realizan los tres procesos fisiológicos más importantes que soportan el crecimiento y desarrollos vegetativo y reproductivo, éstos son: la fotosíntesis, la respiración y la transpiración (Ramos-Cruz, 2020).

9.2.4. Reproducción

La etapa reproductiva del café es una de las fases más importantes en el desarrollo del cultivo, ya que determina la calidad y cantidad de los granos producidos. Este proceso abarca desde la formación de las flores hasta la maduración del fruto, conocido como cereza. Reproducción del café, la reproducción del café implica varios métodos y técnicas, tanto sexuales como asexuales los métodos sexuales incluyen el uso de semillas en grano, mientras que los métodos asexuales utilizan material vegetativo como estacas, esquejes o injertos. La propagación asexual es especialmente útil para obtener plantas fieles a la variedad, ya que la fecundación de la flor ocurre por autopolinización en *C. arabica* (Cambiagro, 2024).

9.3. Aspectos agronómicos del cultivo de café

9.3.1. Siembra en etapa de vivero

La siembra durante la etapa de vivero requiere de un enfoque técnico que favorezca una germinación uniforme y un desarrollo inicial vigoroso (Cambiagro, 2024). Aspectos técnicos esenciales:

- ✓ Distancia y profundidad: en los semilleros, las semillas deben sembrarse a una distancia de 5 cm entre sí y 10 cm entre surcos, y a una profundidad de 1.5-2 cm. Esto evita la competencia por luz y nutrientes.
- ✓ Riego: se debe mantener un nivel constante de humedad en el sustrato, evitando tanto la sequía como el encharcamiento.
- ✓ Protección: las semillas y plántulas deben protegerse de lluvias intensas, vientos fuertes y radiación solar directa, utilizando mallas o coberturas parciales.

9.3.2. Manejo del suelo

El manejo del suelo en el cultivo de café es fundamental para garantizar una producción sostenible y de calidad. Este proceso incluye realizar análisis del suelo para conocer su pH y contenido de nutrientes, aplicar fertilizantes de forma balanceada según las necesidades del cultivo, conservar la estructura del terreno mediante prácticas como el uso de barreras vivas y cobertura vegetal, y enriquecerlo con materia orgánica para mejorar su fertilidad. Además, se controla la maleza de manera eficiente y se considera el descanso o rotación del terreno en zonas con desgaste. Estas acciones permiten mantener la salud del suelo, optimizar el rendimiento del cafetal y proteger el medio ambiente (ICAFE, 2011).

9.3.3. Condiciones climáticas

El café, como cultivo tropical, tiene requisitos climáticos muy específicos que influyen directamente en la calidad y cantidad de la producción. En primer lugar, la temperatura es un factor crítico; las zonas donde se cultiva café requieren temperaturas promedio de entre 18-24°C durante el año. Temperaturas por encima de los 30°C o por debajo de los 13°C pueden ser perjudiciales para el cultivo, afectando tanto el desarrollo del arbusto como la formación y maduración del fruto. En segundo lugar, la precipitación es fundamental para el café, se necesita un

promedio anual de entre 1,500 a 3,000 mm de lluvia, siendo ideal que estas precipitaciones estén bien distribuidas a lo largo del año (Axayacatl, 2010).

9.4. Bioestimulantes

La palabra bioestimulante está formada por dos conceptos con significados claramente reconocibles. Por una parte, “bio” significa vida, por otra parte “estimulante” indica que provoca un estímulo. De este modo, un bioestimulante es un producto agrícola para la “estimulación de la vida”. Y nada más lejos de la realidad, ya que en el sector agrícola lo que pretendemos con el uso de bioestimulantes no es otra cosa que proteger, dar vida, mejorar y estimular a las plantas (Valero, 2019).

Los bioestimulantes agrícolas incluyen diversas formulaciones de compuestos, sustancias y otros productos que se aplican a plantas o suelos para regular y mejorar los procesos fisiológicos del cultivo, haciéndolos más eficientes. Los bioestimulantes actúan sobre la fisiología de las plantas a través de diferentes vías que los nutrientes para mejorar el vigor del cultivo, los rendimientos, la calidad y la vida útil/ conservación después de la cosecha (Valero, 2019).

Según Cabrefiga & Boix (2024), los bioestimulantes vegetales son productos fertilizantes que contienen sustancias o microorganismos cuya función, una vez aplicados en la planta, fomentan el crecimiento y el desarrollo de ésta y mejoran su eficiencia metabólica aumentando, así, el rendimiento y calidad del cultivo.

A diferencia de los fertilizantes convencionales, los bioestimulantes no aportan nutrientes directamente, sino que optimizan el uso de los nutrientes disponibles y fortalecen las capacidades intrínsecas de las plantas. Estos productos no solo potencian el crecimiento y la salud de las plantas, sino que también desempeñan un papel crucial en la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. A continuación, se exploran las principales razones por las cuales los bioestimulantes son fundamentales para el desarrollo de una agricultura sostenible por Azada verde (2024).

Aumento de la eficiencia en el uso de nutrientes

Los bioestimulantes mejoran significativamente la disponibilidad y absorción de nutrientes por parte de las plantas, lo que permite reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Esta optimización no solo ayuda a reducir los costos de producción, sino que también minimiza la contaminación del suelo y del agua, provocada por el uso excesivo de fertilizantes.

Mejora de la resistencia al estrés

Las plantas tratadas con bioestimulantes desarrollan una mayor resistencia a condiciones adversas como la sequía, la salinidad y las temperaturas extremas. Esta capacidad de adaptación es esencial en un contexto de cambio climático, donde las condiciones meteorológicas son cada vez más impredecibles y extremas.

1. **Promoción de la salud del suelo** Los componentes de los bioestimulantes, como los ácidos húmicos y los microorganismos benéficos, mejoran la estructura y la fertilidad del suelo. Esto fomenta un ecosistema saludable que favorece no solo el crecimiento de las plantas, sino también la biodiversidad del suelo, creando un entorno más equilibrado y productivo.
2. **Aumento de la calidad y rendimiento de los Cultivos** Los bioestimulantes tienen el potencial de mejorar la calidad de los frutos, flores y semillas, incrementando su contenido nutricional y su valor comercial. Esto resulta en cultivos más rentables y nutritivos para el consumidor final, beneficiando tanto a los agricultores como a los consumidores.
3. **Reducción de la huella ambiental** al optimizar el uso de recursos y reducir la necesidad de insumos químicos, los bioestimulantes contribuyen significativamente a una agricultura más sostenible y menos contaminante. Esta reducción en la huella ambiental es esencial para la preservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

9.4.1. *Microorganismo de montaña*

Los microorganismos de montaña son: micorrizas, hongos, bacterias, levaduras, algas y otros organismos benéficos del suelo. Estos microorganismos constituyen la parte viva del suelo, responsable de liberar los nutrientes de una forma asimilable para la planta. La replicación de estos microorganismos de montaña tiene como fin poder recuperar las poblaciones de estos que se han mermado por el uso de agroquímicos o un mal manejo del suelo (JICA, 2016).

Se encuentran en la capa superficial y orgánica de todo suelo de un ecosistema natural no intervenido; en promedio hay 80 especies de microorganismos, comprendidos en unos diez géneros que pertenecen a cuatro grupos: bacterias, fotosintéticos, actinomicetos, bacterias productoras de ácido láctico y levaduras. Para obtener la base de este inóculo, debemos acudir a las zonas en las que se desarrollan, es decir a un ambiente natural, por ejemplo, los podemos encontrar en el suelo de montañas, bosques, parras de bambú y lugares sombreados donde en los últimos tres años no se han utilizado agroquímicos (INIFAP, 2018).

Este insumo puede elaborarse como inóculos sólidos y líquidos. Para su multiplicación, es preferible que el inóculo de microorganismos recolectados sea de una zona cercana al lugar en el que se aplicarán, pues los microorganismos pueden adaptarse con mayor facilidad a un lugar con condiciones climáticas similares al lugar de recolección. Añadimos melaza, azúcar o piloncillo, para aportar carbohidratos simples que activen la multiplicación de los microorganismos presentes en el suelo recolectado. Sémola de arroz, trigo o maíz, harina de habas o de otro grano funcionarán como un sustrato nutritivo para la proliferación microbiana. Se añade harina de roca lo que aportará minerales esenciales y la mezcla debe pasar por el periodo de incubación de microorganismos, que nos permita tener un bioinsumo de calidad (INIFAP, 2018).

9.4.1.1. *Propiedades físicas del MML*

Efectos en las condiciones físicas del suelo: mejoran la estructura y la agregación de las partículas del suelo, reducen su compactación, incrementan los espacios porosos y mejoran la infiltración del agua. De esta manera se disminuye la frecuencia de riego; los suelos son capaces de absorber 24 veces más el agua proveniente de la lluvia y se evita la erosión por el arrastre de las partículas. Para que la acción de los microorganismos sea eficiente se debe conocer los requerimientos ambientales, entre ellos se consideran la humedad, temperatura y pH. Existe mayor diversidad de microorganismos en ambientes de pH neutro entre valores de 6 a 8 y con temperaturas entre 15 y 45°C. La reproducción o inoculación de MM se realiza bajo fermentación anaeróbica (Sandoval-Reyes et al., 2017).

9.4.1.2. *Propiedades químicas del MML*

La composición de los nutrientes y metabolitos que se generan durante el proceso de fermentación. Entre los principales componentes se encuentran los ácidos orgánicos, enzimas, aminoácidos, azúcares reductores, minerales esenciales y sustancias húmicas. Las poblaciones microbianas benéficas presentes en los activados líquidos de MM se pueden clasificar principalmente en 4 grupos funcionales: fijadores de nitrógeno (FN), solubilizadores de fósforo (SP), lactobacilos (Lac) y levaduras (Lev).

Se ha determinado que al cuarto día de activación del MM se produce el crecimiento de principalmente hongos, a los 8 días bacterias y a los 15 días levaduras, sin embargo, en recuentos realizados en el Laboratorio de Microbiología del CIA-UCR, se ha observado la presencia de los 4 grupos funcionales antes mencionados, en altas proporciones en muestreos realizados en diferentes etapas después de la activación.

Particularmente, el uso de los microorganismos de montaña, tanto en la versión sólida como las activaciones líquidas (bioles de MM), se ha vuelto central y fundamental, gracias a las funciones que se les atribuye como inóculo microbiano, los cuales funcionan como mejorador de la biología del suelo, supresor de

enfermedades, facilitador de la disponibilidad de elementos esenciales en el suelo, descomponedor de materia orgánica, optimizador en la producción pecuaria, controlador de malos olores, entre otros (Sandoval-Reyes et al., 2017).

9.4.1.3. Usos y dosis en la agricultura del MML

Es importante aplicar los MMA al follaje de los cultivos, sobre todo cuando tienen de cinco a nueve días de activados. En ese periodo es posible encontrar una fuerte cantidad de hongos y bacterias benéficas que controlan o suprimen las plagas y enfermedades.

En fase líquida, los MM pueden aplicarse al suelo de manera directa, vía sistemas de riego por goteo en grandes volúmenes de descarga. Las aplicaciones se pueden iniciar desde la preparación del suelo y continuar hasta llegar al manejo del cultivo (Rodríguez-Calampa & Tafur-Torres, 2014).

De los cinco a los nueve días, los MM se aplican al follaje de los cultivos para el control de plagas y enfermedades. Los expertos en el tema indican que en ese momento es cuando existe mayor cantidad de hongos y bacterias benéficas que actúan sobre los microorganismos que causan enfermedades a los cultivos. Para aplicar al follaje de los cultivos, se pueden realizar concentraciones al 100% de MMA para el control de plagas y enfermedades como, por ejemplo, mildius en chile pimiento. Cabe recordar que los MMA son un cultivo de microorganismos benéficos que no causan daños a los cultivos ni a los suelos donde se aplican.

De los 10 a los 14 días, se pueden aplicar al suelo directamente por diferentes sistemas de riego, sobre todo cuando existe gran cantidad de residuos de cosecha, lo cual contribuye a su degradación rápida y a aumentar la actividad microbiológica del suelo (Rodríguez-Calampa & Tafur-Torres, 2014).

Aplicaciones directas al suelo para mejorar la actividad microbiológica

Aplicar 1 tonel o barril de 200 litros de capacidad en una manzana de terreno. Los MMA ayudan a descomponer los residuos de cosecha en su parcela, por eso, entre más residuos existan en el suelo de su parcela, aplique más MMA al

100% de concentración, es decir, sin mezclado con agua. De los 14 a los 20 días de haber sido activados, los MMA se deben incorporar en la elaboración de compost. Se utilizan para aplicar la semilla de microorganismos benéficos, especialmente las levaduras contenidas en mayores cantidades, a partir del día 14 de haber sido activados los MM. En el pasto fermentado se utilizan al momento de elaborarlos, para humedecer la mezcla de pasto junto con la remolina de arroz, y aplicar microorganismos benéficos que contribuyen a la fermentación de los materiales (Rodríguez-Calampa & Tafur-Torres, 2014).

9.4.2. Humato de potasio

Las sustancias húmicas son los productos finales de la descomposición microbiana y la degradación química de la biota en los suelos. Son consideradas como las moléculas orgánicas naturales más abundantes en la tierra y los principales componentes de la materia orgánica del suelo, se consideran bioestimulantes de las plantas (RSQagro, 2023).

El ácido húmico soluble es la sal de potasio del ácido húmico también conocida como humato de potasio. Tiene todas las características de los ácidos húmicos, con los beneficios adicionales de la solubilidad, sin presentar precipitación o separación sólida después de las diluciones.

Las sustancias húmicas desempeñan un papel clave en muchas plantas que crecen en el suelo y arena: controlan la disponibilidad de nutrientes, el intercambio de carbono y oxígeno entre el suelo y la atmósfera. Además de aumentar el crecimiento general de la raíz en las etapas tempranas del desarrollo de la planta. En algunos estudios que involucran el crecimiento de plantas de temporada completa en invernaderos y campos, se ha encontrado que los ácidos húmicos aumentan el rendimiento y/o la calidad del cultivo (RSQagro, 2023).

Beneficios

Acido húmico: mejora la salud y estructura del suelo, acido fúlvico ayuda con el transporte y absorción de nutriente y Potasio contribuye al movimiento de agua, nutrientes y carbohidratos en el tejido vegetal

- Aumenta la vitalidad de raíz.
- Regula el pH del suelo aumentando su fertilidad.
- Estimular la actividad microbiana beneficiosa.
- Certificación CERES para su uso en agricultura orgánica.

Los ácidos húmicos son moléculas complejas de tipo orgánicas que resultan de la descomposición de la materia orgánica. El ácido húmico incide en gran parte en la fertilidad del suelo, esto se debe a una serie de características entre las cuales resaltan la capacidad de retención de agua en el suelo (Ambi-Celi, 2021).

Estas características únicas de los ácidos húmicos contribuyen en gran parte a la estabilidad y fertilidad del suelo. Por otro lado, los ácidos fúlvicos son resultado de la descomposición de la materia orgánica y que es altamente aprovechado por las plantas. Los agricultores y productores agrícolas han despertado un gran interés en este tipo de ácidos ya que se ha comprobado que la aplicación de ellos mejora el aprovechamiento de fertilizantes tanto foliares como radiculares.

También el ácido fúlvico estimula en crecimiento y desarrollo de la planta en varios estados fenológicos, por lo que se mejora la calidad de la producción y se mejora el rendimiento del cultivo. Todos los abonos orgánicos benefician ampliamente a la raíz de la planta, lo cual resulta de gran importancia ya que las raíces son el acceso principal de los nutrientes hacia la planta (Ambi-Celi, 2021).

9.4.2.1. Propiedades físicas del humato de potasio

Es un tipo de humato de potasio derivado de Leonardita. Su contenido en ácidos húmicos y fúlvicos es extremadamente alto, con la máxima solubilidad en agua, tanto en forma de hojuelas como de polvo (AgroEcology, 2019).

Tabla 3.*Composición química del humato de potasio*

Parámetro	Valor
Apariencia	Polvo negro
Acido húmico (base seca)	80%
Potasio (como K ₂ O)	10%
Valor de pH	9-11
Solubilidad en agua	100% y con propiedades defloculantes
Pérdida por secado	≤ 1%
Humedad	≤ 15%

9.4.2.2. Propiedades químicas del humato de potasio

Los ácidos húmicos y fúlvicos son agentes naturales quelatantes de metales catiónicos, por lo que son utilizados para la nutrición mineral de los cultivos debido a la acción acomplejante que ejercen sus grupos funcionales carboxílicos (COOH) e hidroxílicos (OH). Estos grupos funcionales son la porción biológicamente activa de los ácidos húmicos y fúlvicos que proveen las cargas negativas que permiten que los metales catiónicos sean acomplejados en forma de quelatos. Los ácidos húmicos y fúlvicos también contienen grupos funcionales amino cargados positivamente y que pueden acomplejar aniones como fosfatos, sulfatos, nitratos, etc. El humato, constituyen una alternativa eficaz para la nutrición foliar de los cultivos, no solo por su capacidad de acomplejar cationes, sino además por los efectos estimulantes del crecimiento vegetal y su facilidad para incrementar la absorción foliar (Molina, Eloy-Melendez, 2002).

9.4.2.3. Usos y dosis en la agricultura humato de potasio

Puede haber diferencias significativas en la dosis óptima para diferentes cultivos. Además, el gasto de los humatos durante la aplicación foliar debe depender del método de aplicación a la planta y de las propiedades de la solución en sí. Con gotas grandes, una parte significativa de la solución puede drenar al suelo, y con una pulverización muy fina, parte de la solución puede evaporarse sin

llegar a las hojas o transportarse por el viento. Las dosis óptimas de aplicación de humato al suelo en estado seco o con irrigación se determinan como la garantía de la vida de las plantas y los microorganismos del suelo, y también como el mantenimiento de la estructura natural del suelo (AgroBio, 2021).

En realidad, en la mayoría de los suelos ya está cierta cantidad de las sustancias húmicas y es necesario aplicar no toda la dosis indicada, sino sólo la diferencia que falta. Por eso las dosis óptimas (o suficientes) de aplicación de humato en el suelo pueden ser bastante inferiores y según nuestros datos estar alrededor de 2 - 25 kg/ha. Para los terrenos ricos en humus (6% o más) la dosis de humato es de 2 - 5 kg/ha, para los terrenos con contenido de humus de 5 - 6% - 5 - 8 kg/ha, 3 - 5% - 10 - 12 kg/ha, menos de 3% - 12 - 25 kg/ha. Toda la información obtenida se reproduce sobre la base de cálculo de 100% de principio activo, y las dosis en kg/ha. Fue detectado que las dosis recomendadas se diferencian hasta diez veces: para la aplicación foliar de 0,17 a 3,4 kg/ha, para aplicación en las raíces de 1,12 a 12 kg/ha (AgroBio, 2021).

9.4.3. Foliar plus

Es un fertilizante foliar sistémico que complementa la fertilización inorgánica y presta su utilidad cuando el ritmo de absorción radicular está afectado por algún factor limitante no encontrándose disponibles los nutrientes en el interior de la planta o bien cuando el ritmo de crecimiento de la planta es muy activo superando el nivel de absorción y movilidad normal de los nutrientes (Ramírez, 2023). Este producto, es incompatible con productos fuertemente alcalinos. Es compatible con insecticidas, fungicidas e inoculantes (Ramírez, 2023).

En la actualidad no existen estudios detallados sobre los mecanismos fisiológicos de acción de la gran cantidad de sustancias naturales, microorganismos y productos más o menos elaborados que se consideran bioestimulantes. Ello se debe en gran medida a los altos costos de los análisis de la composición de los bioestimulantes, que conspiran contra la rentabilidad de su uso, sobre todo si se tiene en cuenta el enfoque agroecológico y sostenible de su empleo (que los

campesinos produzcan sus propios bioestimulantes). Se conoce, en cambio, que los bioestimulantes favorecen los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas a través del mejoramiento de la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, el incremento de la absorción y asimilación de elementos minerales, y el aumento de la tolerancia de los vegetales al estrés, todo lo cual conduce a la obtención de mayores rendimientos (Héctor-Ardisana et al., 2020).

Según la investigación de Héctor-Ardisana et al., (2020), varios bioestimulantes (lixiviado de gallinaza 3/10 v/v, y lixiviados de vermicompost de estiércol bovino 2/10 y 3/10 v/v) alcanzaron valores altos en las variables altura de la planta, nódulos por planta y rendimiento de vainas secas obtenidos en maní, similares a la fertilización con NPK. En particular, con el lixiviado de gallinaza 3/10 (v/v) y con las tres diluciones de lixiviado de vermicompost de estiércol bovino se lograron niveles de nodulación significativamente superiores a los del suelo al que no se aplicó ningún producto, aunque es evidente que en el suelo existen poblaciones de rizobios compatibles con el cultivo. Otros autores han encontrado incrementos similares en este proceso simbiótico en presencia de vermicompost (22-24).

La investigación de Luo et al., (2015), indica que la aplicación foliar o al suelo de nitrógeno (N) puede aumentar el crecimiento de las plantas y la tolerancia a la salinidad en el algodón, pero rara vez se estudia una combinación de ambos métodos bajo estrés por salinidad. Se realizó un experimento en maceta para estudiar los efectos de la aplicación al suelo (S), la aplicación foliar (F) y una combinación de ambas (S + F) con nitrógeno marcado (^{15}N) sobre el crecimiento del algodón, la absorción y la translocación de N bajo estrés por salinidad ($\text{ECe} = 12,5 \text{ dS m}^{-1}$). Biomasa vegetal, área foliar, contenido de clorofila foliar (Chl), tasa fotosintética (Pn) neta foliar, niveles de ^{15}Se determinó la relación N y $[\text{Na}]$ y K/Na en tejidos vegetales a los 3, 7, 14 y 28 días después de la aplicación de N (DAN).

Los resultados mostraron que la fertilización nitrogenada foliar o del suelo mejoró la biomasa de las plantas, el área foliar por planta y la fotosíntesis de las hojas, y una combinación de N aplicado al suelo más foliar fue superior a S o F solo

bajo estrés por salinidad. Aunque la aplicación foliar favoreció una rápida acumulación de N foliar y la aplicación al suelo una rápida acumulación de N radicular, S + F mejoró la acumulación de N tanto en la hoja como en la raíz bajo estrés por salinidad. La aplicación combinada de N también mantuvo significativamente mayor [K] y K/Na que la aplicación foliar o del suelo sola. Por lo tanto, la mejora del crecimiento de las plantas y la tolerancia a la salinidad bajo S + F en relación con la aplicación de N en el suelo o foliar solo se atribuyó al aumento de la absorción total de N, concentraciones equilibradas de N en diferentes tejidos a través de una mayor absorción y acumulación tanto en hojas como en raíces, y una mayor proporción de K/Na.

9.4.3.1. *Propiedades químicas del foliar plus*

Tabla 4.

Composición química del foliar plus

Composición	% p/p	% p/v
Nitrógeno Total (N)	12,5	15,0
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₄)	0,75	0,9
Nitrógeno Ureico (N-NH ₂)	11,75	14,1
Pentóxido de Fósforo (P ₂ O ₅) soluble en agua	6,8	8,0
Óxido de Potasio (K ₂ O) soluble en agua	5,0	6,0
Óxido de Magnesio (MgO) soluble en agua	0,025	0,03
Boro (B) soluble en agua	0,08	0,10
Cobre (Cu) soluble en agua, quelado por EDTA	0,06	0,07
Manganeso (Mn) soluble en agua, quelado por EDTA	0,05	0,06
Molibdeno (Mo) soluble en agua	0,005	0,006
Zinc (Zn) soluble en agua, quelado por EDTA	0,009	0,45
Vitamina B1	0,009	0,011

9.4.3.2. Usos y dosis en la agricultura del foliar plus

El foliar plus es un promotor del crecimiento vegetal que se aplica por vía foliar para estimular el desarrollo de distintos cultivos. Su dosis recomendada varía entre 3 y 6 litros por hectárea, dependiendo del tipo de cultivo y la etapa de crecimiento. En cereales, se sugiere realizar una o dos aplicaciones durante la fase vegetativa, pudiendo mezclarse con productos fitosanitarios; en frutales, viña y olivo, la aplicación también es de una o dos veces durante el desarrollo vegetativo; mientras que en hortícolas se aconsejan dos o tres aplicaciones en la misma etapa. Este producto actúa favoreciendo el crecimiento de hojas y tallos, mejorando la absorción de nutrientes y potenciando la fotosíntesis, lo que se traduce en plantas más vigorosas y con mejor rendimiento. Para obtener los mejores resultados, se recomienda aplicarlo en horas frescas del día, evitando la exposición directa al sol y procurando una cobertura uniforme sobre el follaje (Ramirez, 2023).

10. Diseño metodológico

10.1. Tipo de investigación

Por el método de investigación, el presente estudio es de tipo experimental, según el nivel de profundidad del conocimiento el tipo de estudio es explicativo porque busca identificar las causas de un fenómeno (variaciones en el crecimiento, distribución de biomasa, etc.), explicar por qué ocurre y en qué condiciones se da (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2020). De acuerdo con el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo y según el período y secuencia del estudio es transversal o transversal (Canales et al., 1994). De acuerdo con el alcance de los resultados el estudio es analítico (Canales et al., 1994) En cuanto al enfoque filosófico, por el uso de los instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se fundamenta en la integración sistémica de los métodos y técnicas cuantitativas de investigación (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2020).

De acuerdo con la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE 2013), la presente investigación Campo amplio: 08 Agricultura, silvicultura, pesca y veterinaria; Campo específico: 081 Agricultura y Campo detallado: 0811 Producción agrícola y ganadera. En conformidad con las líneas de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), esta investigación se ubica en el área de conocimiento de Ciencias agropecuarias, en la LÍNEA CAG-1: SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA y SUB LÍNEA CAG-1.1: SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. Por su área geográfica, la experimentación se llevó a cabo en la Estación Experimental para el Estudio del Trópico Seco "El Limón", adscrita a la UNAN - Managua / CUR - Estelí, Nicaragua (13° 05' 31" N, 86° 21' 14" O), a 890 m s.n.m. La temperatura media anual es de 22,3 °C (16-33 °C) y la precipitación media anual es de 804 mm.

10.2. Población y selección de muestra

La población estuvo conformada por plántulas de *C. arabica* en etapa de vivero, cultivadas bajo condiciones controladas de manejo agronómico, incluyendo

riego, luminosidad solar. Las plántulas se desarrollaron en bolsas de 6x10 con sustrato homogéneo, asegurando condiciones uniformes para el desarrollo del experimento.

Muestra

La muestra de este estudio fue una muestra censal, es decir, que se recopilaron los datos de toda la población de estudio en lugar de una muestra representativa. Esto ocurre porque la población es pequeña y manejable, en este caso, la población y muestra está compuesta por 180 plántulas distribuidas en cuatro tratamientos.

10.3. Técnicas, instrumentos y procedimiento para recolección de datos

Para la presente investigación se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar (BCA), conformado por 3 bloques con 4 tratamientos de bioestimulantes orgánicos y cada uno con 15 plantas, para un total de 180 plantas. Las aplicaciones de los bioestimulantes se realizaron de forma semanal durante 8 semanas consecutivas, siguiendo las dosis previamente establecidas para cada tratamiento. Para el análisis de los datos obtenidos se utilizará un Análisis de Varianza (ANOVA) basado en el modelo estadístico:

$$Y_{ij}: \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad EC.1$$

donde μ corresponde a la media general, τ_i el efecto del i -ésimo tratamiento, β_j el efecto del j -ésimo bloque ($j=1, \dots, b$) y ε_{ij} es el error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} . Comúnmente los términos de error se asumen normalmente distribuidos con esperanza cero y varianza común σ^2 .

La preparación del sustrato para establecer las plántulas se realizó con tierra y el 30% de cascarilla de arroz, la cual ayuda con la retención de humedad y a aumentar la porosidad del suelo. Posteriormente, se realizó la selección de las plantas de café de la variedad Marsellesa y es el resultado del cruce entre el Híbrido de Timor (que aporta resistencia a la roya) y Villa Sarchí (que contribuye con su excelente calidad en taza y adaptabilidad).

Esta combinación genética estratégica dio como resultado una planta con la robustez del Híbrido de Timor y la fineza sensorial de Villa Sarchí, creando una variedad ideal para productores que buscan sostenibilidad y calidad. Se estableció bajo cada tratamiento con bioestimulante, garantizando que fueran homogéneas en edad y tamaño inicial.

Para la elaboración del humato de potasio, se utilizó 12kg de humus de lombriz, al cual se le añadió 1kg hidróxido de potasio, 35lts de agua. La mezcla se removió dos veces por día, en la mañana y la tarde durante seis días para que se diera la digestión aeróbica y la extracción de ácidos húmicos y fúlvicos. El bioestimulante de microorganismos se preparó mediante la activación de un consorcio microbiano benéfico microorganismos de montaña mezclando melaza como fuente de energía, agua sin cloro, dejándolo fermentar en condiciones anaeróbicas controladas durante varios días hasta estabilizarse. Finalmente, el bioestimulante foliar convencional consistió en un preparado comercial de nutrientes solubles que se diluyó en agua siguiendo las indicaciones del fabricante, asegurando su correcta dosificación para aplicación directa sobre las plantas.

Para la preparación de dosis de los tratamientos se utilizaron recipientes plásticos limpios con capacidad adecuada para las mezclas, probetas graduadas y agua libre de cloro. Los bioestimulantes empleados fueron Foliar Plus, Microorganismos de Montaña Líquido (MML) y Humato de Potasio. Cada producto se midió cuidadosamente para asegurar la dosis establecida en el experimento. El tratamiento con Foliar Plus se preparó disolviendo 2.5 ml del producto por cada litro de agua. Para un volumen total de tres litros de agua, se utilizaron 7.5 ml de Foliar Plus. La mezcla se homogenizó manualmente para obtener una solución uniforme. De esta solución se aplicaron 60 ml por planta mediante aspersión foliar, asegurando una distribución homogénea en cada una de las plantas tratadas.

La preparación del tratamiento con Microorganismos de Montaña Líquido (MML) se empleó una dosis de 20 ml por litro de agua. De esta manera, en tres litros de agua se diluyeron 60 ml de MML, mezclando suavemente para no afectar la viabilidad de los microorganismos. De la solución resultante se aplicaron 60 cc

por planta, directamente en la zona correspondiente del cultivo. En el caso del Humato de Potasio, el producto disponible tenía una concentración del 5 % (50ml/L de agua). Para la preparación total de tres litros de agua se midieron 150 ml de Humato de Potasio, obteniendo así la solución de trabajo. Esta mezcla se agitó manualmente para garantizar su uniformidad y posteriormente se aplicó en una dosis de 60 ml por planta.

Los tratamientos se aplicaron de forma semanal a las plantas durante un periodo de ocho semanas consecutivas, cada aplicación se realizó siguiendo las dosis establecidas para cada bioestimulante, asegurando una distribución uniforme del producto en todas las plantas. Este procedimiento permitió mantener una aplicación constante y controlada, garantizando que las plantas recibieran cada tratamiento a la misma frecuencia y condiciones durante todo el proceso de nuestro estudio.

Para determinar la tasa de crecimiento relativo (TCR) de las plántulas de café se determinó el peso seco inicial y el peso final de las plantas luego de cuarenta y cinco días de experimentación. La TCR se estimó mediante la siguiente ecuación propuesta por Hoffmann & Poorter, (2002).

$$TCR = \frac{(\ln W2 - \ln W1)}{(t2 - t1)} \quad EC. 2$$

Donde \ln indica el logaritmo natural, $W1$ indica la biomasa seca inicial de las plántulas, $W2$ es la biomasa seca de las plántulas al final del experimento, $t1$ indica el tiempo inicial del experimento (0 d), $t2$ indica el tiempo al final del experimento (45 d) después de aplicado de los tratamientos.

El diámetro al cuello de la raíz (DCR), se midió con un pie de rey a 1 cm sobre la base del sustrato, el DCR se expresará en mm. La altura de cada planta se midió con un flexómetro desde la base del sustrato hasta ápice de la última hoja, la altura de cada planta se mide en cm.

Para determinar la biomasa de raíz, tallo y hoja de cada planta, se extrajo cada planta del sustrato con ayuda de agua para evitar daños a la raíz, se retiró el

suelo residual de cada raíz con agua y posteriormente se secó con un papel absorbente. La planta será seccionada por parte (raíz, tallo y hoja) y se anotó el peso fresco de cada parte, posteriormente cada parte se introdujo en una bolsa de papel y se colocó en el horno a 80° C durante 48h.

10.4. Confiabilidad y validez de los instrumentos

La confiabilidad de los instrumentos y de las mediciones se garantizó mediante la realización de repeticiones sistemáticas y la calibración previa de cada equipo utilizado antes de cada sesión de toma de datos. Este procedimiento permitió reducir al mínimo los posibles errores, asegurando resultados consistentes en cada medición. Para ello, se verificó la precisión de las cintas métricas, la balanza digital y demás instrumentos, garantizando que todos operaran correctamente y bajo las mismas condiciones. Además, se estableció un protocolo de medición uniforme, aplicando las mismas técnicas en todos los tratamientos y bloques experimentales, lo que fortaleció la confiabilidad de los datos recolectados y aseguró la coherencia de los resultados a lo largo del estudio.

La validez de los instrumentos se fundamentó en la selección adecuada de las variables de evaluación y en la utilización de herramientas que midieran directamente los parámetros relacionados con el crecimiento inicial de las plántulas, las variables consideradas altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo, peso de biomasa y estado sanitario fueron elegidas cuidadosamente por su relevancia en la determinación del desarrollo vegetal, asegurando que la información obtenida reflejara con exactitud la realidad del experimento. Además, se emplearon métodos estandarizados de medición, basados en criterios técnicos y bibliografía especializada, lo que incrementa la validez interna del estudio. De esta manera, los datos obtenidos representan de forma precisa los efectos de los bioestimulantes aplicados, garantizando que los instrumentos utilizados midan exactamente aquello que se pretende evaluar.

10.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos para el procesamiento y análisis de datos

Para el desarrollo de esta investigación, se organizará una base de datos estructurada en Microsoft Excel. A continuación, se realizará limpieza de los datos para eliminar errores, inconsistencias o datos faltantes en la información recolectada, Posteriormente se realizará un análisis estadístico descriptivo (promedios, desviaciones estándar, frecuencias, etc.,) para describir las características principales de los datos.

Finalmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) unifactorial para determinar el efecto diferente bioestimulantes agrícolas (variable independiente) sobre el crecimiento y distribución de biomasa e índices de calidad de plántulas de *C. arabica* (variables dependientes). Se probarán diferentes estructuras de varianza residual para descartar la falta de homogeneidad de varianzas y el ajuste de los mejores modelos se selecciona en base a los Criterios de Información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). En todos los casos, se reportarán los valores promedio \pm 1 error estándar, y entre grupos o tratamientos, se usará la prueba de LSD Fisher ($p < 0.005$), todos los análisis estadísticos se realizarán en el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2019).

11. Análisis y discusión de resultados

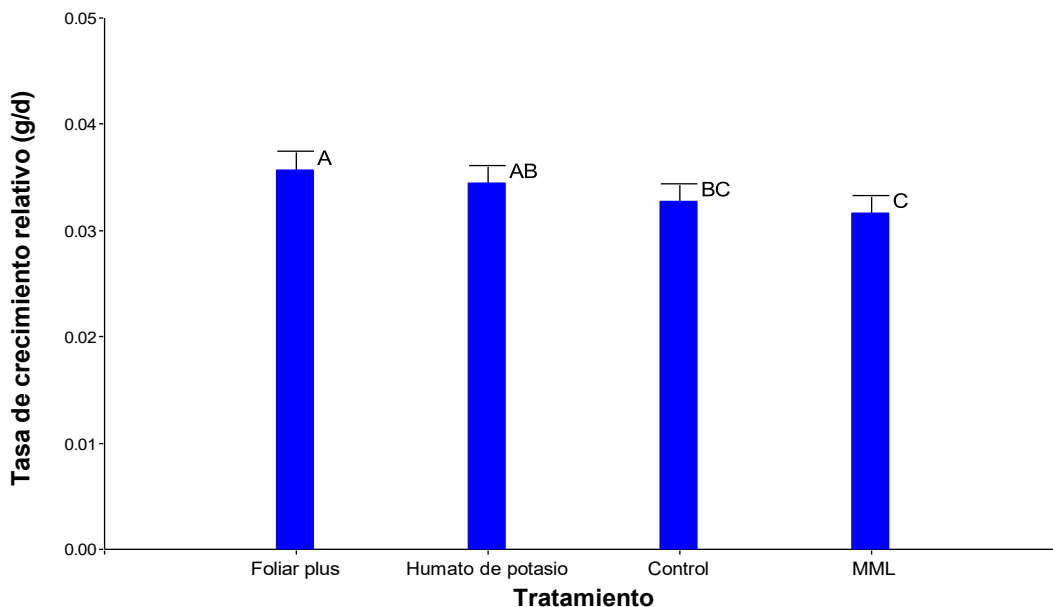
11.1. Tasa de crecimiento relativo en plántulas de *C. arabica*

La tasa de crecimiento relativo (TCR) de las plántulas de *C. arabica* difirió por efecto de los tratamientos aplicados ($F=3.6$; $P=0.0139$; Figura 1). El foliar plus indujo una TCR de 10 mg/d mayor a los demás tratamientos, pero fue similar a la del humato de potasio. Esto sugiere que el foliar plus mejora el uso de recursos y actividad metabólica para producir biomasa, mientras que los microorganismos de montaña promueven otro tipo de estrategia.

La tasa de crecimiento relativo (TCR) constituye un indicador clave para determinar el vigor y la eficiencia. En la figura 1 se muestra que el foliar plus obtuvo mayor tasa de crecimiento relativo en las plántulas de *C. arabica*, seguido por el humato de potasio. Los microorganismos de montaña tuvieron un efecto menor. Según Villaizan (2025), los ácidos húmicos y aminoácidos promueven el desarrollo foliar y radicular, coincidiendo parcialmente con los resultados en humato de potasio.

Figura 1.

*Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la tasa de crecimiento relativo de plántulas de *C. arabica**



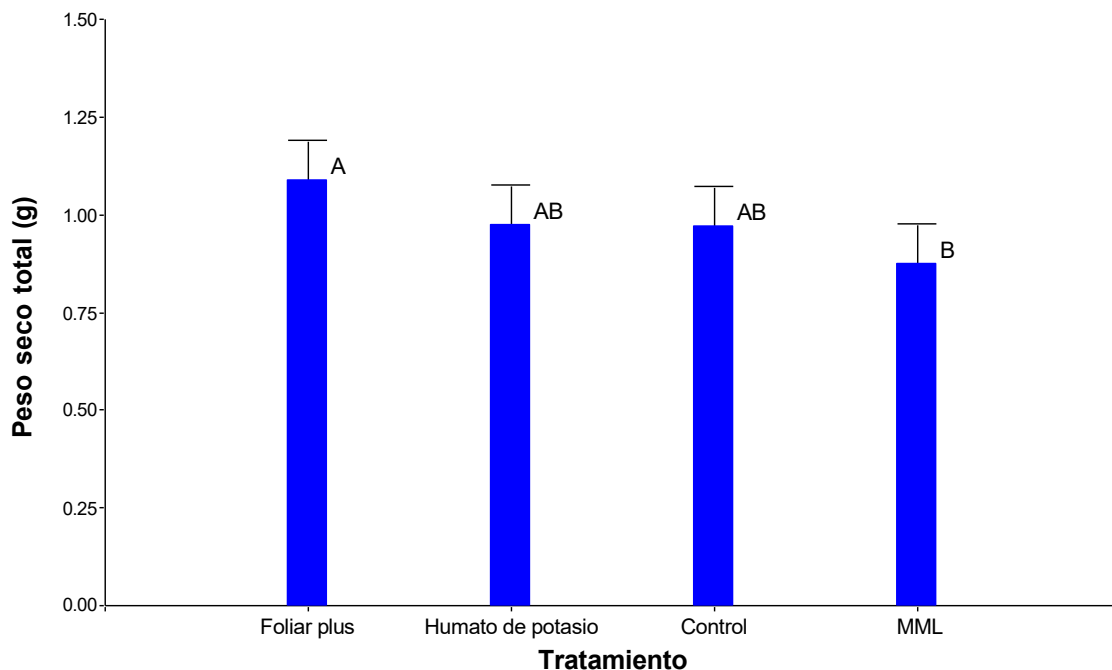
11.2. Producción y distribución de biomasa en plántulas de *C. arabica*

El peso total de las plántulas de *C. arabica* fue significativamente diferente por efecto de los tratamientos aplicados ($F=2.95$; $P=0.0342$; Figura 2). Las plántulas que se les aplicó foliar plus, tuvieron un peso seco total de 1.09 g, pero fue similar a las plantas que recibieron humato de potasio y control que mostraron valores intermedios (0.97g), pero diferente del microorganismo de montaña líquido (MML) que registró el menor peso seco total (0.87 g).

El mayor peso seco total entre los tratamientos en las plántulas de *C. arabica* se puede observar en la figura 2, donde el foliar plus promovió mayor peso ante los demás tratamientos. Esto indica que los compuestos minerales foliares pueden mejorar la acumulación de biomasa más rápidamente que los bioestimulantes microbianos. Según Torres (2018), su estudio realizado con bioestimulantes orgánicos como Aminosil, Aminofol y Orgabiol también reportaron incrementos significativos en biomasa fresca y crecimiento inicial.

Figura 2.

*Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el peso seco total de plántulas de *C. arabica**

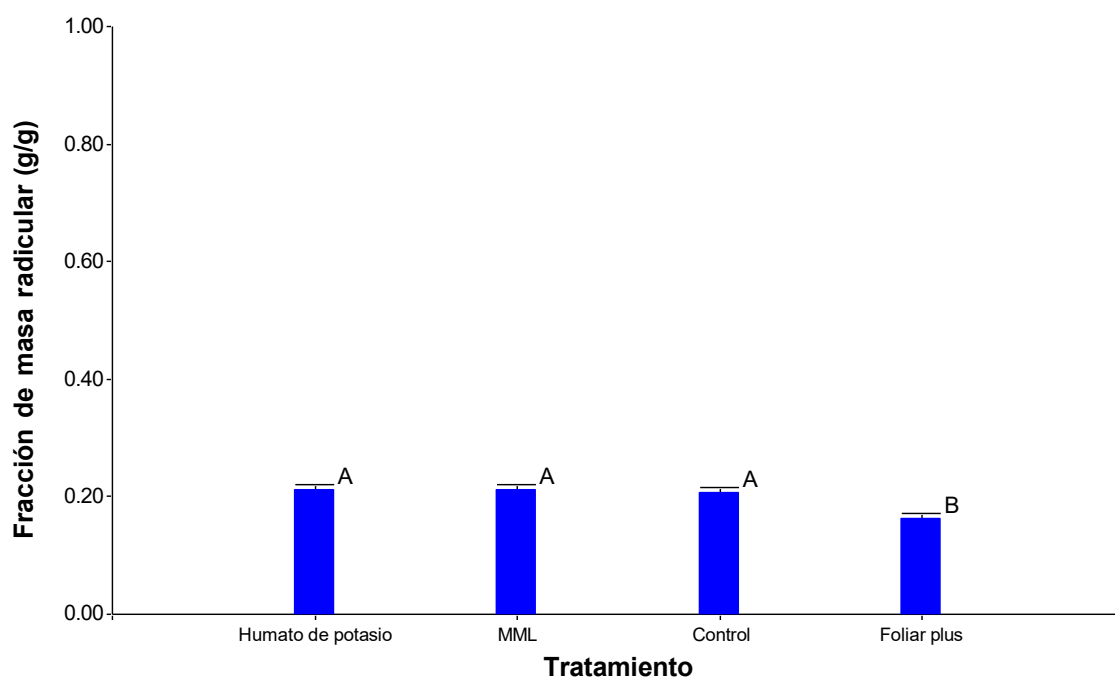


La fracción de masa radicular de plántulas de *C. arabica*, mostro diferencias significativas entre los tratamientos ($F=12.85$; $P<0.0001$; Figura 3). Las plántulas que recibieron los tratamientos Humato de potasio, microorganismos de montaña (MML) y control, registraron los valores más altos de fracción de masa de raíz (0.21 ± 0.01 g/g), en relación al foliar plus (0.16 ± 0.01 g/g).

El sistema radicular es importante para la absorción de agua y nutrientes del suelo. En la figura 3 la fracción de masa radicular fue significativa en las plántulas tratadas con humato de potasio, MML y el control, mientras que el foliar plus presento menor proporción. Esto indica que los bioestimulantes como el foliar plus favorece más la acumulación de biomasa en hojas que en raíces. En estudios previos reportan que el uso de compost y microorganismo de montaña eficientes promueven el crecimiento radicular, coincidiendo con nuestros resultados en Humato de potasio y Microorganismos de montaña, de este modo la distribución de biomasa en las plántulas depende del tipo de bioestimulante y su modo de acción (Cruz-Jacome, 2015).

Figura 3.

Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la fracción de masa radicular en plántulas de C. arabica

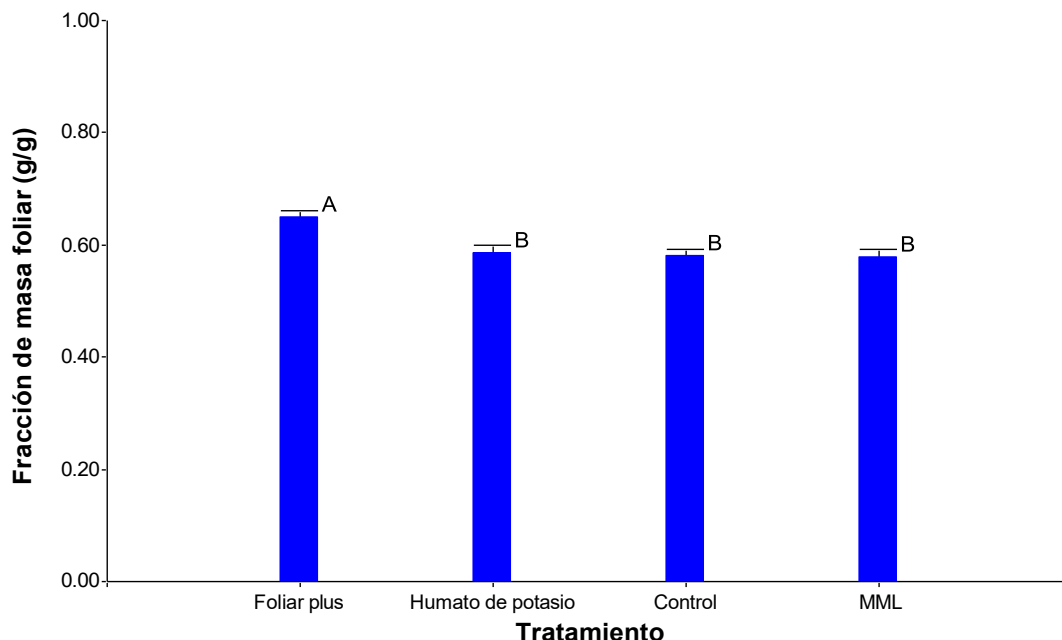


La fracción masa foliar en plántulas de *C. arábica* fue significativamente diferente entre los tratamientos evaluados ($F=9.45$; $P<0.0001$; Figura 4). El tratamiento foliar plus registró la mayor fracción de masa foliar (0.65 ± 0.01 g/g), superando significativamente los demás tratamientos. En términos generales, la fracción de masa foliar representó entre el 58 y 65% del peso total de las plántulas de *C. arábica*.

Desde un punto de vista fisiológico, la función de la hoja es realizar la fotosíntesis, además son esenciales para la transpiración. Por tanto, una alta fracción de masa foliar en las plantas de *C. arábica*, suele estar asociado con una mayor inversión en la captura de luz y la fotosíntesis. Los resultados que se muestran en la figura 4 destacan que la fracción de masa foliar en las plántulas fue tratada con foliar plus, representando hasta el 65% del peso total. Resultados similares fueron reportados por Garcia & Magali (2021), quien encontró que las aplicaciones de bioestimulantes y humus incrementaron el peso seco foliar de las plántulas.

Figura 4.

Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la fracción de masa foliar en plántulas de C. arabica

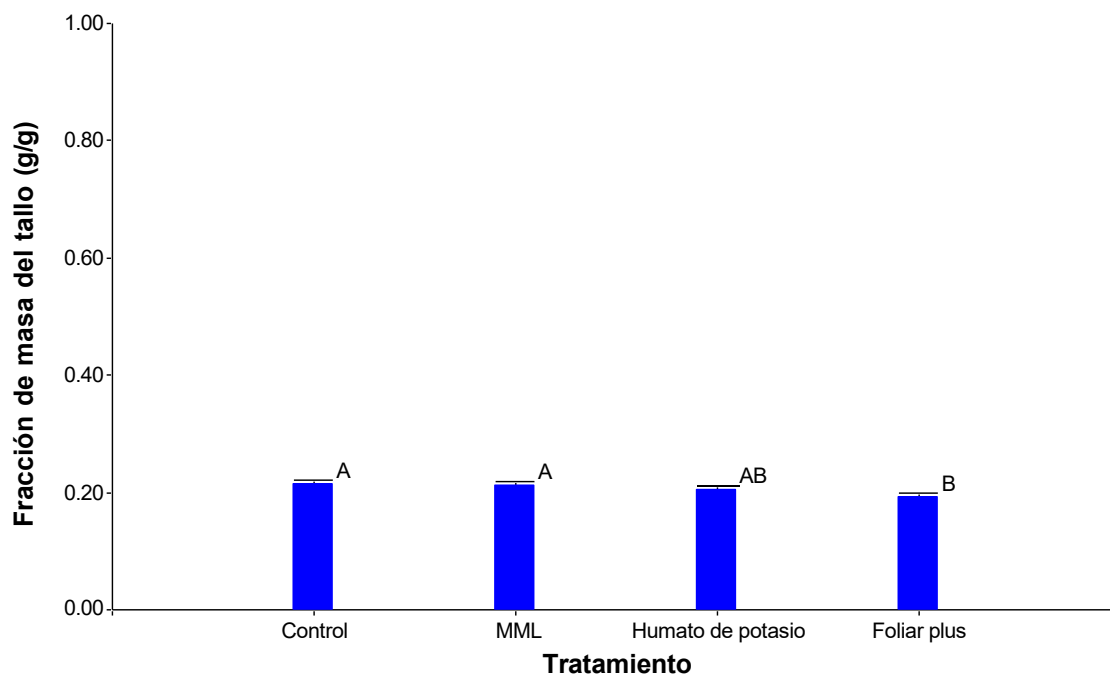


La fracción de masa del tallo no mostro diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aplicados ($F=2.46$; $P=0.0644$; Figura 5). Los datos muestran que las plántulas tuvieron una ligera tendencia a la variación en la asignación de biomasa al tallo entre 0.19 para el tratamiento foliar plus y 0.21 para el resto de los tratamientos.

La función del tallo en la planta, es garantizar soporte estructural y conducción de nutrientes y agua desde el suelo hacia las hojas. En este estudio la fracción de masa del tallo no mostro diferencias significativas entre los tratamientos figura 5, aunque se observó una ligera tendencia con los tratamientos humato de potasio y MML. Según Ochoa & Licona (2017), su estudio realizado con ácidos húmicos y fertilizantes nitrogenados han reportado efectos variables sobre el crecimiento del tallo, dependiendo del tipo y concentración del bioestimulante. Esto sugiere que la biomasa del tallo se mantiene relativamente estable mientras que las hojas y raíces muestran mayor respuesta.

Figura 5.

Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la fracción de masa del tallo de plántulas de C. arabica



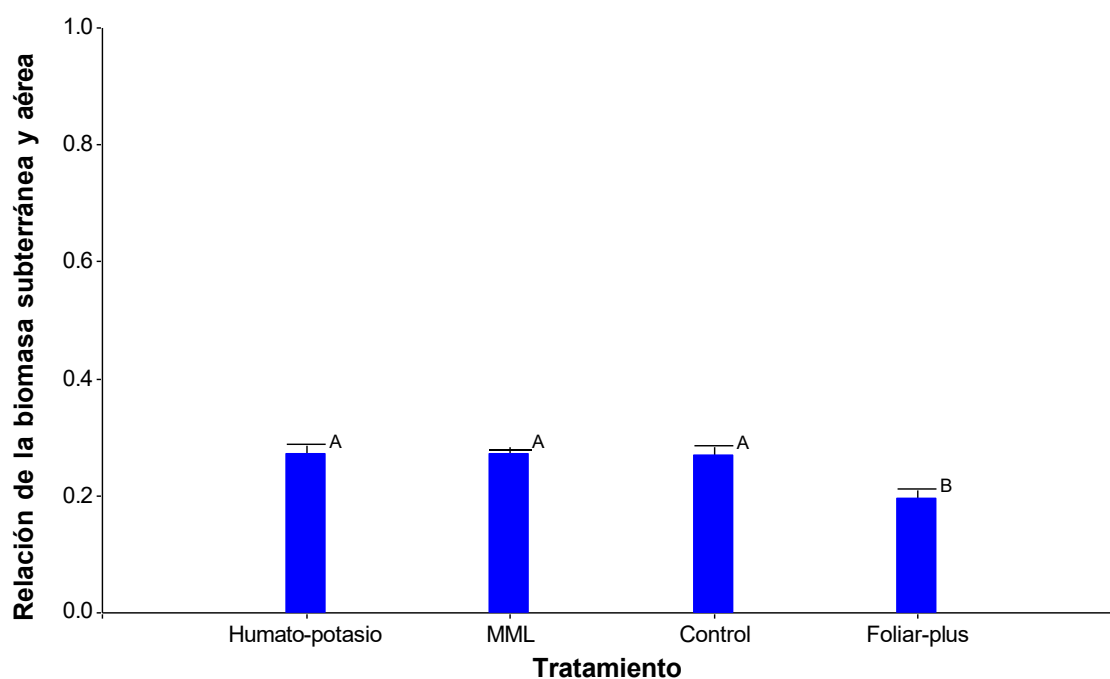
La relación de biomasa subterránea versus la biomasa aérea, evidencio diferencias altamente significativas en plántulas de *C. arabica* por efecto de los tratamientos evaluados ($F=10.12$; $P<0.0001$; Figura 6). Esta relación de biomasa en plántulas de *C. arabica*, fue superior en los tratamientos humato de potasio, MML y control registraron los valores más altos (0.27 ± 0.02), mientras que el foliar plus presento el valor más bajo (0.19 ± 0.02).

Esta relación entre la parte aérea y subterránea representa el equilibrio entre la absorción de agua/nutrientes y la fotosíntesis. Los tratamientos con humato de potasio, microorganismo de montaña y control presentaron valores más altos de asignación relativa a la raíz, mientras que el foliar plus presento la proporción más baja. Esto indica que, a diferencia de los tratamientos foliares, los bioestimulantes de origen mineral o microbiano favorecen un mayor desarrollo del sistema radicular relativo a la parte aérea. Resultados similares observaron con humus y guano de islas, donde la disponibilidad de nutrientes y la presencia de

microorganismo moduló la asignación de biomasa, promoviendo la acumulación de recursos en raíces frente a hojas y tallos (Tobada-Gómez, 2013).

Figura 6.

Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre la relación de la biomasa subterránea y aérea de plántulas de C. arabica



11.3. Índice de calidad de plántulas de *C. arabica*

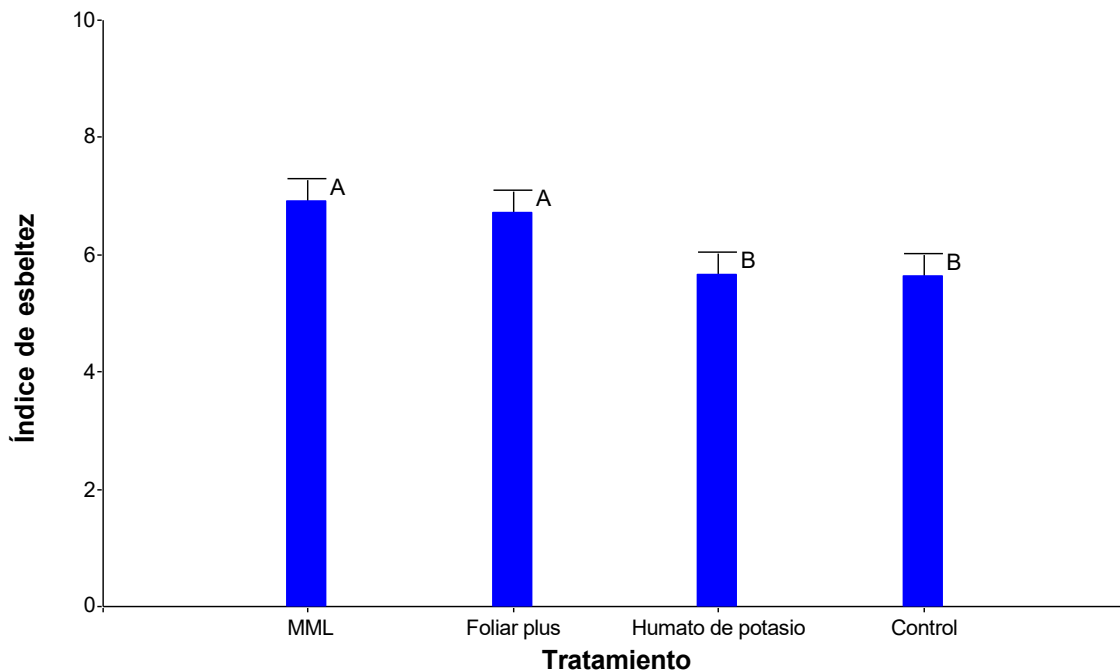
El índice de esbeltez evidencio diferencias entre los tratamientos aplicados ($F=7.84$; $P=0.0001$; Figura 7). Las plántulas tratadas con MML (6.89 ± 0.39) y foliar plus (0.71 ± 0.39), presentan los mayores valores del índice, los tratamientos humato de potasio (5.65 ± 0.39) y control (5.39 ± 0.39), registraron valores inferiores.

Esto significa que, entre los cuatro tratamientos, humato de potasio tiende a producir plantas más estables estructuralmente, mientras foliar plus y MML generan plantas más altas, pero también más esbeltas, lo que puede comprometer su firmeza. Esto indica que los bioestimulantes promueven un crecimiento

equilibrado entre altura y diámetro de tallo. Otros estudios señalan que la aplicación de extractos húmicos y nutrientes esenciales favorecen la elongación y vigor de las plántulas (Mercado & Matute, 2022), Coincidiendo con nuestros resultados en Bio full y FULL BLACK, que mostraron la mayor altura y longitud de hoja. De manera similar, el diámetro de tallo más alto en Bio Humic-Fluv refleja un efecto positivo sobre el desarrollo estructural de la planta.

Figura 7.

Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el índice de esbeltez de plántulas de C. arabica



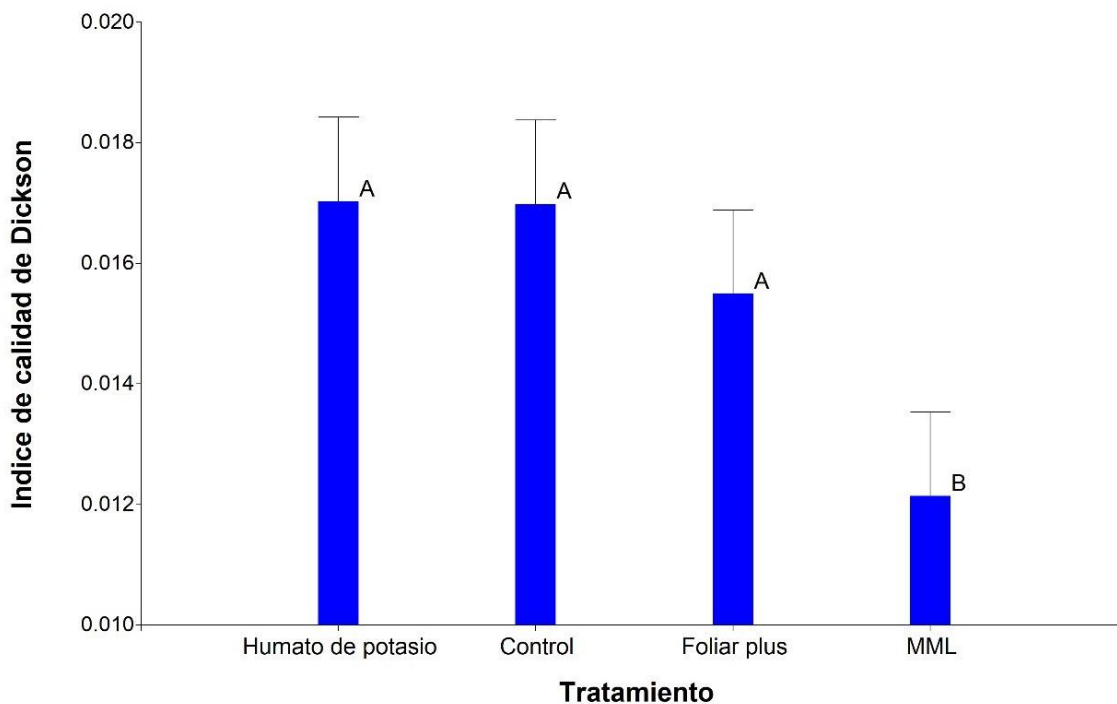
Entre los parámetros evaluados, el índice de calidad de Dickson presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($F=6.82$; $P<0.0002$; Figura 8). Las plántulas tratadas con humato de potasio, foliar plus y control tuvieron el mayor valor promedio del índice de Dickson y todas fueron estadísticamente superior al tratamiento MML.

El tratamiento humato de potasio obtuvo el más alto índice de calidad de dickson, lo que indica la mejor calidad global de plántulas considerando biomasa, equilibrio y robustez. Según la investigación de Albarracín-Palma, (2020), las

aplicaciones de biofertilizantes orgánicos al 20% de materia orgánica favorecieron de manera consistente el crecimiento estructural en la variedad Ecorobusta, reflejando un aumento general de vigor fisiológico, este estudio atribuye la mejora del desempeño a la alta disponibilidad de materia orgánica, en nuestro resultado el mayor índice de calidad de Dickson sugiere que el tratamiento Humato de potasio optimiza la asignación de biomasa mediante mecanismo de bioestimulación radicular.

Figura 8.

Efecto de los bioestimulantes agrícolas orgánicos sobre el índice de calidad Dickson de plántulas de C. arabica



12. Conclusiones

Los bioestimulantes evaluados generaron respuestas diferenciadas en el crecimiento inicial de *Coffea arabica*, evidenciando que su efecto depende del tipo de producto y del patrón de asignación de biomasa que induce en plántulas.

El tratamiento foliar plus favoreció una alta tasa de crecimiento relativo, peso seco total y la fracción de masa de hoja, lo que indica que promueve plántulas más altas y esbeltas.

El humato de potasio presentó el mayor índice de calidad de dickson y, además mostro desarrollo del sistema radicular, con valores altos de fracción de masa radicular y relación biomasa subterránea/aérea los microorganismos de montaña favorecieron principalmente el desarrollo radicular y un buen balance en biomasa subterránea/aérea, ambos tratamientos generaron plantas potencialmente más tolerantes a condiciones de estrés.

El control se mantuvo en valores intermedios, representando el comportamiento base sin bioestimulante, lo que sugiere que el material vegetal usado era vigoroso.

En general, los resultados demuestran que la respuesta del crecimiento temprano del cafeto puede ser manipulada mediante el uso de bioestimulantes.

13. Recomendaciones

A los productores de café

- ✓ Aplicar foliar plus como apoyo para producir plántulas con mayor crecimiento, biomasa aérea y acelerar la elongación y expansión foliar, especialmente cuando se busca aumentar la tasa de crecimiento inicial.
- ✓ Usar humato de potasio para fortalecer la fase de vivero ya que este bioestimulante promueve un desarrollo radicular fuerte, estabilidad estructural, resistencia a estrés hídrico y eleva la calidad morfológica de las plántulas.
- ✓ Considerar los Microorganismo de montaña líquidos cuando el objetivo sea favorecer un sistema radicular dominante, útil en suelos pobres o compactados.
- ✓ Mantener un control adecuado del riego y fertilización, pues los efectos de los bioestimulantes dependen del manejo cultural del vivero.

A los investigadores

- ✓ Analizar combinaciones o alternativas de bioestimulantes (por ejemplo, foliar plus + humato de potasio) para evaluar si se pueden integrar beneficios de crecimiento aéreo y robustez radical.
- ✓ Evaluar los efectos de dosis de los tratamientos sobre variables fisiológicas adicionales, como área foliar, contenido de clorofila o eficiencia fotosintética, para comprender los mecanismos detrás del crecimiento estimulado.
- ✓ Considerar ensayos con diferentes frecuencias o dosis de aplicación para determinar respuestas óptimas en distintas etapas de crecimiento.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua/CUR-Estelí)

- ✓ Continuar impulsando investigaciones experimentales aplicadas sobre el manejo sostenible del cultivo de café, vinculando a los estudiantes en proyectos de innovación agroecológica.

- ✓ Difundir los resultados de este tipo de investigaciones hacia las comunidades productoras, fortaleciendo el vínculo entre la academia, el sector productivo y la sostenibilidad ambiental.

14. Referencias

- AgroBio. (2021). *Dosis óptima y crítica de humato de potasio y humato de sodio*.
<https://agro.bio/es/optimalnaya-i-kriticheskaya-dozy-gumata>
- AgroEcology. (2019). *Humato de Potasio*. <https://agroecologysl.com/humato-de-potasio-o-leonardita-activada-fabricacion-ingredientes-humato-acidos-humicos/>
- Agustina, N. I. (2019). Guía de variedades de café. *Guía de Variedades de Café*, 1-9. file:///C:/Users/PC/Downloads/Guía-de-variedades-Anacafé(1).pdf
- Albarracín-Palma. (2020). *EVALUACIÓN DE BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE CAFÉ (Coffea arábica)*.
file:///C:/Users/PC/Downloads/UTC-PIM-000229.pdf
- Ambi-Celi, I. I. (2021). *APLICACIÓN DE FULVATOS-HUMATOS DE POTASIO COMO COMPLEMENTO A LA NUTRICION DEL CULTIVO DE BANANO (Musa AAA), MILAGRO PROVINCIA DEL GUAYAS* (p. 64). UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AMBI_CELI_ITALO_ISRAEL.pdf
- Axayacatl Olmo. (2010). *Clima, suelo y agua para la producción del cultivo del café*. <https://blogagricultura.com/clima-suelo-cafe/>
- Azada verde. (2024). *Importancia de los Bioestimulantes en la Agricultura Sostenible*. Junio. <https://azadaverde.org/bioestimulantes>
- Cabrefiga, J., & Boix, M. (2024). Los bioestimulantes, ¿van a revolucionar la fertilización del futuro? *Vida Rura*, 26-32.
- Cambiagro. (2024). *Etapas reproductiva y Etapa de vivero en el cultivo de café*.
<https://doi.org/Cambiagro.com>
- Canales, F. H. De, Alvarado, E. L. De, & Pineda, E. B. (1994). *Metodología de la Investigación*.
- Centeno, Cuadra, & Avila. (2014). *Efecto de tres fertilizantes foliares orgánicos*

en el desarrollo vegetativo de plántulas de café, variedad Pacamara. 41.

Chabrera, V. O., & Ortells Chabrera, P. (2009). El café en Nicaragua. Experiencias de producción y exportación en “comercio justo.” *Cahiers Des Amériques Latines*, 60-61, 193-219.

Cruz-Jacome, D. la. (2015). *Aplicación de bioestimulantes en plantas de café (Coffea arabica L.) en vivero, en la zona del Cantón Mocache. 54.*

Cubillo, & Gutierrez. (2011). *Evaluacion De Sustratos Para La Producción De Plantulas De Cafe. 1-41.*

García-Gutiérrez, J., & Gonzáles-Gonzáles, M. (2021). *Bioproductos estimulantes de crecimiento en semillero y vivero de café (Coffea arabica L.) en la finca Chelol Jinotepe-Carazo. [Tesis de pregrado inédita]. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/4393/1/tnf62g216.pdf>*

García, J. L., & González, M. Á. (2021). *Bioproductos estimulantes de crecimiento en semillero y vivero de café (Coffea arabica L.) en la finca Chelol Jinotepe-Carazo. [Tesis de pregrado inédita]. Universidad Nacional Agraria. 62.*

García, M. (2021). *Efecto de la aplicación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de café (Coffea arábica L.).*
file:///C:/Users/PC/Downloads/=UTF-8QGARC=C3=8DA_ANCCASI.pdf=.pdf

Héctor-Ardisana, E., Torres-García, A., Fosado-Téllez, O., Peñarrieta-Bravo, S., Solórzano-Bravo, J., Jarre-Mendoza, V., Medranda-Vera, F., & Montoya-Bazán, J. (2020). Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento de cultivos de ciclo corto en Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 41(4), 2. <http://ediciones.inca.edu.cu>octubre-diciembre

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Mcgraw-hill México.

Herrero, R. A. (2023). *Caracterización y eficiencia agronómica de nuevos productos fertilizantes y bioestimulantes.*

- HOFFMANN, W. A., & POORTER, H. (2002). Avoiding Bias in Calculations of Relative Growth Rate. *Annals of Botany*, 90(1), 37-42.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcf140>
- ICAFFE. (2011). *Guía Técnica para el Cultivo del Café*.
https://1library.co/document/yjr9846z-instituto-centro-investigaciones-café-cicafe-guía-técnica-cultivo.html#google_vignette
- INIFAP. (2018). MANUALES PRÁCTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE BIOINSUMOS Reproducción de Microorganismos de Montaña. In *Inifap*.
<https://www.anec.org.mx/wp-content/uploads/2022/10/Manual-13-Microorganismos-de-montaña.pdf>
- INTA. (2015). Semilleros y viveros de café. ... *Botánicos, Ecológicos Y Fisiológicos Del Cultivo ...*, 14. <https://mocca.org/wp-content/uploads/2021/08/semilleros-y-viveros-de-cafe.pdf>
- Jarquín, E. J., & Jiménez-Martínez, E. (2021). Caracterización socioeconómica y fitosanitaria de 25 sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en tres municipios de Matagalpa, 2020. *La Calera*, 21(37).
<https://doi.org/10.5377/calera.v21i37.12782>
- JICA. (2016). MICROORGANISMOS DE MONTAÑA: RECUPERADOR DE MICROORGANISMOS DEL SUELO. In *Rehabilitation Oncology* (Vol. 34, Issue 3).
https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable_04.pdf
- Lizame- Santistevan, T. F. (2021). *Evaluación morfológica en etapa de vivero de dos híbridos de café arábigo (Coffea arabica), a la inclusión de abonos orgánicos en el sustrato*. 74.
- Luo, Z., Kong, X., Dai, J., & Dong, H. (2015). Soil Plus Foliar Nitrogen Application increases Cotton Growth and Salinity Tolerance. *Journal of Plant Nutrition*, 38(3), 443-455. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.912324>
- Mercado, L., & Matute, A. (2022). *Efecto de biofertilizantes en el desarrollo*

vegetativo de plántulas de café, variedad 667 (Coffea arábica) en condiciones de vivero.

file:///C:/Users/PC/Downloads/T026_74067171_T.pdf

Molina, Eloy-Melendez, G. (2002). ASPECTOS BÁSICOS DE LA NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS ABSORCIÓN FOLIAR DE SUSTANCIAS ÚTILES EN LA APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS AL FOLLAJE. *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones*, 1, 26-35.

https://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Memoria_CursoFertilizacionFoliar.pdf#page=30

Moreno-Quinto. (2018). *Aplicación de bioestimulantes en el desarrollo de plantas de café arábigo (Coffea arábica) en etapa de vivero*. 88.

Ochoa, & Licona. (2017). *Efecto del uso de ácidos húmicos, fúlvicos y su interacción con fertilizante nitrogenado en el crecimiento de plántulas de café (Coffea arabica L.) en vivero*.

Poveda, J. E. A. (2021). *Universidad De Las Regiones Autónomas De La Costa Caribe Nicaraguense Uraccan*. 53.

http://repositorio.uraccan.edu.ni/1492/1/TESIS_FINAL_JOSUE_ALFARO_POVEDA.pdf

Ramirez, M. (2023). *BIOFERTILIZANTE FOLIAR A PARTIR DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN EL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE*. 111.

<https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/8926c5f0-9509-4da7-81d4-6c0437e530e6/content>

Ramos-Cruz. (2020). *DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN PLÁNTULAS DE COFFEA ARABICA L. POR EFECTO DE LA NUTRICIÓN MINERAL* (Vol. 20).

Rienzo, Di, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzales, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2019). *InfoStat es un software estadístico*. <http://www.infostat.com.ar>

Rodríguez-Calampa, N. Y., & Tafur-Torres, Z. K. L. (2014). Producción de

Microorganismos de Montaña para el Desarrollo de una Agricultura Orgánica.
Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental, 4, 1.

RSQagro. (2023). *Los ácidos húmicos, derivados de la descomposición orgánica en el suelo-Humatodo de potasio 80%*.

https://rsqagro.com/insumos/humato_de_potasio

Sandoval-Reyes, F., Cortez-Pérez, Y., Reyes-Resendiz, L., & Hernández-Romero, I. (2017). Evaluación de la remediación del suelo contaminado con aceite crudo utilizando microorganismos de montaña. *Revista de Sistemas Experimentales*, 4(13), 25-32.

<https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v45n1/0377-9424-ac-45-01-81.pdf>

Tobada-Gómez. (2013). "EFECTO DE MICROORGANISMOS Y SUSTRATOS EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PLANTULAS DE CAFE (*Coffea arabica* L.) VARIEDAD CATURRA ROJA A 550 msnm. PICHARI, LA CONVENCION cusco."

file:///C:/Users/PC/Downloads/TESIS_AG1042_Tab.pdf

Torres, J. (2018). *Efecto de tres bioestimulantes orgánicos en el crecimiento y desarrollo de plántones de café (Coffea arabica), variedad Catimor, bajo condiciones de vivero distrito de Shunté, provincia de Tocache Tesis.*

file:///C:/Users/PC/Downloads/=UTF-8QAGRONOMIA_-Jaime_Rafael_Torres_L=C3=B3pez.pdf=.pdf

Universidad de las regiones autonomas de la costa caribe Nicaraguense URACCAN. (2018). *UNIVERSIDAD DE LAS REGIONES AUTONOMAS DE LA COSTA CARIBE NICARAGUENSE URACCAN MODULO Fisiología vegetal.*

Valdivieso, G., Silva, E., Sirpa, E., Ticona, A., & Machaca, M. (2011).

Recomendaciones para el cultivo de café en los YUNGAS de La Paz.

Valero, F. (2019). *Efectos de bioestimulantes orgánicos sobre comportamiento agronómico de dos variedades de arroz (Oryza sativa L.), en la zona de Pimocha.* <https://dspace.utb.edu.ec/items/b36975fd-468d-4dca-8c1f-1a714b4bba30>

Villaizan, J. (2025). *Efecto de diferentes bioestimulantes sobre el incremento de los indicadores morfofisiológicos en el cultivo de café (coffea arábica L.) a nivel de vivero en Satipo Para.*

file:///C:/Users/PC/Downloads/T026_10247191_T.pdf

15. Anexos



Preparacion de sustrato



Riego



Llenado de bolsas



Preparacion de tratamientos



Trasplante y establecimiento de bloques



Preparacion de dosis por tratamiento



Dosis listas



Aplicación de tratamiento



Peso fresco inicial



Extracción de plantas



Preparación para peso fresco



Peso fresco antes de seco



Peso seco final



¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



