



**Efecto de biofertilizantes y biochar sobre la calidad fisiológica
de plántulas de *Coffea canephora* destinadas porta injerto**
*Effect of biofertilizers and biochar on the physiological quality of coffea
canephora seedlings intended for graft roots*

Zambonino Fajardo Tania Priscila¹

Ing. Cargua Chávez, Jessica Elizabeth, Mg.²



0000-0002-4671-3618

¹ Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Ecuador taniazamboninofajardo@tsachila.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Ecuador jessicacargua@tsachila.edu.ec

Recepción: 12 de septiembre de 2021

Aceptación: 17 de octubre de 2021

Publicación: 28 de diciembre de 2021

Citación/como citar este artículo: Zambonino, T. y Cargua, J. (2021). Efecto de biofertilizantes y biochar sobre la calidad fisiológica de plántulas de *coffea canephora* destinadas porta injerto. Ideas y Voces, 1(2), 01-24.



Resumen

El éxito de un cultivo dependerá de la calidad de las plantas, siendo la nutrición y el manejo, parte fundamental de la producción. Para ello, se utilizan mezcla de biofertilizantes con biochar. El objetivo fue probar el efecto de biofertilizantes y biochar sobre la calidad fisiológica de plántulas de *Coffea canephora* en fase de aclimatación. Los tratamientos fueron: Biofertilizantes a base de trichoderma ssp, micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, dosis de biochar (10, 20 y 30 g kg⁻¹ de sustrato) y testigos (mezcla de los tres biofertilizantes – biochar, mezcla de los tres biofertilizantes + 20 g de biochar kg⁻¹ de sustrato, testigo químico y testigo control). Las variables evaluadas fueron diámetro de tallo, altura de plántula, índice de vigor, longitud de raíz, índice de calidad de Dickson, tasa de crecimiento, peso seco (aéreo, radical y total). Se empleó un diseño de bloques completamente al azar en arreglo factorial A x B + 4. El uso de tres biofertilizantes mejoró significativamente ($p < 0.05$) las características morfológicas de la plántula y el uso de biochar demostró que tiene alto beneficio en las plántulas ya que mejora las condiciones del suelo, en comparación con los demás tratamientos y al tratamiento control que alcanzaron menor desarrollo.

Palabras clave

Biofertilizantes con biochar, fisiológica, plántulas

Abstract

The success of a crop will depend on the quality of the plants, nutrition and management being a fundamental part of production. For this, a mixture of biofertilizers with biochar is used. The objective was to test the effect of biofertilizers and biochar on the physiological quality of *Coffea canephora* seedlings in the acclimatization phase. The treatments were: Biofertilizers based on trichoderma ssp, mycorrhizae, and plant growth-promoting bacteria, doses of biochar (10, 20, and 30 g kg⁻¹ of substrate) and controls (mixture of the three biofertilizers – biochar, mixture of the three biofertilizers + 20 g of biochar kg⁻¹ of substrate, chemical witness and control witness). The variables evaluated were stem diameter, seedling height, vigor index, root length, Dickson quality index, growth rate, dry weight (aerial, root and total). A completely randomized block design was used in a factorial arrangement A x B + 4. The use of three biofertilizers significantly ($p < 0.05$) improved the morphological characteristics of the seedling and the use of biochar demonstrated that it has a high benefit in the seedlings since that improves the soil conditions, in comparison with the other treatments and the control treatment that reached less development.

Keywords

Biofertilizers with biochar, physiological, seedlings

Introducción

Últimamente, el sector cafetalero se ha reducido notablemente, lo que ha provocado una disminución de las exportaciones hasta un 60%, que ha llevado a la industria a importar cantidades significativas de café robusta, principalmente de Vietnam e Indonesia, para satisfacer la capacidad instalada que bordea los 1`200 000 sacos de 60 kg según la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE, 2017). En Ecuador la mayor problemática del área cafetalera es la baja producción Nacional y las causas que contribuyen a este problema son la baja productividad, prevalencia de cafetales viejos y reducción del área cafetalera (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2017; Ponce et al., 2018).

Gran parte de la caficultura ecuatoriana y latinoamericana se desarrolla bajo sistema de secano (Canet *et al.*, 2016), donde al momento del establecimiento del cultivo, no se considera la calidad de las plántulas como factor determinante en la capacidad adaptativa y sobrevivencia del cultivo, no se utilizan adecuadamente biofertilizantes y enmiendas para potenciar el desarrollo inicial de las plantas en vivero (Duicela, 2016).

La calidad de plantas en vivero no ha sido un parámetro evaluado en plántulas de café robusta en atapa de aclimatación, más aún el uso de biofertilizantes y biochar para inducir una tasa de crecimiento y por ende mayor calidad fisiológica de las plantas de café, situación que no ha permitido renovar y establecer plantaciones de café robusta con alta homogeneidad y alta capacidad productiva.

En este sentido, destacando la importancia de la calidad de las plántulas como un factor determinante en la producción de café (Gomes y Miglioranza, 2015), el sistema de secano que predomina en la caficultura, la superficie que debe ser renovada constantemente, establecimiento de nueva superficie en suelos con problemas sanitarios, fertilidad y a la

carencia de información que se tiene en cuanto a la relación entre calidad de planta y desarrollo inicial del cultivo en campo.

Objetivos

General

Probar el efecto de biofertilizantes y biochar sobre la calidad fisiológica de plántulas de *Coffea canephora* en fase de aclimatación.

Específicos

- Determinar el efecto de tres biofertilizantes y tres dosis de biochar sobre el desarrollo radical de plántulas de *Coffea canephora* en fase de aclimatación.
- Cuantificar las tasas de crecimiento de plántulas de *Coffea canephora* en fase de aclimatación bajo el efecto de biofertilizantes y biochar.
- Establecer el efecto de tres biofertilizantes y tres dosis de biochar sobre la calidad fisiológica de plántulas de *Coffea canephora* en fase de aclimatación.

Metodología

Ubicación

El experimento se desarrolló en el vivero del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, ubicado en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, con una duración de cinco meses en fase de campo. Métodos y técnicas

Se utilizó semillas de una variedad de café robusta utilizada para patrón, que fueron establecidas en bolsas de polietileno de 6 x 9", donde se sometieron a los respectivos tratamientos, que se detallan a continuación.

Factores en estudio

Factor A (Biofertilizantes)

- Biofertilizante a base de *Trichoderma ssp.*
- Biofertilizante a base de Micorrizas

- Biofertilizante a base de bacterias promotoras de crecimiento vegetal

Factor B (Dosis de biochar)

- 10 g kg⁻¹ de sustrato
- 20 g kg⁻¹ de sustrato
- 30 g kg⁻¹ de sustrato

Testigos

- Mezcla de los tres biofertilizantes - biochar
- Mezcla de los tres biofertilizantes + 20 g de biochar kg⁻¹ de sustrato
- Testigo químico con fertilizante compuesto
- Testigo control

Diseño y unidad experimental

El experimento se estableció bajo un Diseño Completamente al Azar en Arreglo Factorial A x B + 4, con 13 tratamientos, tres replicas y 39 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó por 10 plántulas. A continuación, se muestra el esquema del ANOVA:

Tabla 1

ANOVA de la investigación

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	12
Biofertilizantes	2
Biochar	2
Biofertilizantes x Biochar	4
Testigo 1 vs Tratamientos	1
Testigo 2 vs Tratamientos	1
Testigo 3 vs Tratamientos	1

Testigo 4 vs Tratamientos	1
Error	26
Total	38

VARIABLES RESPUESTA

Las variables evaluadas son las propuestas por Gomes y Miglioranza (2015).

Variables Morfométricas y de Calidad

- **Longitud de raíces (cm):** se determinó a los 30, 60, 90 y 120 días después del trasplante de las plántulas a los contenedores, registrando el dato desde el nivel del cuello del tallo hasta el ápice de la masa radical.
- **Índice de Calidad de Dickson:** se determinó con la siguiente ecuación al final del experimento.

$$ICD = \frac{\text{Total materia seca}}{\frac{\text{Altura de tallo (cm)}}{\text{Diámetro de tallo (mm)}} + \frac{\text{Materia seca aérea}}{\text{Materia seca radical}}}$$

- **Tasas de crecimiento:** se determinó a los 30, 60, 90 y 120 días después del trasplante de las plántulas a los contenedores. A continuación, se detallan las variables de crecimiento.

- **Tasa relativa de crecimiento:** $(\ln P_2 - \ln P_1) / (T_2 - T_1) = g \text{ g}^{-1} \text{ día}^{-1}$

- **Tasa de asimilación neta:** $[(P_2 - P_1) / (T_2 - T_1)] * [(\ln AF_2 - \ln AF_1) / (AF_2 - AF_1)] = g \text{ cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$

- **Relación de área foliar:** $[(AF_1/P_1) + (AF_2/P_2)] / 2 = \text{cm}^{-2} * g^{-1}$

Donde:

L_n = logaritmo natural

P_1 = peso inicial

P_2 = peso final

T_1 = tiempo inicial

T₂ = tiempo final

AF₁ = área foliar inicial

AF₂ = área foliar final

-Peso seco aéreo: se determinó sometiendo la parte aérea de las plantas muestreadas al azar de las unidades experimentales ha secado por 48 horas a 70°C.

-Peso seco radical: se determinó sometiendo la parte radical de las plantas muestreadas al azar de las unidades experimentales, secado por 48 horas a 70°C.

-Área foliar: se determinó con la técnica del sacabocado, donde se extrajo cuadrantes con un área conocida luego se relacionó el área de los cuadrantes con su peso y el peso total de las hojas de las plantas para obtener el área foliar de la planta en cm².

Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y la separación de medias con el test de Tukey al 5% de probabilidades de error. Además, se realizó un análisis de contrastes ortogonales y análisis de asociación de variables como correlaciones y regresiones.

Manejo específico del experimento

Sustrato: como sustrato se utilizó tierra de capa arable + arena de río + compost en relación 3:1:1.

Aplicación de tratamientos: las dosis de biochar fueron aplicadas al momento de la preparación del sustrato, lo cual estuvo en relación de la cantidad de sustrato y la dosis específica de biochar que se utilizó por tratamiento. Por su parte, los biofertilizantes fueron aplicados en dosis de 5 mL L⁻¹ de agua de cada producto y de esa solución se aplicó 100 mL planta⁻¹ al momento del trasplante a bolsas y 15 días después del trasplante.

Siembra de plántulas: las semillas fueron puestas a germinar en un semillero diseñado para este fin, una vez hayan emergido y alcanzado el estado de fosforito, fueron trasplantadas a las bolsas de polietileno previamente llenadas con sustrato y biochar.

Fertilización: independientemente del tratamiento que recibieron las plantas, todas recibieron una fertilización básica con fertilizante compuesto, en dosis de 5 g planta⁻¹, el cual fue aplicado a los 15 días después del trasplante.

Riego: el riego fue realizado mediante aspersión de acuerdo a la necesidad del cultivo, por lo que se procuró mantener el sustrato en capacidad de campo.

Resultados

La Tabla 2, muestra que el peso seco de planta fue influenciado significativamente ($p < 0.05$) por el factor biochar, donde las dosis de 20 y 30 g alcanzaron los mayores valores; por el contrario, el factor biofertilizante y la interacción biofertilizante x biochar no afectaron significativamente ($p > 0.05$). Para el caso del área foliar, ninguno de los factores en estudio influyó significativamente esta variable ($p > 0.05$).

Tabla 2

Valores promedios de las variables peso seco y área foliar de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante, en función de biofertilizantes y biochar. Santo Domingo, Ecuador.

Factor	Factor Biochar							
	10 g				20 g			
	10 g	20 g	30 g	Promedio	10 g	20 g	30 g	Promedio
Biofertilizantes	Peso seco (g)			Biofertilizantes	Área foliar (cm ²)			Biofertilizantes
Trichodermas	4.95	7.60	7.48	6.67	102.37	127.94	128.12	119.48
Micorrizas	5.12	7.38	7.48	6.42	116.68	138.51	125.05	226.75
Bacterias	5.97	6.46	6.31	6.25	118.32	121.26	131.66	123.75

Promedio	5.35 a	7.15 b	6.85	-----	112.46	129.24	128.28	-----
biochar			b					
C.V. %	15.25			-----	13.44			-----
p-valor								
ADEVA								
Biofertilizantes	0.6605 ^{NS}			-----	0.6531 ^{NS}			-----
Biochar	0.0028*			-----	0.0836 ^{NS}			-----
Biof x Bioch	0.2927 ^{NS}			-----	0.6196 ^{NS}			-----

^{NS} No significativo al 5% de probabilidades de error; * Significativo al 5% de probabilidades de error

En la Tabla 3, se muestra los contrastes ortogonales entre el promedio de los tratamientos factoriales y el promedio de los cuatro tratamientos testigos. La comparación entre la mezcla de los tres biofertilizantes con biochar vs el promedio de los tratamientos factoriales fue significativa para el peso seco de planta y área foliar. Para la comparación entre la mezcla de biofertilizante sin biochar vs tratamientos, fue significativa para peso seco, pero no para área foliar. El contraste entre el tratamiento químico vs tratamientos factoriales, no reportó diferencias significativas para ninguna de las variables. Por último, la comparación entre el tratamiento testigo y los tratamientos factoriales fue significativa para ambas variables.

Tabla 3

Análisis de contrastes ortogonales de las variables peso seco y área foliar de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante, en función de mezclas de biofertilizantes y biochar. Santo Domingo, Ecuador.

Contrastes ortogonales	p-valor
------------------------	---------

	Peso seco (g)	Área foliar (cm ²)
Media de mezcla de biofertilizantes con 20 g de biochar vs media de tratamientos	0.0001**	0.0016*
Media de mezcla de biofertilizantes sin biochar vs media de tratamientos	0.0001**	0.0512 ^{NS}
Media del fertilizante químico vs media de tratamientos	0.1965 ^{NS}	0.4332 ^{NS}
Media del control absoluto vs media de tratamientos	0.0008*	0.0001**

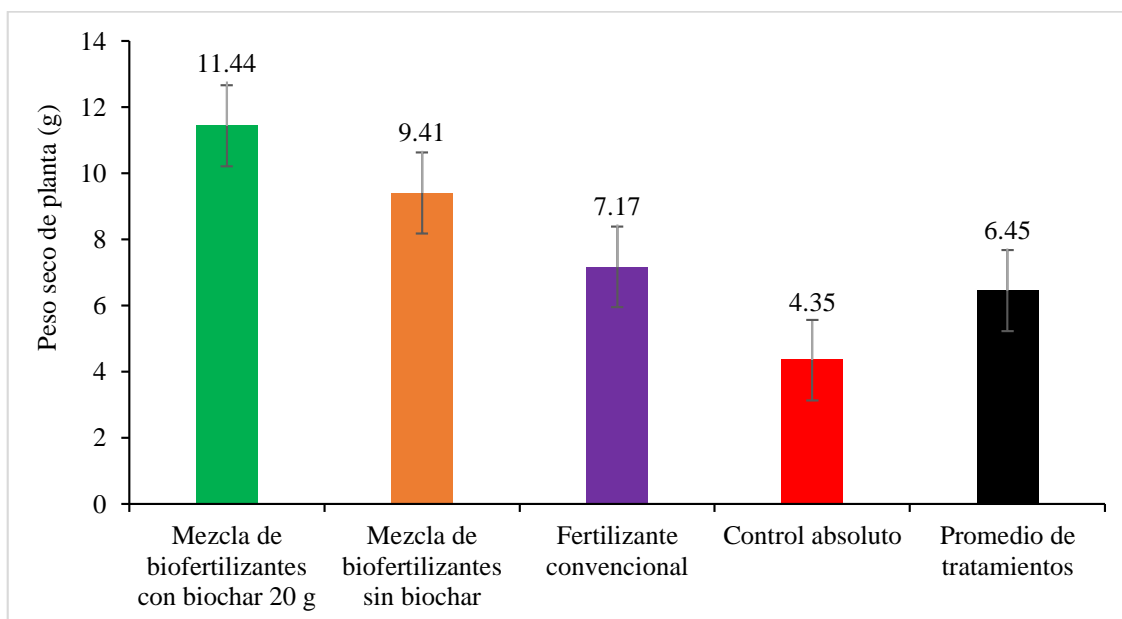
^{NS} No significativo al 5% de probabilidades de error; * Significativo al 5% de probabilidades de error; ** Significativo al 1% de probabilidades de error

En la Figura 1, se observa el promedio de los testigos y los tratamientos factoriales, donde se evidencia que la mezcla de los biofertilizantes con biochar alcanzó el mayor peso seco de planta con 11.44 g, le siguen en su orden la mezcla de biofertilizantes sin biochar, el fertilizante convencional, tratamientos factoriales y el control absoluto con 9.41, 7.17, 6.45 y 4.35 g, respectivamente.

En la Figura 2, se observa el promedio de los testigos y de los tratamientos factoriales, donde se evidencia que la mezcla de los biofertilizantes con biochar alcanzó la mayor área foliar de planta con 153.43 g, le siguen en su orden la mezcla de biofertilizantes sin biochar, el fertilizante convencional, tratamientos factoriales y el control absoluto con 140.75, 130.09, 123.32 y 84.61 cm², respectivamente.

Figura 1

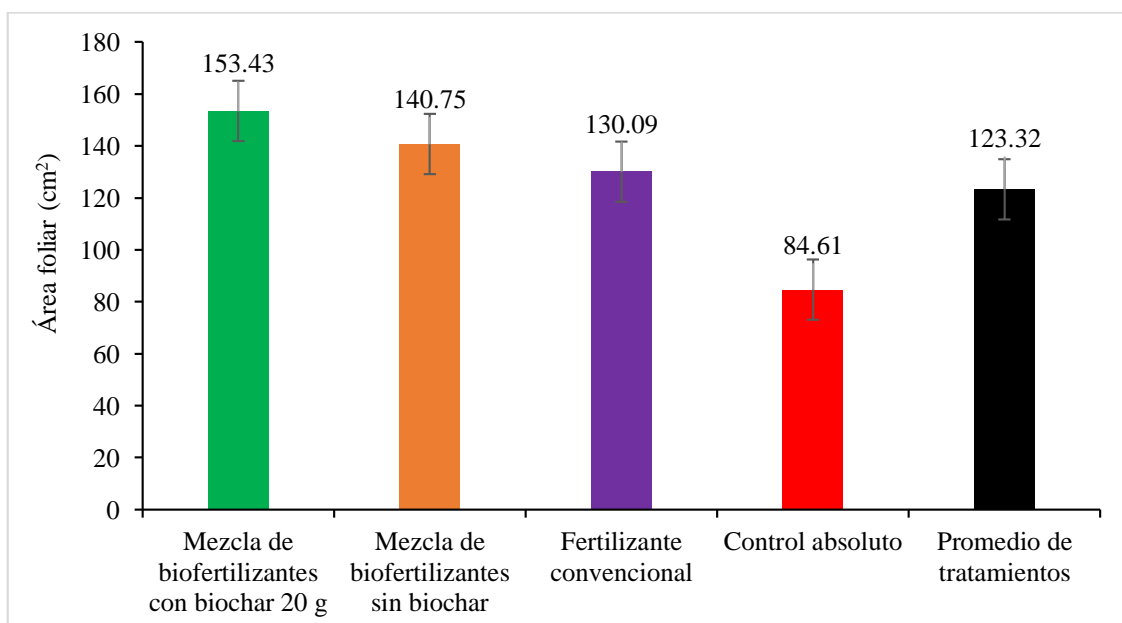
Efecto de combinaciones de consorcios de biofertilizantes con biochar sobre el peso seco de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante. Santo Domingo, Ecuador.



Cada barra representa la media de tres repeticiones.

Figura 2

Efecto de combinaciones de consorcios de biofertilizantes con biochar sobre el área foliar de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante. Santo Domingo, Ecuador.



Cada barra representa la media de tres repeticiones

La Tabla 4, muestra que la longitud de masa radical de plántulas de café no fue afectada significativamente ($p>0.05$) por el factor biochar; lo mismo ocurre con el factor biofertilizante y la interacción biofertilizante x biochar. Para el caso de peso seco de raíces, ninguno de los factores en estudio influenció significativamente esta variable ($p>0.05$).

Tabla 4

Valores promedios de las variables longitud de masa radical y peso seco radical de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante, en función de biofertilizantes y biochar. Santo Domingo, Ecuador.

Factor	Factor Biochar							
	10 g	20 g	30 g	Promedio	10 g	20 g	30 g	Promedio
Biofertilizantes	Longitud de masa radical (cm)			Biofertilizantes	Peso seco de raíces (g)			Biofertilizantes
Trichodermas	19.67	22.67	22.17	21.50	1.49	2.20	2.27	1.99
Micorrizas	21.73	23.50	25.33	23.52	2.16	1.96	2.03	2.05
Bacterias	20.17	21.67	24.33	23.06	2.66	1.65	1.72	2.01
Promedio biochar	21.52	22.61	23.94	-----	2.11	1.94	2.01	-----
C.V. %	10.81			-----	16.73			-----
p-valor								
ADEVA								
Biofertilizantes	0.2183 ^{NS}			-----	0.9690 ^{NS}			-----
Biochar	0.1431 ^{NS}			-----	0.8068 ^{NS}			-----
Biof x Bioch	0.5448 ^{NS}			-----	0.0814 ^{NS}			-----

^{NS} No significativo al 5% de probabilidades de error

En la Tabla 5, se muestra los contrastes ortogonales entre el promedio de los tratamientos factoriales y el promedio de los cuatro tratamientos testigos. La comparación entre la mezcla de los tres biofertilizantes con biochar vs el promedio de los tratamientos factoriales fue significativa para la longitud de masa radical y peso de raíces. Para la comparación entre la mezcla de biofertilizante sin biochar vs tratamientos fue significativa para peso seco de raíces, pero no longitud de masa radical. El contraste entre el tratamiento químico vs tratamientos factoriales, no reportó diferencias significativas para ninguna de las variables. Por último, la comparación entre el tratamiento testigo y los tratamientos factoriales fue significativa para la variable longitud de masa radical, mientras que para el peso seco de raíces no hubo diferencias significativas.

Tabla 5

Análisis de contrastes ortogonales de las variables longitud de masa radical y peso seco radical de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante, en función de mezclas de biofertilizantes y biochar. Santo Domingo, Ecuador.

Contrastes ortogonales	p-valor	
	Longitud de masa radical (cm)	Peso seco de raíces (g)
Media de mezcla de biofertilizantes con 20 g de biochar vs media de tratamientos	0.0001**	0.0001* *
Media de mezcla de biofertilizantes sin biochar vs media de tratamientos	0.3159 ^{NS}	0.0020*
Media del fertilizante químico vs media de tratamientos	0.4624 ^{NS}	0.1900 ^{NS}
Media del control absoluto vs media de tratamientos	0.0006*	0.0710 ^{NS}

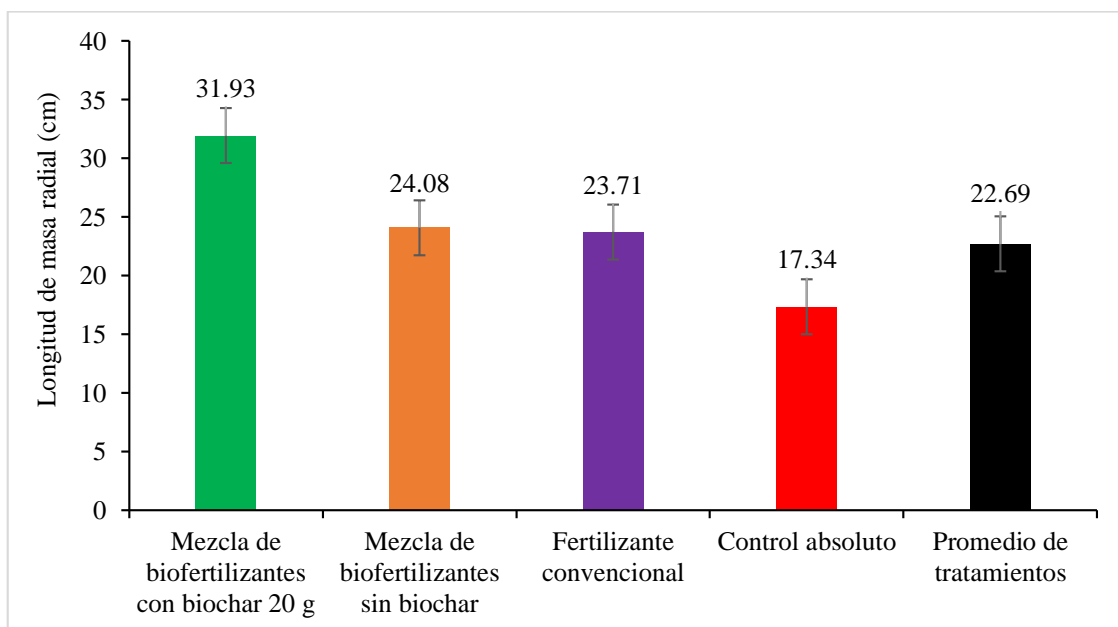
^{NS} No significativo al 5% de probabilidades de error; * Significativo al 5% de probabilidades de error; ** Significativo al 1% de probabilidades de error

En la Figura 3, se observa el promedio de los testigos y de los tratamientos factoriales, donde se evidencia que la mezcla de los biofertilizantes con biochar alcanzó la mayor longitud de masa radical con 31.93 g, le siguen en su orden la mezcla de biofertilizantes sin biochar, el fertilizante convencional, tratamientos factoriales y el control absoluto con 24.08, 23.71, 22.69 y 17.34 cm, respectivamente.

En la Figura 4, se observa el promedio de los testigos y de los tratamientos factoriales, donde que al igual que el resto de variables la mezcla de los biofertilizantes con biochar alcanzó el mayor peso radical de planta con 3.88 g, le siguen en su orden la mezcla de biofertilizantes sin biochar, el fertilizante convencional, tratamientos factoriales y el control absoluto con 3.03, 2.41, 2.02 y 1.47 g, respectivamente.

Figura 3

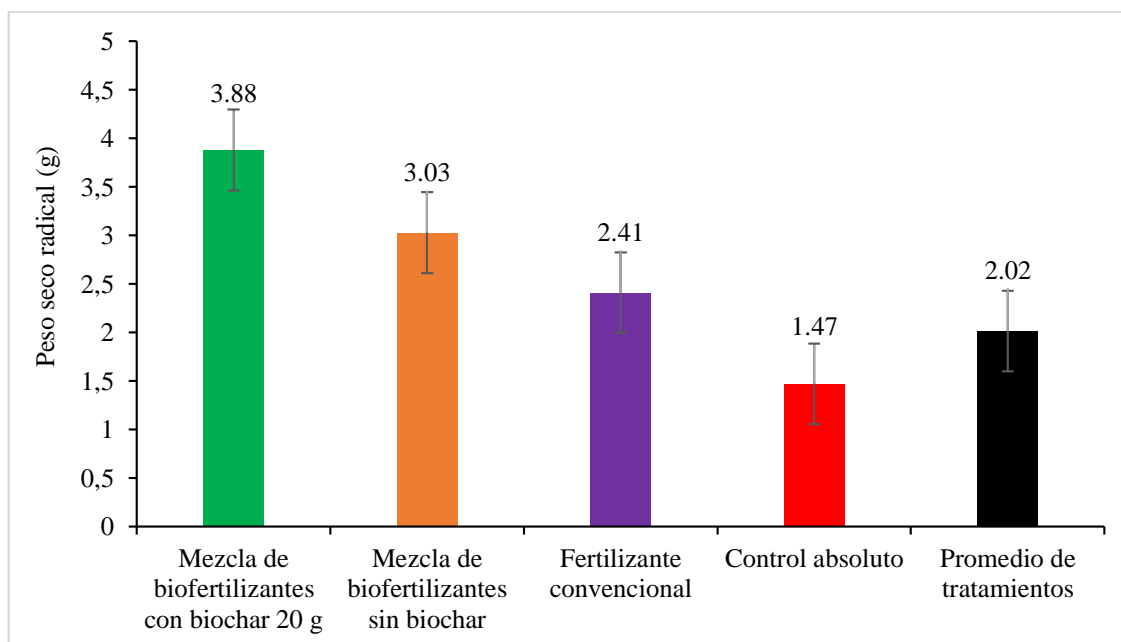
Efecto de combinaciones de consorcios de biofertilizantes con biochar sobre la longitud de masa radical de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante. Santo Domingo, Ecuador.



Cada barra representa la media de tres repeticiones

Figura 4

Efecto de combinaciones de consorcios de biofertilizantes con biochar sobre el peso seco radical de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante. Santo Domingo, Ecuador.



Cada barra representa la media de tres repeticiones

El índice de calidad de Dickson se muestra en la Tabla 3, donde esta variable no fue afectada significativamente ($p > 0.05$) por el factor biochar, ni el factor biofertilizante e interacción biofertilizante x biochar (Tabla 6).

Tabla 6

Valores promedios del Índice de calidad de Dickson de plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante, en función de biofertilizantes y biochar. Santo Domingo, Ecuador.

Factor	Factor Biochar			
	10 g	20 g	30 g	Promedio
Biofertilizantes	Índice de calidad de Dickson			Biofertilizantes

Trichodermas	3.72	4.32	4.07	4.03
Micorrizas	4.10	4.02	4.12	4.08
Bacterias	3.68	3.92	3.56	3.95
Promedio				
biochar	3.83	4.09	4.15	3.89
C.V. %	12.33			-----
p-valor ADEVA				
Biofertilizantes	0.8555 ^{NS}			-----
Biochar	0.3799 ^{NS}			-----
Biof x Bioch	0.6853 ^{NS}			-----

^{NS} No significativo al 5% de probabilidades de error

En cuanto a los contrastes ortogonales entre el promedio de los tratamientos factoriales y el promedio de los cuatro tratamientos testigos, se observa que la comparación entre la mezcla de los tres biofertilizantes con biochar vs el promedio de los tratamientos factoriales fue significativa para el Índice de Calidad de Dickson. Por otra parte, la comparación entre la mezcla de biofertilizante sin biochar vs tratamientos y el contraste entre el tratamiento químico vs tratamientos factoriales, no reportó diferencias significativas para esta variable. Por último, la comparación entre el tratamiento testigo y los tratamientos factoriales fue significativa para la variable evaluada (Tabla 7).

Tabla 7

Análisis de contrastes ortogonales del Índice de calidad de Dickson en plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante, en función de mezclas de biofertilizantes y biochar. Santo Domingo, Ecuador.

Contrastes ortogonales	p-valor
------------------------	---------

	Índice de calidad de Dickson
Media de mezcla de biofertilizantes con 20 g de biochar vs media de tratamientos	0.0004**
Media de mezcla de biofertilizantes sin biochar vs media de tratamientos	0.3413 ^{NS}
Media del fertilizante químico vs media de tratamientos	0.1900 ^{NS}
Media del control absoluto vs media de tratamientos	0.0002*

^{NS} No significativo al 5% de probabilidades de error; * Significativo al 5% de probabilidades de error; ** Significativo al 1% de probabilidades de error

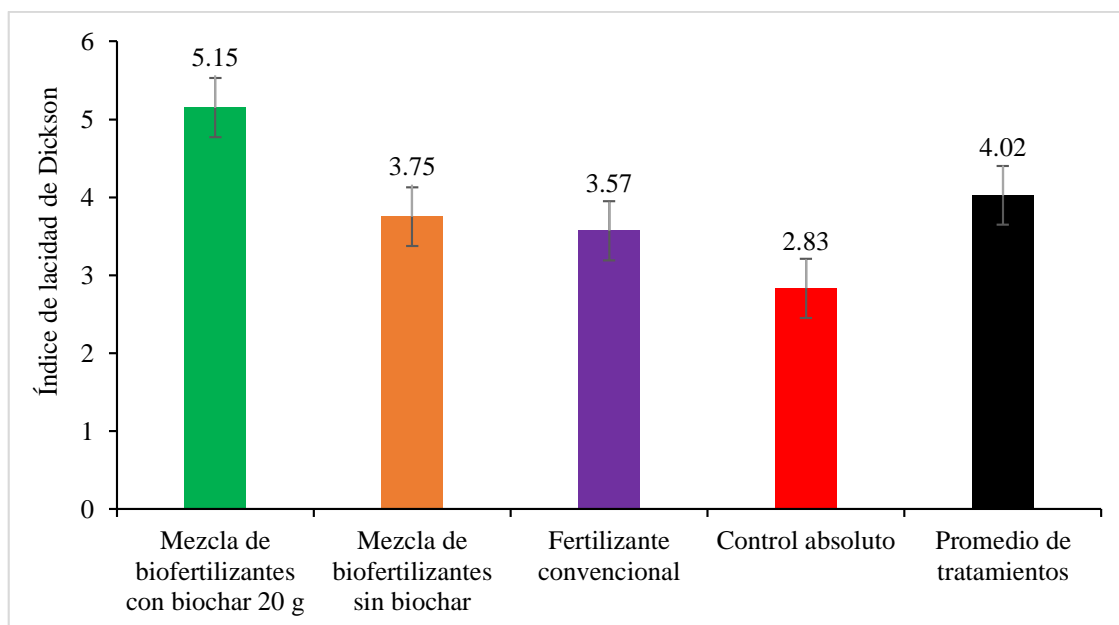
En la Figura 5, se observa el índice de calidad de Dickson, del promedio de los testigos y de los tratamientos factoriales. La mezcla de los fertilizantes con biochar presentó el mayor valor con 5.15, mientras que los tratamientos factoriales, mezcla de biofertilizantes sin biochar, el fertilizante convencional y el control absoluto presentaron los siguientes resultados en su orden 3.75, 4.02, 3.57, 3,57 y 1.47 g, respectivamente.

La Figura 6, muestra la tasa de crecimiento relativo (TCR) de plántulas de café robusta en función del biofertilizante y biochar, donde el tratamiento a base de la mezcla de los tres biofertilizantes con biochar alcanzó el mayor TCR diario en comparación al resto de los tratamientos y al tratamiento control que alcanzaron menores valores.

La Figura 7, muestra la tasa de crecimiento relativo (TCR) de plántulas de café robusta en función de las dosis de biochar, donde el tratamiento a base de la mezcla de los tres biofertilizantes con biochar mostró alcanzó la mayor TCR diario en comparación con los demás tratamientos evaluados que alcanzaron menores valores.

Figura 5

Efecto de combinaciones de consorcios de biofertilizantes con biochar sobre el Índice de calidad de Dickson en plántulas de café robusta a los 120 días después del trasplante. Santo Domingo, Ecuador.



Cada barra representa la media de tres repeticiones.

Figura 6

Tasa relativa de crecimiento de plántulas de café robusta a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra en contenedores, en función de tratamientos biofertilizantes + biochar. Santo Domingo, Ecuador.

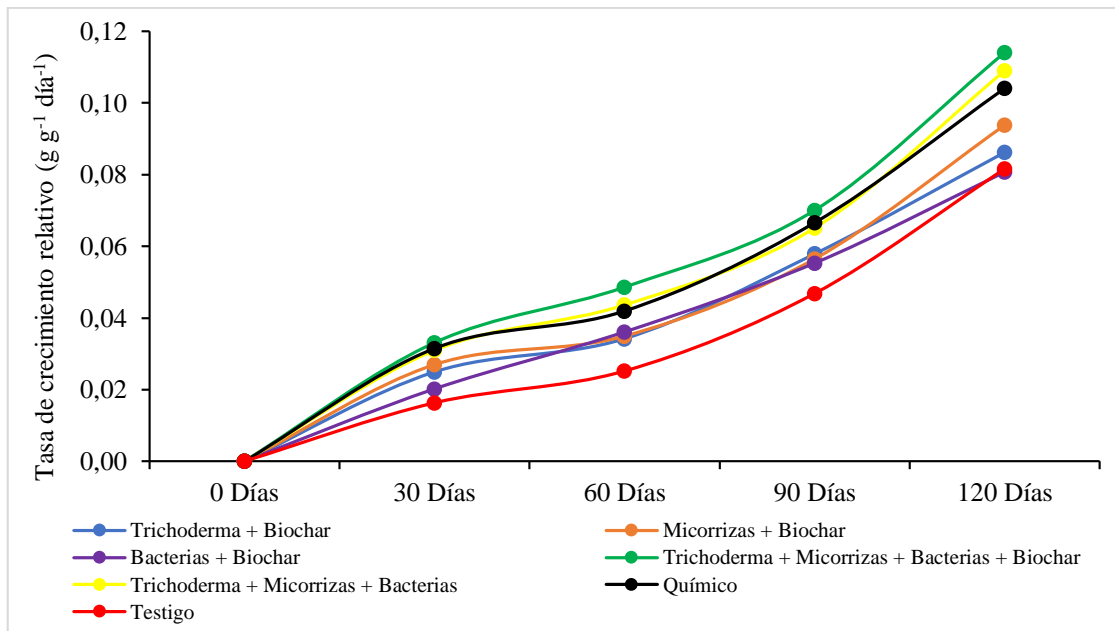
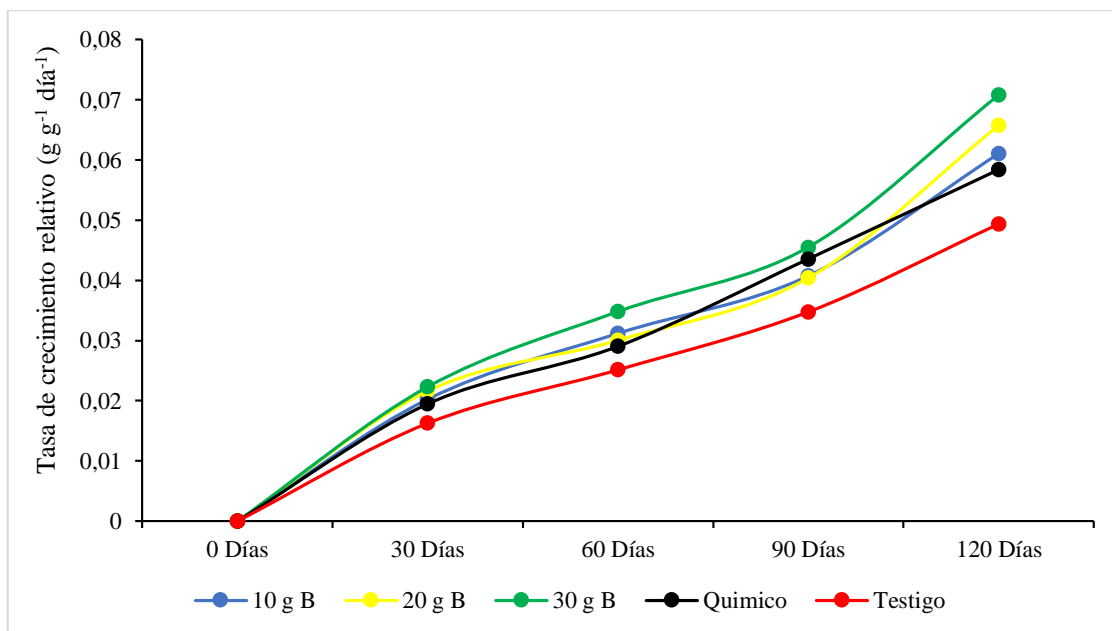


Figura 7

Tasa relativa de crecimiento de plántulas de café robusta a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra en contenedores, en función de tres dosis de biochar. Santo Domingo, Ecuador.



La Figura 8, muestra la tasa de asimilación neta (TAN) de plántulas de café robusta en función de los tratamientos de biofertilizantes y biochar, donde el tratamiento a base de la mezcla de los tres biofertilizantes con biochar alcanzó la mayor TAN, seguido del

tratamiento mezcla de biofertilizantes, mientras que el resto de tratamientos presentaron los valores más bajos.

La tasa de asimilación neta (TAN) de plántulas de café robusta en función de las dosis de biochar se observan en la Figura 8, donde el tratamiento a base de la mezcla de los tres biofertilizantes muestra la misma tendencia alcanzando la mayor TAN diaria, comparada con los tratamientos evaluados (Figura 9).

Figura 8

Tasa de asimilación neta de plántulas de café robusta a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra en contenedores, en función de tratamientos biofertilizantes + biochar. Santo Domingo, Ecuador.

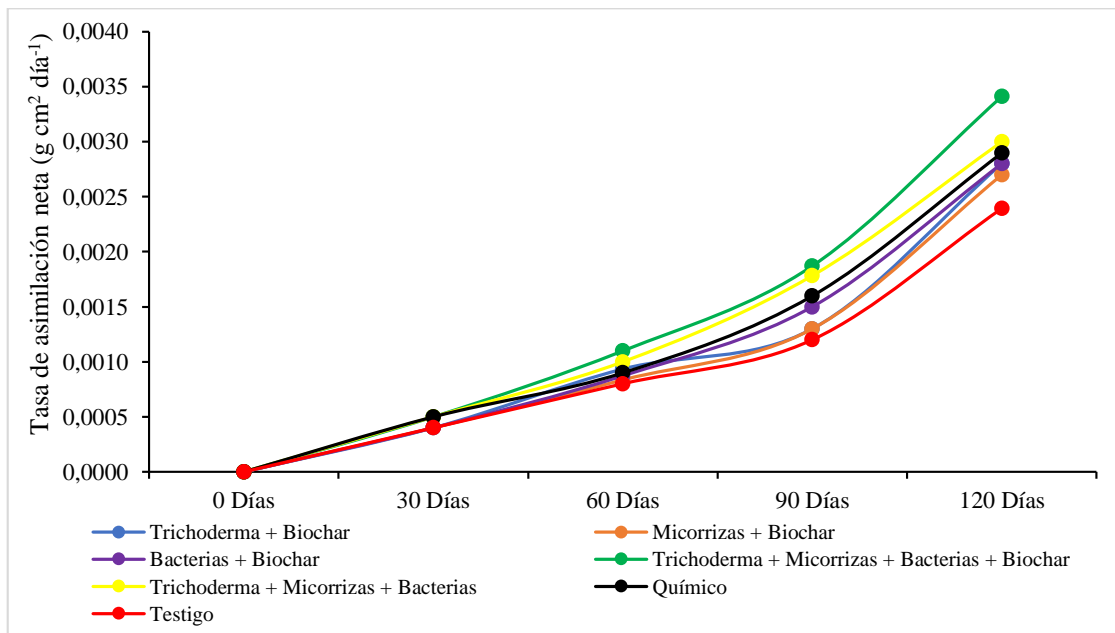
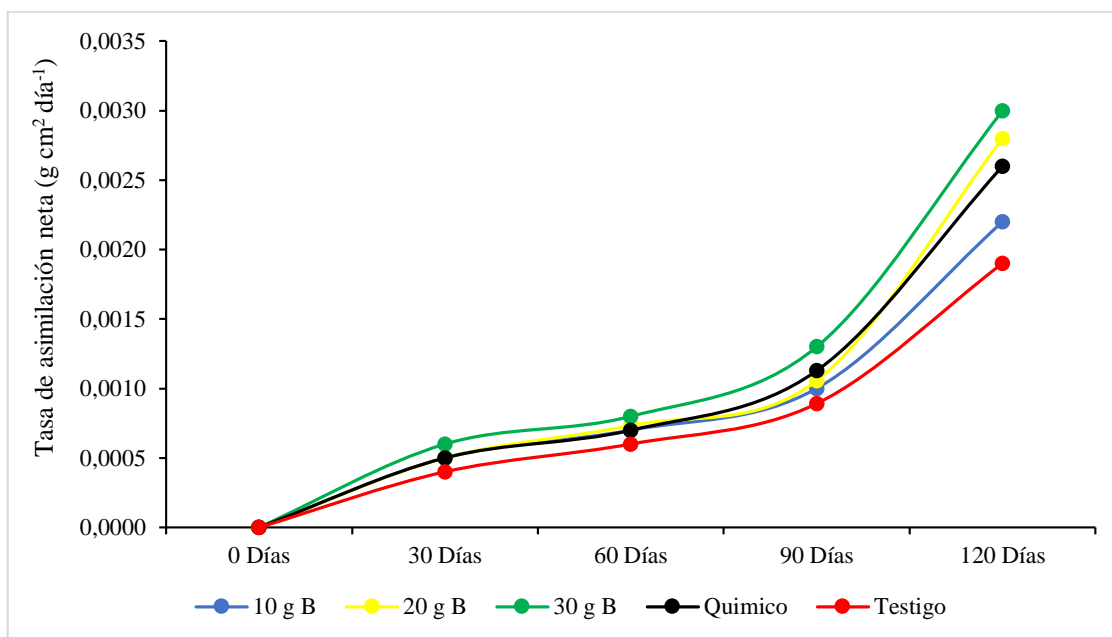


Figura 9

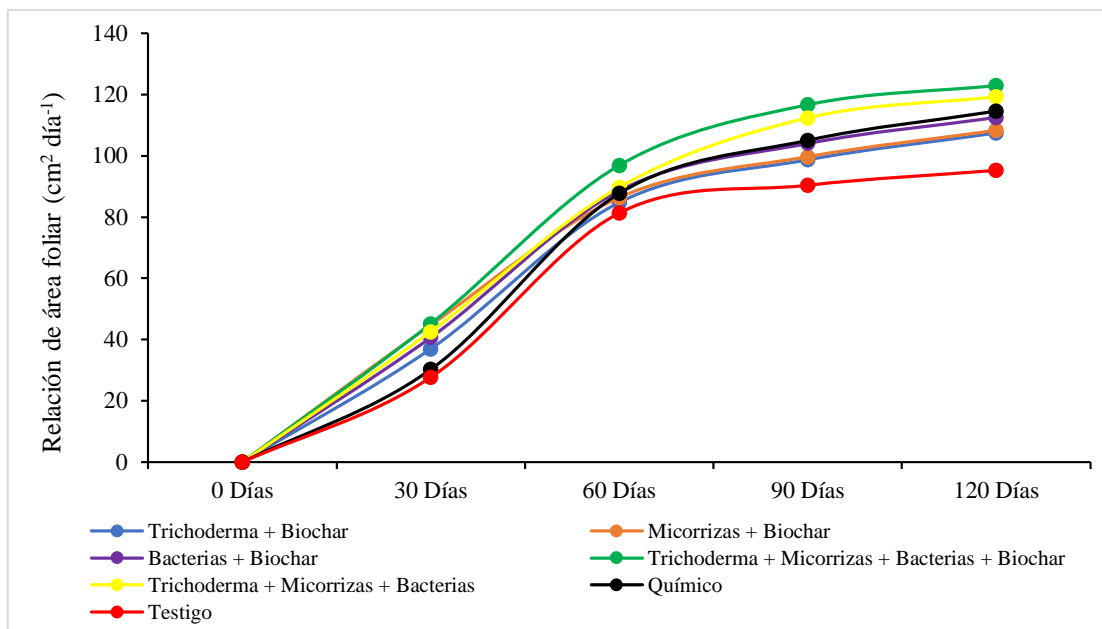
Tasa de asimilación neta de plántulas de café robusta a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra en contenedores, en función de tres dosis de biochar. Santo Domingo, Ecuador.



En la Figura 10, se muestra la relación de área foliar (RAF) en las plántulas de café robusta en función del biofertilizante y biochar, siendo el tratamiento a base de la mezcla de los tres biofertilizantes con biochar el que mostró la mayor RAF diaria, en comparación a los demás tratamientos y al tratamiento control que alcanzaron menores valores.

Figura 10

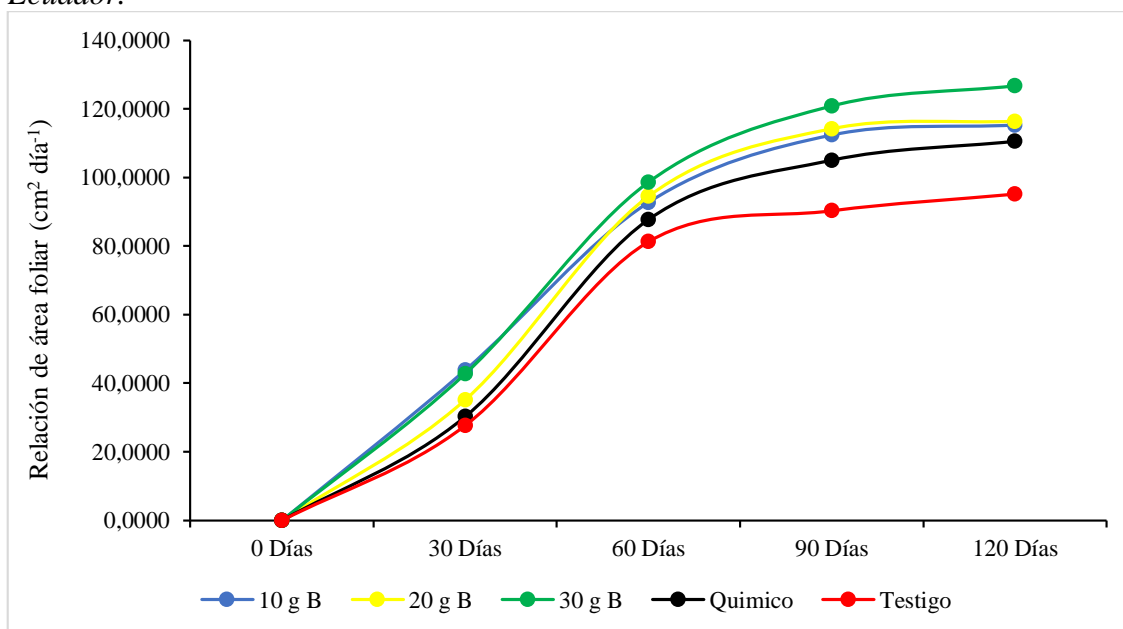
Relación de área foliar de plántulas de café robusta a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra en contenedores, en función de tratamientos biofertilizantes + biochar. Santo Domingo, Ecuador.



Finalmente, en la Figura 11, se muestra la relación de área foliar (RAF) de plántulas de café robusta en función de las dosis de biochar, presentándose la misma tendencia en las tasas de crecimiento donde el tratamiento a base de la mezcla de los tres biofertilizantes con biochar alcanzó la mayor RAF en comparación con los demás tratamientos y al tratamiento control que alcanzaron menores valores de la RAF.

Figura 11

Relación de área foliar de plántulas de café robusta a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra en contenedores, en función de tres dosis de biochar. Santo Domingo, Ecuador.



Los resultados obtenidos evidencian que el uso de biofertilizantes y biochar de manera aislada no promueven un crecimiento significativo de las plántulas, lo cual sugiere que la integración de varias especies de microorganismos combinadas con biochar fomenta un mejor equilibrio biológico a nivel de la rizosfera, estimulando la producción de factores de crecimiento que potencian el desarrollo vegetal (Muhammad *et al.*, 2017). Estos autores indican que con la aplicación de biochar significativamente aumentó la longitud total de la raíz ya que tiene un alto beneficio para las plantas, como la alta porosidad, la alta capacidad de intercambio catiónico.

Los biofertilizantes ayudan a mejorar las características de crecimiento de las plantas, la supervivencia, las características químicas y microbiológicas del suelo según, fomentando el aumento significativo de la longitud y densidad de la raíz, se observa a menudo en plantas tratadas con biofertilizantes (Malik *et al.*, 2018). Según Adriano *et al.* (2011), indican que las plantas biofertilizadas presentaron mejores características anatómicas, altura de las plantas, longitud de las hojas y raíz, siendo el tratamiento con la aplicación de los tres microorganismos el mejor, promoviendo del crecimiento e incrementaron en la rizósfera la cantidad de fitohormonas y vitaminas; las que a su vez aumentaron el número de raíces laterales y el tamaño de los pelos absorbentes, teniendo un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plántulas.

Los resultados obtenidos se relacionan a los informados por Rahayu y Saril (2017), con dosis diferentes pero el resultado similar, reportan que el uso de biochar tuvo una influencia significativa en el crecimiento de la raíz, lo que aceleró aún más la longitud de las raíces, altura de planta y junto con los nutrientes en el suelo, mejoró simultáneamente el desarrollo de las plántulas de café, comparado con el testigo control que obtuvo una longitud de raíces y altura de planta significativamente menor.

Conclusiones

- La integración de varias especies de microorganismos combinadas con biochar logró fomentar un mejor equilibrio biológico, estimulando la producción de factores de crecimiento que potencian el desarrollo vegetal.
- Se determinó que el efecto tres biofertilizantes conjuntos con biochar alcanzó la mayor longitud de masa radical en plántulas de café.
- La combinación de tres biofertilizantes con biochar mostro alcanzar el mayor peso seco de planta y área foliar 11.44 y 153.43 siendo el mejor tratamiento a diferencia de tratamiento control.
- En las tasas de crecimiento de plántulas de café robusta se determinó que el uso de tres biofertilizantes con biochar alcanzó el mayor crecimiento a diferencia del tratamiento testigo.

Bibliografía

- ANECAFE (Asociación Nacional de Exportadores de Café), (2017). Exportación de Café del Ecuador según variedad - Años 1992/2017. Consultado online (julio 15 de 2020): Disponible en: <http://www.anecafe.org.ec/exportaciones2017>
- Adriano, M., Gálvez, R., Hernández, C., Figueroa M., y Monreal, C. (2011). Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Centro de Biociencias. Universidad Autónoma de Chiapas* ISSN: 2007-0934. 2(3).
- Canet, G., Soto, C., Ocampo, P., Rivera, J., Navarro, A., Guatemala, G. y Villanueva, S. (2016). La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe. San José: C.R.: IICA, 126.

- Duicela, L. (2016). Investigación y desarrollo cafetalero en el Ecuador: Situación actual y perspectivas. En VII Congreso Latinoamericano de Agronomía. Guayaquil, Ecuador. 9-19.
- Gomes, C. and Miglioranza, E. (2015). Quality levels of organic coffee seedlings in black and white nonwoven fabric (NWF) containers of various sizes. *African Journal of Agricultural Research* 10(9): 86-89.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería), (2017). Boletín situacional Café. Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). Quito, Ecuador. 6.
- Malik, A., Mughal, R., Zaffar, S., Misbah A., Amjad, M. and Showkat, S. (2018). Different Strains of Biofertilizers for Raising Quality Forest Nursery. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* ISSN: 2319-7706, 10(7). Disponible en: <http://www.ijcmas.com>
- Muhammad, R., Hai-long, S., Hassan, S. y Peng, Z. (2017). Influence of biochar and nitrogen on fine root morphology, physiology, and chemistry of Acer mono. Centre for Plants Sciences and Biodiversity University of Swat, Udigram, Pakistan. 2-7.
- Ponce, L., Orellana, C., Acuña, I., Alfonso, J. y Fuentes, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Revista de Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*. 15(1): 307-325.
- Rahayu, D. y Saril, N. (2017). Development of *Pratylenchus coffeae* in Biochar Applied Soil, Coffee Roots and Its Effect on Plant Growth. Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute ISSN: 0215-0212, 33(1).