

CRECIMIENTO Y CALIDAD DE PLANTAS DE CAFÉ ARÁBICA CON LA APLICACIÓN DE BIOCHAR Y BIOFERTILIZANTES EN VIVERO

GROWTH AND QUALITY OF ARABICA COFFEE PLANTS WITH THE APPLICATION OF BIOCHAR AND BIOFERTILIZERS IN THE NURSERY

Jessica Elizabeth Cargua Chávez¹, Andrea Karolina Luna Tamayo², Holger González Sanango³, Galo Alexander Cedeño García^{4*} y Ángel Frowen Cedeño Sacón⁵

¹ Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, 230109, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador <https://orcid.org/0000-0002-4671-3618>

² Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, 230109, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

³ Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, 230109, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador <https://orcid.org/0000-0001-5022-6153>

⁴ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 130602, Calceta, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-0927-5807>

⁵ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 130602, Calceta, Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-7589-3611>

* Autor para correspondencia: gcedeno@espam.edu.ec

RESUMEN

La calidad fisiológica de plántulas en fase de vivero es un aspecto fundamental para garantizar la adaptación y sobrevivencia al estrés post-trasplante en campo definitivo. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de biochar y biofertilizantes sobre el crecimiento y calidad de plantas de *Coffea arabica* cv. Sarchimor-1669 en vivero. Los tratamientos evaluados fueron: biochar (T1), biofertilizante (T2), biochar + biofertilizante (T3), fertilización química (T4) y un control (T5). El biochar fue colocado en dosis de 20 g kg⁻¹ de sustrato. El biofertilizante utilizado fue un consorcio microbiano nativo compuesto de bacterias, micorrizas, hongos y levaduras, que fue colocado en dosis de 5 mL L⁻¹ de agua. Las principales variables estudiadas fueron masa seca de planta (MS), área foliar (AF), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN) e índice de calidad de Dickson. Los resultados mostraron diferencias significativas (p<0,05) para todas las variables evaluadas. Los tratamientos T1, T2, T3 y T4 fueron estadísticamente similares, pero mostraron diferencias con respecto al tratamiento control. La mezcla biochar + biofertilizante (T3) alcanzó mayor masa seca y área foliar por planta en relación a los demás tratamientos, con valores de 8,28 g y 316,63 cm², respectivamente. Este tratamiento también presentó mayor TCR, TAN e índice de calidad de Dickson. La calidad de las plantas se correlacionó positivamente con las variables de crecimiento. Se concluye que la aplicación de biochar y biofertilizante tiende a potenciar el crecimiento y calidad de plántulas de café en vivero. Sin embargo, se requiere explorar mayores dosis y frecuencias de aplicación con fines de lograr resultados concluyentes.

Palabras clave: *Coffea arabica*, Calidad fisiológica, Crecimiento, Biocarbón, Consorcio microbiano

ABSTRACT

The physiological quality of seedlings in the nursery stage is essential to guarantee their adaptation and survival to post-transplant stress in the field. This study aimed to evaluate the effects of biochar and biofertilizers on the growth and quality of *Coffea arabica* cv. Sarchimor-1669 plants in the nursery. The evaluated treatments were: biochar (T1), biofertilizer (T2), biochar + biofertilizer (T3), chemical fertilization (T4), and a control (T5). Biochar was applied in doses of 20 g kg⁻¹ in the substrate. The biofertilizer used was a native microbial consortium consisting of bacteria, mycorrhizae, fungi and yeasts, which was applied in doses of 5 mL L⁻¹ using water. The main variables under study were: dry matter content (DMC), leaf area (LA), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR) and Dickson's quality index. The results showed significant differences ($p < 0.05$) for all the variables evaluated. The treatments T1, T2, T3 and T4 were statistically similar, but they presented differences with respect to the control treatment. The biochar + biofertilizer mixture (T3) reached higher dry matter and leaf area per plant compared to the other treatments, with values of 8.28 g and 316.63 cm², respectively. This treatment also recorded higher RGR, NAR and Dickson's quality index. The quality of the plants was positively correlated with the growth variables. It is concluded that the application of biochar and biofertilizer tends to enhance both growth and quality of coffee seedlings in the nursery. However, further research is required to evaluate higher doses and application frequencies in order to achieve conclusive results.

Keywords: *Coffea arabica*, Physiological quality, Growth, Biochar, Microbial consortium

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el café tiene importancia en el ámbito social, económico y ambiental. En lo social, el café se cultiva en 23 de las 24 provincias del país, donde genera ingresos y fuentes de empleo para una diversidad de pueblos, nacionalidades y culturas, en lo económico genera divisas para las arcas del estado, y en lo ambiental al ser un cultivo establecido principalmente en sistemas agroforestales, contribuye a la conservación de los recursos naturales (Duicela et al., 2018; Ponce et al., 2018). La baja producción ha sido catalogada como el mayor problema que enfrenta el sector cafetalero nacional, donde las principales causas son baja productividad, prevalencia de cafetales viejos, reducción del área cafetalera, uso de material de siembra de origen desconocido, entre otros. La reducción del área cafetalera y la baja productividad, ha provocado una caída en las exportaciones, que ha llevado a la industria importar volúmenes significativos de café principalmente de países asiáticos, para satisfacer una demanda de 2.200.000 sacos de 60 kg (Duicela et al., 2018; Ponce et al., 2018; ANECAFE, 2020). Por lo anterior, renovar e incrementar el área de siembra con material genético de calidad es urgente para mejorar los niveles de productividad y producción (Plaza et al., 2015; Duicela et al., 2017).

Para esto, es necesario implementar planes de propagación masiva de plantas de calidad, más aún cuando se conoce que gran parte de la caficultura se desarrolla bajo sistema de secano, donde al momento del establecimiento del cultivo, no se considera la calidad de las plántulas como

factor determinante en la capacidad adaptativa y sobrevivencia al estrés post-trasplante (Gomes y Miglioranza, 2015; Canet et al., 2016). La calidad de una planta hace referencia a atributos genéticos, sanitarios y morfo-fisiológicos que potencian su capacidad de adaptación, supervivencia y desarrollo vigoroso en un medio determinado y, por tanto, cumplir los objetivos establecidos en un plan de restauración vegetal, producción agrícola y forestal (Birchler et al., 1998; Villar, 2003; Davis y Jacobs, 2005; Grossnickle y MacDonald, 2018).

El biochar es un material rico en nutrientes producido a partir de pirolización de biomasa, evitando su rápida oxidación a CO₂, que atrae la atención para fines de enmienda del suelo, mejora del rendimiento de los cultivos y secuestro de carbono (Allohverdi et al., 2021). Los biofertilizantes, también llamados inoculantes microbianos, son microorganismos que mejoran la disponibilidad de nutrientes, contribuyendo a la nutrición de las plantas ya sea facilitando la absorción de nutrientes o aumentando la disponibilidad de nutrientes primarios en la rizósfera (Pereg y McMillan, 2015; Nosheen et al., 2021).

De acuerdo a recientes investigaciones, el uso de biochar como parte del sustrato y de biofertilizantes como promotores del crecimiento vegetal, pueden incrementar el crecimiento y calidad de plántulas en fase de aclimatación (Adriano et al., 2011; Lima et al., 2013; Gomes y Miglioranza, 2015; Rezende et al., 2016; Sasmita et al., 2017; Cisneros et al., 2017a; Bahrun et al., 2017; Álvarez y Damião, 2018). Esto se debe a que el biochar puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y crear de este modo un

ambiente o hábitat favorable para la reproducción, crecimiento y actividad microbiológica del suelo, y de este modo promover un mejor crecimiento, nutrición y defensa de las plantas (Escalante et al., 2016; Ding et al., 2016; Ajema, 2018; Gorovtsov et al., 2019; Hardy et al., 2019; Yu et al., 2019). Los microorganismos utilizados como biofertilizantes al encontrar un medio adecuado en la zona de la rizósfera, potencian mecanismos necesarios para la fijación de nitrógeno, solubilizar nutrientes, producir sustancias antagónicas a patógenos y promotoras del crecimiento vegetal (Restrepo et al., 2017; Soumare et al., 2020; Nosheen et al., 2021; Mitter et al., 2021; Fasusi et al., 2021).

En este contexto, varias investigaciones han demostrado la efectividad de aplicaciones de consorcios microbianos como biofertilizantes sobre el estado nutricional, crecimiento y tolerancia al estrés de plántulas de café durante el proceso de aclimatación y establecimiento en campo (Adriano et al., 2011; Ibarra et al., 2014; Cisneros et al., 2017a; Cisneros et al., 2017b; Álvarez y Damião, 2018; Del Águila et al., 2018; Moreira et al., 2018; Hernández et al., 2020). Por otra parte, investigaciones desarrolladas por Rahayu y Sari (2017), Billa et al. (2019) y Herviyanti et al. (2019) concluyeron que el uso de biochar tuvo el potencial de reducir las poblaciones de nematodos, infestación de arvenses, mejorar las condiciones del suelo y el crecimiento de plántulas de café.

A pesar de que la evidencia científica muestra la efectividad aislada de biofertilizantes y biochar sobre el crecimiento de plántulas de café, no existe suficiente evidencia del efecto combinado de biochar y biofertilizantes en el crecimiento y calidad de plántulas de esta especie vegetal a nivel de vivero. Sin embargo, resultados alcanzados por Saxena et al. (2013), Nadeem et al. (2017), Ashry y Hassan (2019) y Cargua et al. (2020) en frejol, pepino, pimienta y cacao, respectivamente, mostraron que la aplicación combinada de biochar y consorcios microbianos, mejoró significativamente el crecimiento de estas especies. En este punto, surgió la pregunta de que si es posible incrementar el crecimiento y la calidad de plántulas de café en etapa de vivero con el uso

combinado de biochar y consorcios microbianos promotores del crecimiento vegetal. Por lo cual, el objetivo principal del trabajo fue evaluar el efecto de biochar y biofertilizantes sobre el crecimiento y calidad de plántulas de café arábica en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se desarrolló de Septiembre a diciembre del 2020 en casa de cultivo del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, ubicado en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, en las coordenadas geográficas X: 706257 y Y: 9972460, a una altitud de 578 m.s.n.m., con temperatura promedio anual de 24.9 °C, precipitación promedio de 3052 mm anuales y heliofanía de 780 horas año⁻¹.

Material vegetal y sustrato

Se utilizaron semillas pre-germinadas de café arábica cv. Sarchimor-1669, que fueron adquiridas de un semillero comercial local, las cuales fueron colocadas en arena de río hasta alcanzar el estado fenológico de chapola. Luego fueron trasplantadas a contenedores de polietileno de 15 x 22 cm, que previamente fueron llenadas con sustrato compuesto por tierra de capa arable, arena de río y compost en proporción 3:1:1, y mezclado con el biochar según los tratamientos establecidos. En las Tablas 1 y 2, se muestran las características físico-químicas del compost y suelo usados como sustrato.

Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: T1: Biochar; T2: Biofertilizante; T3: Biochar + biofertilizante; T4: Fertilización química; T5: Control.

El biochar utilizado se obtuvo por pirolisis de troncos y ramas de algarrobo (*Prosopis pallida*), el cual fue previamente molido, y luego aplicado en dosis de 20 g kg⁻¹ de sustrato en base seca, y fue agregado al momento de la preparación del sustrato. El biofertilizante utilizado fue un consorcio microbiano comercial de cepas nativas

Tabla 1. Características físico-químicas del compost utilizado como parte de sustrato para el crecimiento de plantas de café en vivero.

Table 1. Physical-chemical characteristics of the compost used as part of the substrate for the growth of coffee plants in the nursery.

DA (g cm ⁻³)	Porosidad (%)	pH	CE (dS m ⁻¹)	CIC (meq/100 g)	MO (%)	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)
0,65	41,18	8,10	3,20	41,14	52,10	25,14	2,20	0,80	1,04

DA = Densidad aparente; CE = Conductividad eléctrica; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; MO = Materia orgánica.

Tabla 2. Análisis químico del suelo usado como parte del sustrato para el crecimiento de plantas de café en vivero.**Table 2. Chemical analysis of the soil used as part of the substrate for the growth of coffee plants in the nursery.**

Nutriente	Unidad	Valores de referencia			Resultados		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
N-NH ₄ ^{1/}	ppm	< 20	20-40	> 40	19,40		
P ^{1/}	ppm	< 10	10-20	> 20	7,69		
S ^{2/}	ppm	< 10	10-20	> 20	6,48		
K ^{1/}	meq/100 g	< 0,2	0,2-0,4	> 0,4	0,11		
Ca ^{1/}	meq/100 g	< 4	4-8	> 8		7,12	
Mg ^{1/}	meq/100 g	< 1	1-2	> 2	0,55		
Cu ^{1/}	ppm	< 1	1-4	> 4			5,30
Fe ^{1/}	ppm	< 20	20-40	> 40			140
Mn ^{1/}	ppm	< 5	5-15	> 15		5,60	
Zn ^{1/}	ppm	< 2	2-7	> 7		4,10	
B ^{2/}	ppm	< 0,5	0,5-1	> 1		0,74	
MO ^{3/}	%	< 3	3-5	> 5	2,20		

^{1/}N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn fueron determinados con el método de Olsen modificado.

^{2/}S y B fueron determinados con el método del Fosfato de Calcio Monobásico.

^{3/} Titulación de Welkley Black.

de micorrizas *Acalulospora* spp, *Glomus* spp, *Sclerocystis* spp (200 millones UFC mL⁻¹), hongos *Trichoderma* spp (30 mil millones UFC mL⁻¹), bacterias *Azospirillum* spp (100 millones UFC mL⁻¹), *Azotobacter* spp. (42 millones UFC mL⁻¹), *Bacillus* spp (300 millones UFC mL⁻¹), *Pseudomona* spp. (100 millones UFC mL⁻¹), y la levadura *Sacharomyces cerevisiae* (140000 UFC mL⁻¹). El consorcio microbiano se aplicó en dosis de 5 mL L⁻¹ de agua, y de esa solución se agregó 100 mL planta⁻¹ al momento del trasplante de las chapolas a contenedores y 15 días después del trasplante. Independientemente de los tratamientos basados en biochar y biofertilizantes, todas las plántulas fueron fertilizadas con un fertilizante compuesto en dosis de 5 g planta⁻¹, excepto el tratamiento control. El fertilizante fue aplicado a los 20 días después del trasplante de las chapolas a los contenedores, el mismo que fue colocado alrededor de la planta encima de la superficie del sustrato. La composición del fertilizante utilizado fue 12% de N, 20% de P₂O₅, 18% de K₂O, 2,7% de MgO, 20% de SO₄, 0,02% de Mn, 0,015% de B, 0,2% de Fe y 0,02% de Zn. Se usó esta formulación de fertilizante, debido a que el suelo utilizado como parte del sustrato presentó niveles bajo de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y azufre, y niveles medios de Zn, B y Mn, esto de acuerdo al reporte del análisis químico de suelo mostrado en tabla 2.

Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado

con cinco tratamientos, cuatro réplicas y 20 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó por 20 plántulas. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, y la separación de medias con prueba de Tukey. Ambas pruebas con un α del 5% de probabilidades de error. Además, se realizó análisis de correlaciones entre variables de crecimiento y calidad de plántula. Para el análisis de datos se utilizó el paquete estadístico InfoStat/L versión 2019.

Variables respuesta

Las variables fueron registradas a los 90 días después del trasplante de las chapolas a contenedores. Las variables registradas fueron altura de planta (cm), la cual se midió con una cinta métrica desde la base del sustrato hasta el último eje foliar; el diámetro de tallo (mm) fue registrado a nivel del sustrato con la ayuda de un calibrador; la longitud radical (cm) fue tomada desde el cuello del tallo hasta el ápice de la biomasa radical con la ayuda de una cinta métrica. Para el registro de la masa seca (g), las plántulas fueron sometidas a secado en estufa a 70°C hasta alcanzar peso constante y luego se registró el peso con ayuda de una balanza analítica de precisión; además, también se registró el peso de la materia seca de la parte aérea y radical de las plantas con la finalidad de determinar el índice de calidad de Dickson que integra a estas variables. El área foliar (cm²) fue registrada con la metodología del sacabocado, donde se relaciona el área de un cuadrante de hoja de 2 x 2 cm (4

cm²) con su peso seco y el de todas las hojas determinado en estufa. La tasa de crecimiento relativo – TCR (g g⁻¹día⁻¹) y tasa de asimilación neta – TAN (g cm⁻² día⁻¹) fueron registradas a los 30, 60 y 90 días después del trasplante de chapolas a contenedores, lo cual se realizó con las ecuaciones [1] y [2] descritas por Souza et al. (2016) y Barbón et al. (2020). Finalmente, el índice de calidad de Dickson (ICD) fue estimado con la ecuación [3] propuesta por Dickson et al. (1960) y utilizada para café por Gomes y Miglioranza (2015) y Borjas et al. (2018). El índice de calidad de Dickson integra caracteres morfológicos de las plantas que definen su potencial de adaptación y sobrevivencia en campo, por lo cual a mayor índice de calidad de Dickson en vivero supone un mayor potencial de adaptación y sobrevivencia de las plántulas de café en campo (Birchler et al., 1998; Davis y Jacobs, 2005).

$$TCR = \frac{(\ln P_2 - \ln P_1)}{(T_2 - T_1)} = g \text{ g}^{-1} \text{ día}^{-1} \quad [1]$$

$$TAN = \left[\frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \right] * \left[\frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{AF_2 - AF_1} \right] = g \text{ cm}^{-2} \text{ día}^{-1} \quad [2]$$

$$ICD = \frac{\text{Masa seca total (g)}}{\frac{\text{Altura de planta (cm)}}{\text{Diámetro de tallo (mm)}} + \frac{\text{Masa seca aérea (g)}}{\text{Masa seca radical (g)}}} \quad [3]$$

Donde:

TCR = Tasa de crecimiento relativo, TAN = Tasa de asimilación neta, ICD = Índice de calidad de Dickson, L_n = Logaritmo natural, P₂ = Peso final, P₁ = Peso inicial, T₂ = Tiempo final, T₁ = Tiempo inicial, AF₂ = Área foliar final, AF₁ = Área foliar inicial. Se consideró como peso seco y área foliar inicial el estado de chapola.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El crecimiento de plántulas de café en altura de planta, diámetro de tallo y longitud de biomasa

radical fue influenciado significativamente (p<0,01) por los tratamientos probados, donde el tratamiento biochar + biofertilizante alcanzo los mayores promedios (Tabla 3). La mayor altura de planta fue alcanzada por el tratamiento de Biochar + biofertilizante, con un incremento del 18, 14, 16 y 32% con relación a los tratamientos biochar, biofertilizante, fertilización química y control, respectivamente. De la misma forma, el mayor diámetro del tallo fue logrado por la combinación biochar + biofertilizante, con un incremento del 18, 15, 12 y 30% con respecto a los tratamientos biochar, biofertilizante, fertilización química y control, en su orden respectivo. La longitud de biomasa radical se incrementó en un 15, 13, 14 y 26 % con el tratamiento biochar + biofertilizante, en relación a los tratamientos biochar, biofertilizante, fertilización química y control, respectivamente. El tratamiento biochar + biofertilizante alcanzó la mayor masa seca radical, pero fue estadísticamente similar a los tratamientos biochar, biofertilizante y fertilización química (Tabla 3), únicamente el tratamiento control fue diferente a los demás tratamientos, con un 32% menos de masa seca radical en relación a la combinación biochar + biofertilizante.

Los resultados obtenidos son cercanos a los hallados por Adriano et al. (2011) e Ibarra et al. (2014) quienes reportaron incrementos significativos de altura de planta, longitud y masa seca radical en plántulas de café inoculadas con micorrizas, *Azotobacter* y *Azospirillum*, en relación al tratamiento control. De forma similar Del Águila et al. (2018), Moreira et al. (2018) y Hernández et al. (2020) reportaron mayor altura de planta y masa seca radical en plántulas de café inoculadas con consorcios micorrícicos, en contraste al tratamiento control. En cuanto

Tabla 3. Efecto de biochar y biofertilizante sobre el crecimiento de plántulas de café arábica en etapa de vivero.

Table 3. Effect of biochar and biofertilizer on the growth of arabica coffee seedlings in the nursery stage.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de biomasa radical (cm)	Masa seca radical (g)
Biochar	20,24 b ^{1/}	4,12 b	21,79 b	1,76 ab
Biofertilizante	21,16 b	4,23 b	22,33 b	1,78 ab
Biochar + Biofertilizante	24,73 a	5,00 a	25,55 a	1,85 a
Fertilización química	20,70 b	4,38 b	22,05 b	1,64 b
Control	16,91 c	3,50 c	18,84 c	1,25 c
p-valor ANOVA	< 0,0001	0,0002	0,0003	< 0,0001
CV, %	6,90	10,39	6,77	7,04

^{1/}Medias dentro de columnas con letras distintas difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey <0,05.

al efecto de Biochar, los resultados obtenidos guardan similitud con los encontrados por Rahayu y Sari (2017) y Billa et al. (2019) quienes concluyeron que el efecto del biochar fue positivo en promover mayor crecimiento vegetativo del café, y, además, contribuyó al control de malezas y del nematodo *Pratylenchus coffeae*. Por su parte, Cargua et al. (2020) reportaron incrementos de altura de planta y longitud de biomasa radical del 29 y 67%, respectivamente, en plántulas tratadas con biochar e inoculadas con consorcios microbianos, en relación al tratamiento control.

El crecimiento en masa seca y área foliar, así como la calidad de plántula fue significativamente afectado ($p < 0,01$) por los tratamientos aplicados (Tabla 4). A pesar de lo anterior, los tratamientos biochar + biofertilizante, biochar, biofertilizante y fertilización química fueron estadísticamente similares entre sí, y únicamente fueron diferentes al tratamiento control (Tabla 4). Sin embargo, es de destacar, que el mayor incremento en masa seca de plántula fue logrado con el tratamiento biochar + biofertilizante, con un 9, 13, 21 y 35%, en contraste a los tratamientos biochar, biofertilizante, fertilización química y control, respectivamente. De la misma manera, la combinación biochar + biofertilizante aumentó el área foliar de la plántula con relación a los tratamientos biochar, biofertilizante, fertilización química y control, en un 9, 14, 21 y 39%, en su orden respectivo. Asimismo, la combinación biochar + biofertilizante alcanzó el mayor valor de índice de calidad de Dickson, con un incremento del 6, 8, 13 y 33%, en comparación a los tratamientos biochar, biofertilizante, fertilización química y control, respectivamente (Tabla 4). Los resultados alcanzados sugieren que aunque no se logró diferencias estadísticas entre tratamientos de biochar, biofertilizante

y fertilización química, existe una tendencia a mejorar el crecimiento de plantas de café con aplicación de biochar y biofertilizantes, lo cual puede ser mejorado posiblemente con mayores dosis de ambos insumos, que son de particular interés en agricultura ecológica.

Los resultados de masa seca de plantas, área foliar e índice de calidad de Dickson se asemejan a los obtenidos por Cargua et al. (2020) quienes reportaron una masa seca y área foliar de 8,23 g y 498 cm² planta⁻¹, respectivamente, en plántulas de cacao tratadas con la combinación biochar + biofertilizante, en relación a tratamientos de biochar, biofertilizante y fertilización química aplicados de forma aislada. Los mismo autores también concluyeron que la combinación biochar + biofertilizante incrementó el índice de calidad de Dickson en relación a los demás tratamientos. En este contexto, Rezende et al. (2016) también informaron que el uso de biochar como sustrato, mejoró el índice de calidad de Dickson en plántulas de teca. Resultados similares también fueron hallados por Saxena et al. (2013), Nadeem et al. (2017) y Ashry y Hassan (2019), quienes concluyeron que la aplicación de consorcios bacterianos acompañados de biochar potenció el crecimiento de las plántulas de frejol, pepino y pimiento, respectivamente. Varios experimentos donde se evaluó de forma separada el efecto de consorcios microbianos y biochar en plántulas de café y cacao, concluyeron que tanto el biochar y los consorcios microbianos favorecieron el crecimiento y la asignación de materia seca de los componentes morfológicos y fisiológicos de las plántulas tratadas, en relación a tratamientos controles sin inoculación y biochar (Ibarra et al., 2014; Álvarez y Damião, 2018; Bahrun et al., 2017; Bahrun et al., 2020; Hernández et al., 2020).

El incremento de masa seca y área foliar de

Tabla 4. Efecto de biochar y biofertilizante sobre la materia seca, área foliar y calidad de plántulas de café arábica en etapa de vivero.

Table 4. Effect of biochar and biofertilizer on dry matter, foliar area and quality of arabica coffee seedlings in the nursery stage.

Tratamientos	Masa seca total de planta (g)	Área foliar (cm ²)	Índice de calidad de Dickson
Biochar	7,56 b ^{1/}	289,51 ab	0,92 ab
Biofertilizante	7,23 ab	272,35 ab	0,90 ab
Biochar + Biofertilizante	8,28 a	316,63 a	0,98 a
Fertilización química	6,50 bc	249,67 b	0,85 b
Control	5,41 c	192,89 c	0,66 c
p-valor ANOVA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
CV, %	10,36	10,83	10,60

^{1/}Medias dentro de columnas con letras distintas difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey <0,05.

plántulas de café por efecto de los tratamientos, se reflejan en las tasas de crecimiento relativo (TCR) y tasa de asimilación neta (TAN) de las Figs. 1 y 2, donde se aprecia que el mayor incremento diario en masa seca con relación a una masa seca inicial descrita por la TCR se presentó en el tratamiento biochar + biofertilizante con 0,0199; 0,0222 y 0,0394

$\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 30, 60 y 90 días de crecimiento en vivero (Fig. 1). De la misma forma el mayor incremento diario de masa seca por unidad de área foliar descrito por la TAN fue alcanzado por la combinación biochar + biofertilizante con 0,0016; 0,0018 y 0,0030 $\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, a los 30, 60 y 90 días de crecimiento en vivero (Fig. 2). Lo anterior

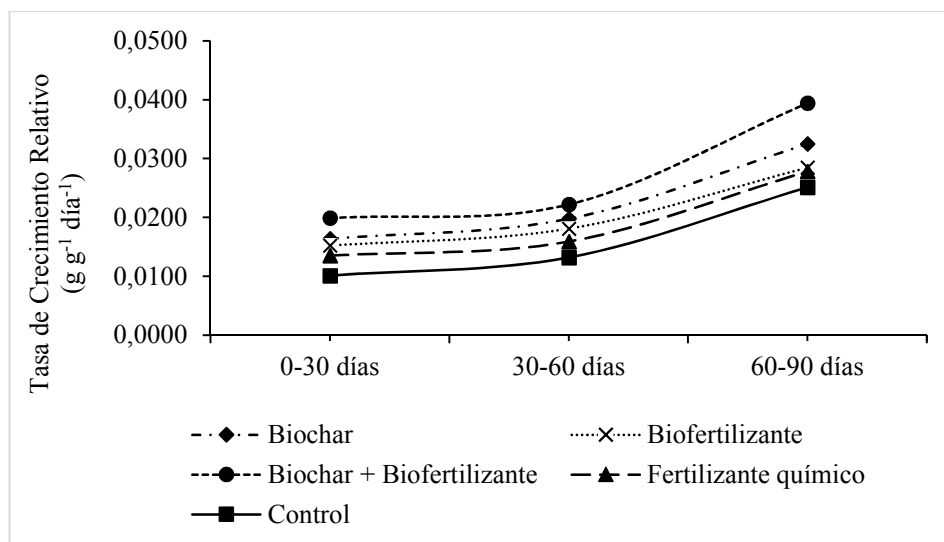


Fig. 1. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de plántulas de café arábica con la aplicación de biochar y biofertilizantes en etapa de vivero.

Fig. 1. Relative growth rate (RGR) of arabica coffee seedlings with the application of biochar and biofertilizer in the nursery stage.

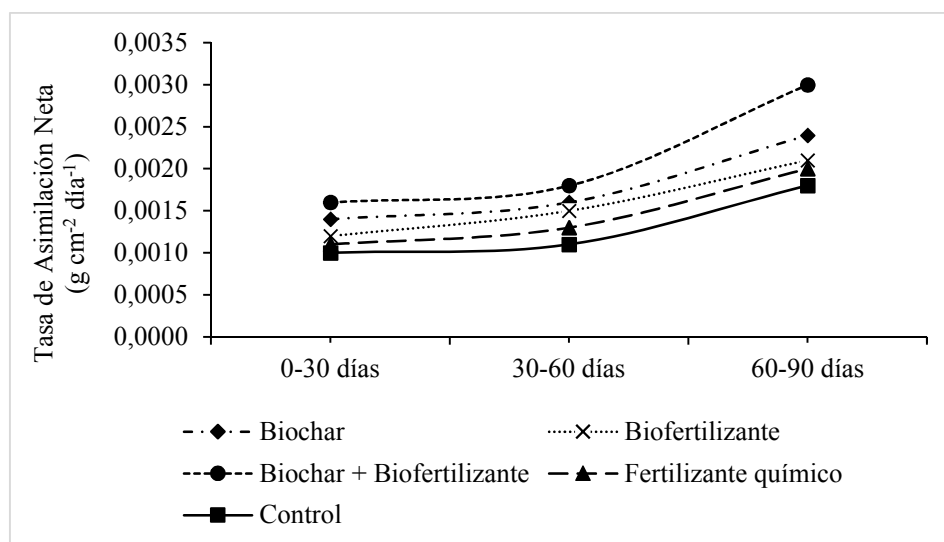


Fig. 2. Tasa de asimilación neta (TAN) de plántulas de café arábica con la aplicación de biochar y biofertilizantes en etapa de vivero.

Fig. 2. Net assimilation rate (NAR) of arabica coffee seedlings with the application of biochar and biofertilizer in the nursery stage.

indica que el mayor incremento de crecimiento de las plántulas de café tanto en TCR y TAN se produjo entre los 60 y 90 días en fase de vivero, lo cual puede deberse a que en este tiempo las raíces incrementan su crecimiento y exploran un mayor volumen del suelo, por lo que obtienen mayores recursos nutricionales que favorecen el crecimiento de las plántulas. Por el contrario, en el tratamiento control las TCR y TAN a los 60 y 90 días fueron menores, debido al menor contenido nutricional del sustrato que no recibió fertilización mineral, lo cual ralentizó el ritmo de crecimiento diario.

En este contexto, resultados obtenidos por Barbón et al. (2020) confirman que plántulas de café con mayor desarrollo radical incrementaron su TCR y TAN, en relación a plántulas con deficiente sistema radical. Con respecto a los resultados alcanzados, diversos estudios de investigación concluyeron que el biochar usado como parte del sustrato fue capaz de mejorar las condiciones físicas y químicas del mismo, mediante la regulación del pH, incremento de la CIC y el carbono, reducción de la disponibilidad de Al e H tóxico para las raíces, y aumento de la disponibilidad de N, P, K, Ca, y Mg, lo cual fue reflejado en mayor desarrollo radical y crecimiento general de plántulas de teca, cacao y café (Rezende et al., 2016; Sasmita et al., 2017; Bahrún et al., 2017; Herviyanti et al., 2019; Bahrún et al., 2020). En relación al efecto de biofertilizantes en la disponibilidad de nutrientes, varias investigaciones han determinado que la inoculación de plántulas de café y cacao con consorcios microbianos incrementó la disponibilidad de P y N en el sustrato y su concentración en el tejido foliar (Adriano et al., 2011; Argüello y Moreno, 2014; Cisneros et al., 2017b; Hernández et al., 2020). De acuerdo a diversos autores, el índice de calidad de Dickson es un parámetro integrador de variables

morfológicas y de crecimiento, que puede ser usado para la selección de plántulas vigorosas previo al trasplanta a campo (Davis y Jacobs, 2005; Grossnickle y MacDonald, 2018; Alves et al., 2018; Sampaio et al., 2019). Al respecto de lo anterior, el índice de calidad de Dickson y las variables morfológicas evaluadas, se correlacionaron positiva y significativamente en plántulas de café arábica a los 90 días de crecimiento en fase de vivero (Tabla 5). Lo anterior indica que la calidad de una planta está en función de un crecimiento equilibrado entre sus diferentes estructuras morfológicas, lo cual ha sido comprobado por Gomes y Miglioranza (2015) y Alves et al. (2018) en plántulas de café y cacao. En este sentido y de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 4, se evidenció que el biochar como parte del sustrato y la aplicación de biofertilizantes fomentaron un crecimiento más equilibrado de las plántulas de café, al alcanzar mayores índices de calidad de Dickson, en relación a los tratamientos de fertilización química y control. En este contexto, los resultados son cercanos a los alcanzados por Lima et al. (2013), Rezende et al. (2016), quienes reportaron mejores índices de calidad de Dickson en plántulas de Berenjéna y teca que fueron establecidas en sustratos tratados con biochar y otros materiales orgánicos.

A pesar de que no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos biochar, biofertilizantes y fertilización química, nuestros resultados sugieren que la aplicación combinada de biochar + biofertilizantes tiende a mejorar el efecto del fertilizante mineral aplicado a plantas de café en vivero, lo cual se evidencia con promedios de crecimiento más elevados, con respecto al tratamiento que únicamente recibió fertilización química, por lo que, sería conveniente en trabajos futuros cuantificar agrónomica y económicamente la eficiencia de la fertilización mineral en función de aplicaciones combinadas

Tabla 5. Relación entre el crecimiento y calidad de plántulas de café arábica a los 90 días de crecimiento en fase de vivero.

Table 5. Relationship between growth and quality of arabica coffee seedlings at 90 days of growth in the nursery stage.

	AP (cm)	DT (mm)	LBR (cm)	MSR (g)	MSP (g)	AF (cm ²)
ICD	R	R	R	R	R	R
	0,81	0,86	0,71	0,96	0,93	0,83
	P	P	P	P	P	P
	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,000	<0,0001	<0,0001

AP = Altura de planta; DT = Diámetro de tallo; LBR = Longitud de biomasa radical; MSR = Masa seca radical; MSP = Masa seca de planta; AF = Área foliar; ICD = Índice de calidad de Dickson.

R = Coeficiente de correlación de Pearson.

P = significancia estadística de las correlaciones $\alpha \leq 0.05$.

con biochar y biofertilizantes. En relación a lo anterior, varios autores han reportado sinergias positivas entre biochar y consorcios microbianos con fertilizantes minerales (Bargaz et al., 2018; Dietrich et al., 2020; Kulczycki et al., 2020; Shi et al., 2020; Fitriatin et al., 2021).

Se ha comprobado que los efectos beneficiosos del biochar y biofertilizantes en la mejora de la fertilidad del suelo, la nutrición y crecimiento de plantas, se debe principalmente a que la porosidad del biochar permite alojar microorganismos, los cuales encuentran un ambiente propicio para reproducirse y de esta manera ejercer un mejor efecto sobre el crecimiento de las plantas, a través de la producción de sustancia promotoras del crecimiento vegetal, lo cual sumado a que el biochar retiene humedad y nutrientes por la elevada capacidad de intercambio catiónico, puede mejorar la disponibilidad de nutrientes en suelo, la absorción de nutrientes por las plantas y por ende potenciar el desarrollo vegetal, incluso en suelos problemáticos (Escalante et al., 2016; Restrepo et al., 2017; Bargaz et al., 2018; Yu et al., 2019; González et al., 2020; Ahmad et al., 2020; Nosheen et al., 2021; Kari et al., 2021). Finalmente, enfatizamos que los resultados obtenidos no son concluyentes, pero permiten seguir explorando las implicancias prácticas del uso de biochar y biofertilizantes en café y otras especies de interés comercial, más que todo en agricultura orgánica, donde el uso de fertilizantes químicos no es posible.

CONCLUSIONES

El biochar y biofertilizante tienden a promover un mayor crecimiento y calidad de plántulas de café arábica en fase de vivero. Las plántulas de café mostraron mayor tendencia de respuesta en crecimiento y calidad a la aplicación combinada de biochar + biofertilizante. Sin embargo, este tratamiento fue estadísticamente similar a la aplicación individual de biochar, biofertilizante y fertilización química. Por lo tanto, se requieren futuros experimentos para explorar mayores dosis de biochar y frecuencias de aplicación de biofertilizantes, que permitan obtener resultados más concluyentes. La calidad de las plántulas de café arábica se correlacionó positivamente con todas las variables de crecimiento analizadas.

LITERATURA CITADA

Adriano, M., R. Jarquín, C. Hernández, M. Salvador, y C. Monreal. 2011. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(3): 417-431.

- Ajema, L. 2018. Effects of biochar application on beneficial soil organism review. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology* 5(5): 9-18.
- Álvarez, J. y J. Damião. 2018. Producción de posturas de café con la aplicación de microorganismos eficientes en Angola. *Revista Centro Agrícola* 45(2): 29-33.
- Alves, R., G. Gomes, E. Malta, G. Andrade, y C. do Sacramento. 2018. Manejo de matrizes interfere no rendimento e na qualidade de mudas de cacaueiros. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40(3): 1 – 8.
- ANECAFÉ (Asociación Nacional de Exportadores de Café, EC). 2020. Estadísticas 2019. Disponible en: <http://www.anecafe.org.ec/exportaciones2019>. (Consulta 5 de abril 2021).
- Argüello, A. y L. Moreno. 2014. Evaluación del potencial biofertilizante de bacterias diazotrofas aisladas de suelos con cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*. 63(3):238-245.
- Allohverdi, T., Mohanty, A., Roy, P. and Misra, M. 2021. A Review on Current Status of Biochar Uses in Agriculture. *Molecules*, 26, 5584. <https://doi.org/10.3390/molecules26185584>
- Ashry, N. and M. Hassan. 2019. Integration between biochar and plant growth promoting bacteria affecting growth of pepper (*Capsicum annum* L.) plant. *International Journal of Microbiological Research* 10 (2):53-61. doi: 10.5829/idosi.ijmr.2019.53.61.
- Ahmad, M., X. Wang, T. Hilger, M. Luqman, F. Nazli, A. Hussain, Z. Zahir, M. Latif, Q. Saeed, H. Malik, and A. Mustafa. 2020. Evaluating biochar-microbe synergies for improved growth, yield of maize, and post-harvest soil characteristics in a semi-arid climate. *Agronomy* 10:1055. doi:10.3390/agronomy10071055.
- Barbón, R., N. Ortiz, A. Capote, y A. Pérez. 2020. Influencia del sistema radical de plantas de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884, obtenidas por embriogénesis somática, durante la fase de conversión. *Biotecnología Vegetal* 20(2): 104 – 112.
- Bargaz, A., K. Lyamlouli, M. Chtouki, Y. Zeroual, and D. Dhiba. 2018. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. *Frontiers Microbiology* 9:1606. doi: 10.3389/fmicb.2018.01606.
- Bahrún, A., M. Yunus, L. Safuan, L. Harjoni, and R. Singh. 2017. Effects of cocoa pod husk biochar on growth of cocoa seedlings in southeast Sulawesi-Indonesia. *Asian Journal of Crop Science* 10(1): 22-30. doi: 10.3923/ajcs.2018.22.30.

- Bahrún, A., T. Rakian, and A. Madiki. 2020. Effect of different types of biochar on growth of cocoa seedlings (*Theobroma cacao* L.). *Asian Journal of Crop Science* 12(1): 12-18. doi: 10.3923/ajcs.2020.12.18.
- Birchler, T., R. Rose, A. Royo, and M. Pardos. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria: Sistemas de Recursos Forestales* 7(1 y 2): 109-121.
- Billa, S., A. Ngome, T. Ngome, and T. Angwafo. 2019. Influence of biochar and poultry manure on weed infestation and growth of arabica coffee (*Coffea arabica*) seedlings. *Current Research in Agricultural Sciences* 6(1):9-19. doi: 10.18488/journal.68.2019.61.9.19.
- Borjas, R., Andía, E., Alarcón, G., Estelita, S., Julca, A. 2018. Crecimiento y calidad de plántulas de café (*Coffea arabica*) injertadas sobre *Coffea canephora* frente a nematodos en vivero. *J Selva Andina Biosph.*, 6(2):28-41.
- Cargua, J., C. Echeverría, y G.A. Cedeño. 2020. Efectividad de biochar y biofertilizantes en el crecimiento y calidad de plántulas de cacao. *ESPAMCIENCIA* 11(2):95-100.
- Canet, G., C. Soto, P. Ocampo, J. Rivera, A. Navarro, G. Guatemala, y S. Villanueva. 2016. La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, C.R. ISBN: 978-92-248-651-8.
- Cisneros, C., M. Sánchez, y M. Menjivar. 2017a. Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1):149-158.
- Cisneros, C., J. Franco, M. Realpe, y J. Fuenmayor. 2017b. Influencia de microorganismos en la disponibilidad de fósforo en plántulas de café (*Coffea arabica* L.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 15(1):19-26.
- Davis, A. and D. Jacobs. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests* 30:295–311.
- Del Aguila, K., G. Vallejos, L. Arévalo, y A. Becerra. 2018. Inoculación de Consorcios Micorrícicos Arbusculares en *Coffea arabica*, Variedad Caturra en la Región San Martín. *Información Tecnológica* 29(1):137-146.
- Dietrich, C., M. Rahaman, A. Robles, S. Latif, K. Intani, J. Müller, and N. Jablonowski. 2020. Nutrient loaded biochar doubled biomass production in juvenile maize plants (*Zea mays* L.). *Agronomy* 10:567. doi:10.3390/agronomy10040567.
- Dickson, A., A. Leaf, and J. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36:10-13.
- Duicela, L., S. Velásquez, y D. Farfán 2017. Calidad organoléptica de cafés arábigos en relación a las variedades y altitudes de las zonas de cultivo, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 18(1):67-77.
- Duicela, L., M. Martínez, R. Loor, A. Morris, A. Guzmán, C. Rodríguez, y W. Chilán. 2018. Gestión del conocimiento e innovación organizacional para reactivar la cadena productiva del café robusta, Ecuador. *ESPAMCIENCIA* 9(1):61-72.
- Ding, Y., Y. Liu, S. Liu, Z. Li, X. Tan, X. Huang, G. Zeng, L. Zhou, and B. Zheng. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36: 36. doi:10.1007/s13593-016-0372-z.
- Escalante, A., G. Pérez, C. Hidalgo, J. López, J. Campo, E. Valtierra, y J. Etchevers. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 367-382.
- Fasusi, O., C. Cruz, and O. Babalola. 2021. Agricultural Sustainability: Microbial biofertilizers in rhizosphere management. *Agriculture* 11: 163. doi:10.3390/agriculture11020163.
- Fitriatin, B., V. Dewi, and A. Yuniarti. 2021. The impact of biofertilizers and NPK fertilizers application on soil phosphorus availability and yield of upland rice in tropic dry land. *Web of Conferences* 232:03012. doi:10.1051/e3sconf/202123203012.
- Gomes, C. and E. Miglioranza. 2015. Quality levels of organic coffee seedlings in black and white nonwoven fabric (WNF) containers of various sizes. *African Journal of Agricultural Research* 10(9): 86-89. doi.org/10.5897/AJAR2014.9393.
- Gorovtsov, A., T. Minkina, S. Mandzhieva, L. Perelomov, G. Soja, I. Zamulina, V. Rajput, S. Sushkova, D. Mohan, and Y. Yao. 2019. The mechanisms of biochar interactions with microorganisms in soil. *Environ Geochem Health* 42: 2495–2518. doi: 10.1007/s10653-019-00412-5.
- Grossnickle, S, and E. MacDonald. 2018. Seedling quality: history, application, and plant attributes. A Review. *Forests* 2018, 9, 283; doi:10.3390/f9050283.
- Hardy, B., S. Sleutel, J. Dufey, and J. Cornelis. 2019. The long-term effect of biochar on soil microbial abundance, activity and community structure is overwritten by land management. *Frontiers in Environmental Science* 7:110. doi: 10.3389/fenvs.2019.00110.

- Hernández, E., D. Trejo, A. Rivera, and R. Ferrera. 2020. La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. *Terra Latinoamericana Número Especial* 38-3: 613-628. doi:10.28940/terra.v38i3.659.
- Herviyanti, H., A. Maulana, S. Prima, A. Aprisal, S. Crisna, and A. Lita. 2019. Effect of biochar from young coconut waste to improve chemical properties of ultisols and growth coffee [*Coffea arabica* L.] plant seeds. *Earth and Environmental Science* 497:012038. doi:10.1088/1755-1315/497/1/012038.
- Ibarra, J., J. Aguirre, A. Ley, J. Cadena, and G. Zavala. 2014. *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner inoculado con micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20(2): 201-213. doi: 10.5154/r.rchsh.2013.09.027.
- Kari, A., S. Nagymate, C. Romsics, B. Vajna, E. Toth, R. Lazanyi, B. Rizo, J. Kutasi, B. Bernhardt, E. Farkas, and K. Marialigeti. 2021. Evaluating the combined effect of biochar and PGPR inoculants on the bacterial community in acidic sandy soil. *Applied Soil Ecology* 160:103856. doi:10.1016/j.apsoil.2020.103856.
- Kulczycki, G., E. Magnucka, M. Oksinska, J. Kucinska, R. Kobylecki, K. Paweska, R. Zarzycki, A. Kacprzak, and S. Pietr. 2020. The effect of various types of biochar mixed with mineral fertilization on the development and ionome of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings and soil properties in a pot experiment. *Agronomy* 10: 1903. doi:10.3390/agronomy10121903.
- Lima, S., B. Marimon, F. Petter, S. Tamiozzo, G. Bossi, and B. Schwantes. 2013. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. *Acta Scientiarum. Agronomy* 35(3): 333-341. doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.17542.
- Mitter, E., M. Tosi, D. Obregón, K. Dunfield, and J. Germida. 2021. Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: innovative biofertilizer technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5:606815. doi: 10.3389/fsufs.2021.606815.
- Moreira, S., A. França, W. Rocha, E. Tibães, and E. Neiva. 2018. Inoculation with mycorrhizal fungi on the growth and tolerance to water deficit of coffee plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22(11):747-752. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v22n11p747-752.
- Nadeem, S., M. Imran, M. Naveed, M. Khan, M. Ahmad, Z. Zahir, and D. Crowley. 2017. Synergistic use of biochar, compost and plant growth promoting rhizobacteria for enhancing cucumber growth under water deficit conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(15):5139-5145. Doi:10.1002/jsfa.8393.
- Nosheen, S., I. Ajmal, and Y. Song. 2021. Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability* 13: 1868. doi.org/10.3390/su13041868
- Plaza, L., R. Loor, H. Guerrero, and L. Duicela. 2015. Caracterización fenotípica del germoplasma de *Coffea canephora* Pierre base para su mejoramiento en Ecuador. *ESPAMCIENCIA* 6(1):7-13.
- Ponce, L., K. Orellana, I. Acuña, J. Alfonso, and T. Fuentes. 2018. Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*. 1(1):307-325.
- Pereg, L. and McMillan, M. 2015. Scoping the potential uses of beneficial microorganisms for increasing productivity in cotton cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry* 80: 349-358. doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.020
- Rahayu, D. and N. Sari. 2017. Development of *Pratylenchus coffeae* in biochar applied soil, coffee roots and its effect on plant growth. *Pelita Perkebunan* 33 (1).24-32.
- Rezende, F., V. Hardt, C. Branco, and M. Moura. 2016. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 51(9):1449-1456. doi: 10.1590/S0100-204X2016000900043.
- Restrepo, S., E. Pineda, y L. Ríos. 2017. Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria* 18(2):335-351.
- Saxena, J., G. Rana, and M. Pandey. 2013. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* sp. on growth and yield of French beans. *Scientia Horticulturae* 162:351-356. doi:10.1016/j.scienta.2013.08.002.
- Sampaio, E., R. Prucoli, S. Ferreira, V. de Souza, F. Valani, R. Lima, I. de Moura, S. Spaggiari, S. Prucoli, G. Silva, O. Schimdt, and E. Romais. 2019. Growth and quality of genotype ps-1319 cacao seedlings produced under different irrigation depths. *Journal of Agricultural Science* 11(16): 238 - 247. doi:10.5539/jas.v11n16p238.

- Sasmita, K., I. Anas, S. Anwar, S. Yahya, and G. Djajakirana. 2017. Application of biochar and organic fertilizer on acid soil as growing medium for cacao (*Theobroma cacao* L.) seedlings. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research* 36(5):261-273.
- Soumare, A., K. Boubekri, K. Lyamlouli, M. Hafidi, Y. Ouhdouch, and L. Kouisni. 2020. From isolation of phosphate solubilizing microbes to their formulation and use as biofertilizers: Status and Needs. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 7:425. doi:10.3389/fbioe.2019.00425.
- Souza, A., Guimarães, R., Colombo, A., Sant'Ana, J., Castanheira, D. 2016. Quantitative analysis of growth in coffee plants cultivated with a water-retaining polymer in an irrigated system. *Revista Ciência Agronômica*, 47(1): 162-171.
- Shi, W., Y. Ju, R. Bian, L. Li, S. Joseph, D. Mitchell, P. Munroe, S. Taherymoosavi, and G. Pan. 2020. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. *Science of the Total Environment* 701:134424. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134424.
- Villar, P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. Capítulo IV, pp 65-86. En: *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*, Rey-Benayas, J.M.; Espigares Pinilla, T. y Nicolau Ibarra, J.M. (Editores), Universidad de Alcalá / Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Yu, H., W. Zou, J. Chen, H. Chen, Z. Yu, J. Huang, H. Tang, X. Wei, and B. Gao. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of Environmental Management* 232:8-21. doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.117.