

Rizobacteria promotora del crecimiento favorece el desarrollo de *Coffea arabica* L. injertadas sobre patrón robusta

Sucleidi Nápoles Vinent¹, Livan González Cobas², Norlys Roldán Felipe³ & Jorge González Aguilera⁴

¹ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3533-2956>, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, ²ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5850-9713>, Empresa Agroforestal de San Luis, Santiago de Cuba, ³Empresa Agroforestal de San Luis, Santiago de Cuba, ⁴ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7308-0967>, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, MS, Brasil.

Citación: Nápoles Vinent, S., González Cobas, L., Roldán Felipe, N., & González Aguilera, J. (2022). Rizobacteria promotora del crecimiento favorece el desarrollo de *Coffea arabica* L. injertadas sobre patrón robusta. *Agrisost*, 28, 1-8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7143984>

Recibido: 5 mayo 2022

Aceptado: 11 julio 2022

Publicado: 19 septiembre 2022

Financiamiento: No se declara.

Conflictos de interés: No se declaran conflictos de interés.

Correo electrónico: sucleidis@uo.edu.cu

Resumen

Contexto: En el Cuba aún no se ha informado la respuesta de los principales genotipos de *Coffea arabica* L. injertados sobre *Coffea canephora* en presencia de cepa de rizobio promotora del crecimiento vegetal.

Objetivo: Evaluar el efecto de *Rhizobium alamii* Rpr2, en el desarrollo de *C. arabica* L., injertadas de forma individual sobre el patrón *C. canephora* (Robusta).

Métodos: El ensayo se condujo bajo un diseño de bloques al azar en arreglo factorial 4x2, con cuatro réplicas. Los factores fueron cuatro genotipos de *C. arabica* L. (Isla 6-14, Isla 5-15, Isla 6-11 y San Ramón) y dos niveles de aplicación de rizobio (con y sin aplicación). Se evaluó los días al prendimiento, porcentaje de prendimiento del injerto, altura del injerto, diámetro del tallo del injerto, número de pares hojas del injerto, área foliar, masa seca foliar, crecimiento de la raíz, volumen de la raíz y masa seca de la raíz.

Resultados: Los resultados mostraron la interacción que existe entre el tipo de la especie *C. arabica* injertada y la cepa *R. alamii* Rpr2. El injerto Isla 6-14/Robusta inoculado se mostró superior con respecto a los demás tratamientos y controles, lo cual lo convierte en una variante a emplear en la caficultura.

Conclusiones: El uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal es una alternativa eficaz en la estimulación y desarrollo de injertos que puede redundar en una mayor disponibilidad de posturas aptas para ampliar el volumen de café a ser establecido en condiciones de campo.

Palabras clave: *genotipos, rizobio, vivero.*

Growth-promoting rhizobacteria favors the development of *Coffea arabica* L. injected on a robust pattern

Abstract

Context: In Cuba, the response of the main genotypes of *Coffea arabica* L. grafted on *Coffea canephora* in the presence of a *rhizobium* strain that promotes plant growth has not yet been reported. **Objective:** To evaluate the effect of *Rhizobium alamii* Rpr2, on the development of *C. arabica* L., grafted individually on the rootstock *C. canephora* (Robusta).

Methods: The trial was conducted under a randomized block design in a 4x2 factorial arrangement, with four replications. The factors were four genotypes of *C. arabica* L. (Isla 6-14, Isla 5-15, Isla 6-11 and San Ramón) and two levels of rhizobia application (with and without application). The days to grafting, percentage of

grafting, graft height, diameter of the graft stem, number of pairs of graft leaves, leaf area, leaf dry mass, root growth, root volume and dry mass of root were evaluated.

Results: The results showed the interaction that exists between the type of the grafted *C. arabica* species and the *R. alarii* Rpr2 strain. The inoculated Isla 6-14/Robusta graft was shown to be superior with respect to the other treatments and controls, which makes it a variant to be used in coffee growing.

Conclusions: The use of plant growth promoting bacteria is an effective alternative in the stimulation and development of grafts that can result in a greater availability of suitable postures to expand the volume of coffee to be established under field conditions.

Key words: *genotypes, rhizobium, nursery.*

Introducción

Para el manejo adecuado del cultivo de café se debe prestar atención al establecimiento en el vivero, teniendo en cuenta que para el trasplante definitivo en campo se debe garantizar plantas vigorosas y sanas (Valarezo et al., 2021). Para evitar las enfermedades comunes del café, se desarrollan genotipos tolerantes o injertan variedades de alto valor agronómico, sobre patrones resistentes (Santos et al., 2017).

El método de injertación hipocotiledonal consiste en utilizar un patrón (porta injerto) de *Coffea canephora* P. (tolerante a los nematodos) y una yema de *Coffea arabica* L. (proporciona un producto de mayor calidad física y organoléptica), en una solución económica e importante que ya ha sido probado en el control de plagas y enfermedades del sistema radical, a las que el patrón es resistente (Reyes et al., 2016; Cantos et al., 2018).

La experiencia del injerto utilizando el patrón de robusta, con yemas de arábico permite obtener plantas resistentes a nemátodos y a la sequía (Tigua, 2019). Esta técnica de injerto incluye diferentes factores que intervienen sobre el comportamiento del porta-injerto y el crecimiento y desarrollo del injerto (Borjas-Ventuea et al., 2018).

La práctica del injerto sobre un patrón vigoroso de *C. canephora* puede ser también, en conjunto con la elección de una variedad adecuada, una opción para mejorar la productividad y rentabilidad de los cafetales (Julca et al., 2018). Se hace necesario evaluar una amplia gama de combinaciones varietales de patrones/púa o vástago para obtener un injerto confiable y compatible.

En relación a la interacción injerto-portainjerto, esta respuesta depende de diversos factores como es el material vegetal usado como injerto (Barbosa et al., 2014). Al estar envueltos factores genéticos, la respuesta de la planta es muy variada y además única en función de las características locales (interacción con el ambiente), unido a que el crecimiento y desarrollo de las plantas está regulado por fitohormonas que influyen esa respuesta (Cantos et al., 2018).

Algunas rizobacterias tienen la capacidad de producir fitohormonas, siendo este uno de los mecanismos más estudiados que se asocian en la promoción del crecimiento vegetal. En este sentido Parray et al. (2016) dieron a conocer la utilidad de *Rhizobium* spp. para el desarrollo fenológico y productividad de diferentes cultivos, por su potencial de emisión de sustancias promotoras del crecimiento vegetal.

El desarrollo de la caficultura en Cuba se basa en la obtención de nuevos materiales genéticos y de la implementación de métodos de propagación eficientes. A pesar de esto, los nuevos materiales genéticos de café obtenidos en Cuba, no han sido evaluados en relación con su comportamiento en un sistema de propagación por injertos y frente a la presencia de bacteria del género *Rhizobium*. Por tanto, se carece de información básica que permita mejorar el manejo de los mismos. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta de nuevos cultivares de café injertados sobre *C. canephora* expuestos a la presencia de rizobio promisorio para el café en la etapa de vivero.

Materiales y métodos

El trabajo experimental se desarrolló en la campaña 2020-2021 en el vivero tecnificado de la Unidad Básica de Producción Cooperativas (UBPC) “La Caoba”, perteneciente a la Empresa Agroforestal San Luis, Cuba. Fueron obtenidas del banco de germoplasma de la UBPC las semillas para el uso como portainjerto *C. canephora* “Robusta” y como injertos fueron usados *C. arabica*: Isla 6-14, Isla 6-11, Isla 5-15 y San Ramón.

Se empleó el aislado de *Rhizobium* sp. (Rpr2), aislado de la rizosfera de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar INCA LP-5, en Cuba (Hernández & Nápoles, 2017). Para obtener el pre inóculo se utilizaron frascos Erlenmeyers de 250 mL, con 50 mL del medio líquido de levadura manitol (LM). Se utilizó una asada del aislado de *Rhizobium* sp. (Rpr2), conservados a 4 °C en tubos de ensayo con medio levadura manitol (LM) agar (Vincent, 1970). La concentración celular se ajustó a 1×10^{10} células mL⁻¹.

En el trabajo experimental se empleó el diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) en arreglo factorial común 4x2 y 4 réplicas, totalizando 32

unidades experimentales. Factor I: Injertos (Isla 6-14/Robusta, Isla 6-11/Robusta, Isla 5-15/Robusta y San Ramón/Robusta) y Factor II: Inoculación de la cepa de rizobio (presencia y ausencia).

Una vez realizado el injerto del tipo hendidura o hipocotiledonar recomendado para este cultivo (Villain, 1994), el sistema radicular de los injertos seleccionados fue tratado con o sin el inóculo. Los injertos se sumergieron durante una hora en un vaso que contenían 1mL del inóculo diluido 9 mL de agua, para un volumen final de 10 mL, a temperatura ambiente bajo condiciones de sombra o en el mismo volumen de agua para hacer el tratamiento control (Cisneros et al., 2017). Luego se sembraron en bandejas de poliespuma que contenían arena de río húmeda y desinfectada. Las bandejas con los injertos sembrados se colocaron en la cámara de adaptación con temperaturas de ±27 °C y humedad relativa de 75/85 % durante 30 días. Se mantuvo la humedad con riegos frecuentes para mantener la capacidad de campo.

Las evaluaciones realizadas durante los treinta días después de aplicado el tratamiento consistieron en: Días al prendimiento (DP, días), la cual se registró en días transcurridos desde la injertación hasta cuando más del 50% de las posturas mostraron prendimiento y el porcentaje de prendimiento del injerto (PPI, %) obtenido al cuantificar el (Nro. de injertos prendidos / No. de injertos totales) x 100 (Cantos et al., 2018).

Previo al trasplante de los injertos al propagador, bolsas de polietileno negras con capacidad de 1 kg de sustrato se llenaron con sustrato conformado de una mezcla en forma homogénea de suelo Ferralítico Rojo lixiviado (Hernández-Jiménez et al., 2015) y cachaza como materia orgánica en una proporción de 2:1 (v:v). Fue complementado el sustrato con fertilización fosfórica, utilizando superfosfato triple [Ca(H₂PO₄)²*H₂O], a razón de 10.9 kg m³ de la mezcla. Antes de efectuar la siembra de los injertos de café en cada bolsa se aplicó un riego ligero. También se realizaron limpiezas manuales para eliminar las malezas y escarificaciones para facilitar la aireación en el interior de las bolsas.

Las evaluaciones realizadas a los 210 días después del tratamiento (DDT) consistieron en analizar 20 plantas de cada uno de los tratamientos, siendo 160 el número de plantas evaluadas en total. Se evaluó la altura del injerto (AI, cm), el diámetro del injerto (DI, mm), número de pares de hojas del injerto (NHI, par), longitud de la raíz (LR, cm), el área foliar (AF, cm²) por el método de Soto (1980) mediante la fórmula AF= [(L x A) x 0,64], donde L es largo de la hoja y A es ancho de la hoja. La biomasa seca se obtuvo mediante el peso de la parte foliar (MSF, g) y parte radical (MSR, g) en una balanza analítica después de haberse secado en una estufa Mermert de aire forzado

a 75 - 80°C hasta peso constante (Roberts et al., 1988). Volumen de la raíz (VR): se calculó utilizando el principio de Arquímedes, por medio de una probeta de 500 ml, en la cual se adicionó 200 mL de agua destilada para luego introducir las raíces y obtener una estimación de su volumen total por cada una de las plántulas por desplazamiento de agua (Córdoba-Rodríguez et al., 2011).

$$VR = (Vol. H_2O + Raiz Sumergida) - Vol. H_2O$$

Para el procesamiento estadístico se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de la varianza por la prueba de Levene. Posteriormente, se realizaron análisis de varianza y cuando diferentes las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey (95%). Correlaciones entre las variables fueron obtenidas y con ellas construida una red de correlaciones empleando el programa RBio (Bhering, 2017). En la red fueron mostradas las correlaciones superiores a 0.65, empleando trazos verdes para las positivas y trazos rojos para las negativas.

Resultados y discusión

El análisis de los datos provenientes del ensayo, permitió detectar interacción significativa entre ambos factores (Injerto x Inoculación) para todas las variables evaluadas (Tabla 1). Asimismo, quedó demostrado que la eficiencia de la cepa de rizobio inoculada está en dependencia del cultivar arábico injertado sobre el patrón Robusta.

Tabla 1. Suma de cuadrados del análisis factorial de cada una de las variables evaluadas durante el experimento con café y la cepa de rizobio

Variables	Suma de cuadrados medios		
	Injertos	Inoculación	Injertos *inoculación
DP (días)	3.625*	255.05*	7.092*
PPI (%)	9.240*	195.80*	9.240*
AI (cm)	18.01*	208.85*	147.588*
DI (mm)	2.47*	24.49*	2.478*
LR (cm)	97.87*	2967.00*	196.34*
VR (mL)	0.921*	123.306*	0.078*
NPHI (par)	4.28*	65.28*	4.280*
AF (cm ²)	69796.74*	355675*	70810.5*
MSR (g)	1.086*	7.469*	0.919*
MSF (g)	1.557*	14.957*	1.271*

DP: Días al prendimiento, PPI: Porcentaje de prendimiento de injerto, AI: Altura del injerto, DI: Diámetro del tallo del injerto, LR: Longitud de raíz, NPHI: Número de hojas del injerto, VR: Volumen de la raíz, AF: Área foliar, MSR: Masa seca de la raíz, MSF: Masa seca foliar. (*) significativo (p ≤ 0.05) por la prueba F del Anova.

En los resultados que se muestran en la Fig. 1, se aprecian los resultados de la interacción para la variable DP. La inoculación con la cepa de rizobio Rpr2 favoreció significativamente ($p < 0,05$) el prendimiento del injerto, adelantándose de dos a cuatro días con respecto a los controles (ausencia de inoculación de rizobios). La menor reducción del tiempo de pegamento se obtuvo para Isla 6-14/Robusta inoculado (Fig. 1).

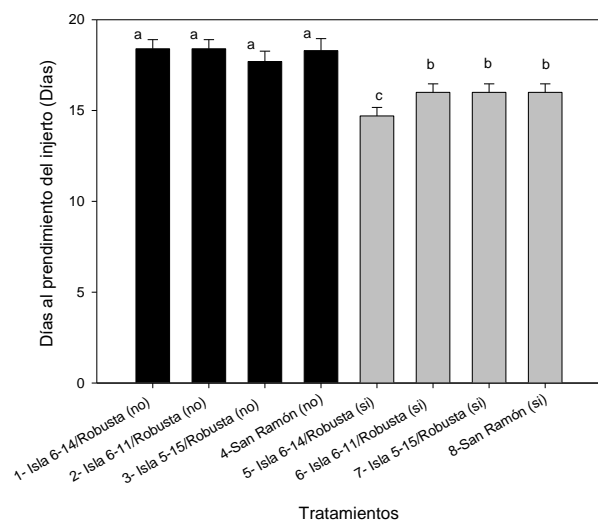


Fig. 1. Días al prendimiento de *C. arabica* injertada sobre *C. canephora* a los 210 días. En las barras las de color negro y gris representan la ausencia y la presencia de rizobios, respectivamente. Tratamientos con letras diferentes difieren entre sí por la prueba de Tukey a $p < 0,05$, $n = 20$

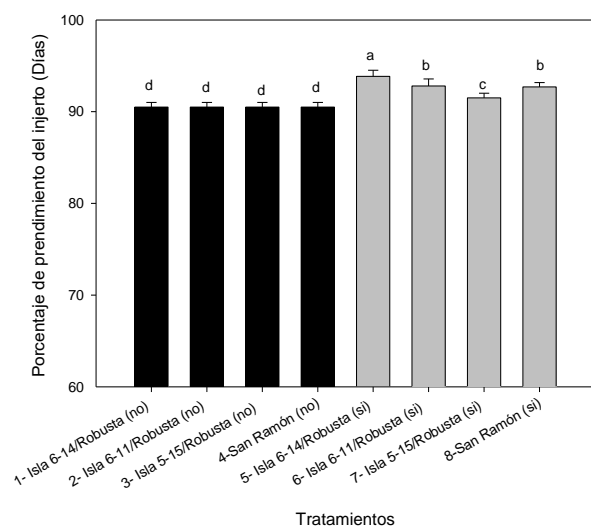


Fig. 2. Porcentaje de prendimiento del injerto de *C. arabica* sobre *C. canephora* F. a los 120 días. En las barras las de color negro y gris representan la ausencia y la presencia de rizobios, respectivamente. Tratamientos con letras diferentes difieren entre sí por la prueba de Tukey a $p < 0,05$, $n = 20$

Al comparar en cuanto al PPI los injertos sobre el patrón robusta inoculados o no con la cepa de rizobio Rpr2 (Fig. 2), se observa que los menores valores corresponden a los injertos controles (90.5%), a

diferencia de los injertos inoculados con rizobio que fueron estadísticamente superiores, mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos. El injerto Isla 6-14/Robusta alcanzó el 93.85% de prendimiento, siendo superior al alcanzado en el Isla 6-11/Robusta (92.8%), San Ramón/Robusta (92.7%), seguido de Isla 6-15 con el (91.5%), estos resultados evidencian que las inoculaciones de rizobio favorece al porcentaje de prendimiento del injerto de los cultivares en estudio.

La AI, DI, NHI, AF y MSF son variables que reflejan el desarrollo vegetativo del injerto, y muestran el efecto positivo que tiene la aplicación del rizobio sobre la planta de café (Tabla 2). La magnitud del efecto puede variar según la combinación de injerto estudiado, aunque podemos afirmar que la ausencia de rizobio no favoreció ninguna de las variables mostradas en a Tabla 2, al ser ranqueados estos tratamientos con los menores valores.

Tabla 2. Valores medios de las evaluaciones de la parte aérea de los *C. arabica* injertado sobre *C. canephora* con presencia o no de rizobio

Tratamientos	AI (cm)	DI (mm)	NPHI (par)	AF (cm ²)	MSF (g)
1- Isla 6-14/Robusta ¹	24.77	3.98	5.72	293.26	1.82
2- Isla 6-11/Robusta ¹	24.77	3.98	5.72	293.58	1.72
3- Isla 5-15/Robusta ¹	24.77	3.98	5.72	293.93	1.81
4- San Ramón/Robusta ¹	24.77	3.98	5.72	292.67	1.90
5- Isla 6-14/Robusta ²	28.85	5.32	7.67	694.04	2.90
6- Isla 6-11/Robusta ²	26.94	4.97	7.09	583.08	2.31
7- Isla 5-15/Robusta ²	25.6	4.16	6.10	489.34	2.02
8- San Ramón/Robusta ²	26.83	4.6	7.13	599.76	2.48
CV (%)	2.11	0.54	0.85	15.82	0.411

¹ no inoculado, ² inoculado AI: Altura del injerto, DI: Diámetro del injerto, NPHI: Número de hojas del injerto, AF: Área foliar, MSF: Masa seca foliar. CV: coeficiente de variación. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$, $n = 20$).

De acuerdo con los resultados obtenidos, para todas las variables mostradas en la Tabla 2 el injerto Isla 6-14 sobre Robusta e inoculado con rizobio, fue estadísticamente superior por la prueba Tukey ($p < 0,05$) en relación con todos los otros injertos evaluados (inoculados o no), por manifestar los mayores valores de AI (28,85 cm), DI (5.32 mm), NHI (7.67 pares), AF (694.04 cm²) y MSF (2.90 g).

Para todas las variables estudiadas los coeficientes de variación, que nos dan la medida de cómo está la precisión de los datos obtenidos, fueron adecuados para experimentos en condiciones controladas (Tabla

2 y Tabla 3), al manifestar valores por debajo de los 15% mostrando así que la metodología empleada es apropiada y que genera resultados confiables.

En las variables: longitud (LR), volumen (VR) y masa seca de la raíz (MSR), el injerto Isla 6-14/Robusta volvió a destacarse y presentó significativamente el mayor crecimiento con LR de 35.1 cm y desarrollo del sistema radicular con VR de 6.07 mL, seguido por los pares Isla 6-11/Robusta y San Ramón/Robusta, que no se diferenciaron entre ellos para VR ($p < 0,05$) (Tabla 4). Además, se observa que las raíces menos desarrolladas fueron obtenidas en los injertos no inoculados, obteniendo los menores valores, confirmando ese mismo comportamiento en todas las variables, que evidencia el efecto benéfico del rizobio en el desarrollo de los injertos de café para las condiciones testadas.

Tabla 3. Valores medios de las evaluaciones en la raíz de *C. arabica* injertado sobre *C. canephora* con presencia o no de rizobio

Tratamientos	LR (cm)	VR (mL)	MSR (g)
1- Isla 6-14/Robusta ¹	20.85 d	4.44 c	5.72 d
2- Isla 6-11/Robusta ¹	21.77 d	4.09 d	5.72 d
3- Isla 5-15/Robusta ¹	22.45d	4.05 d	5.72 d
4-San Ramón/Robusta ¹	21.75 d	4.04 d	5.72 d
5- Isla 6-14/Robusta ²	35.1 a	6.07 a	7.67 a
6- Isla 6-11/Robusta ²	29.45 b	5.88 ab	7.09 b
7- Isla 5-15/Robusta ²	25.95c	5.80 b	6.100 c
8-San Ramón/Robusta ²	30.15 b	5.88 ab	7.13 b
CV (%)	1.02	0.47	0.3

¹no inoculado, ²inoculado; LR: longitud de la raíz, VR: Volumen de la raíz, MSR: Masa seca de la raíz. CV: coeficiente de variación. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$, $n=20$)

Correlaciones obtenidas entre todas las variables fueron obtenidas y empleadas para construir una red de correlaciones que se muestra en la Fig. 3. Evidenciase que existen fuertes correlaciones positivas (trazos verdes) y negativas (trazos rojos) entre las variables. Se destacan las altas correlaciones positivas (> 0.90) existentes entre AF con la MSR, LR, VR, MSA, AI y NPHI. Se destacan igualmente, las altas correlaciones negativas (> 0.90) existentes entre DP con VR y MSR. Estos resultados evidencian el equilibrio que hay entre el desarrollo de la parte vegetativa y de la raíz de los injertos al caracterizar estas variables (Fig. 3).

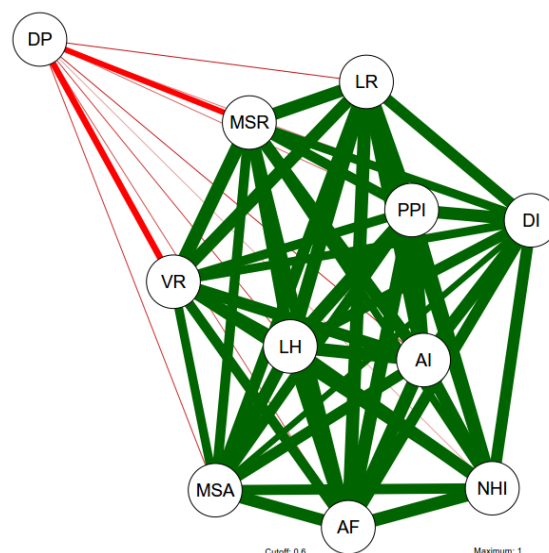


Fig. 3. Rede de correlaciones obtenida al emplear las variables evaluadas durante el experimento en plantas de *C. arabica* injertado sobre *C. canephora* con presencia o no de rizobio. DP: Días al prendimiento, PPI: Porcentaje de prendimiento de injerto, AI: Altura del injerto, DI: Diámetro del tallo del injerto, LR: Longitud de raíz, NPHI: Número de hojas del injerto, VR: Volumen de la raíz, AF: Área foliar, MSR: Masa seca de la raíz, MSF: Masa seca foliar.

Discusión

Los resultados alcanzados en esta investigación muestran el efecto positivo de la inoculación con la cepa *R. alanii* Rpr2 sobre el desarrollo de los pares de injertos obteniéndose las mejores respuestas en el injerto Isla 6-14/Robusta. La cepa Rpr2, previamente ha demostrado ser capaz de suministrar ácido indolacético (AIA) (Hernández & Nápoles, 2019) y es una de las características que mayormente muestran los rizobios influenciando directamente la promoción del crecimiento vegetal (Hernández & Nápoles, 2017). El AIA está involucrado en el crecimiento y desarrollo de las plantas, principalmente en una serie de procesos fisiológicos que incluyen el alargamiento y división celular, diferenciación de tejido, fototropismo, gravitropismo y en respuestas defensivas, destacando un importante rol en la formación del xilema y la raíz (Vega-Celedón et al., 2016), con eso se favorece la sobrevivencia del injerto. De esta forma la estimulación que fue observada para todas las variables en este experimento en el caso de los injertos inoculados con la bacteria en relación con la ausencia de ella (controles) corrobora y evidencia la importancia del uso de estos rizobios en el desarrollo del cultivo del café.

La estrecha relación fisiológica entre las variables analizadas en aquellos tratamientos donde se aplicaron las cepas de rizobios permite inferir que el injerto Isla 6-14/Robusta inoculado presenta un mejor volumen de raíz y con esto le permitió un mejor crecimiento del patrón y del injerto reflejado en las

variables AI; DI; NHI; AF y MSF. La mejora de la arquitectura de raíz es uno de los beneficios en el proceso de establecimiento de las relaciones con rizobacterias y las plantas, donde se encuentra el caso de la bacteria *Rhizobium* como uno de los ejemplos más conocidos de tal beneficio (Stringlis et al., 2018). Aspecto que fue evidenciado por Cisneros-Rojas et al. (2017) con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café.

Variación en el efecto benéfico de la rizobacteria fue obtenido y resulta similar a lo descrito por Julca et al. (2018) al estudiar el comportamiento de *Coffea arabica* L. injertadas sobre *C. canephora* en presencia de nematodos en vivero, evidenciando así, que las respuestas tienen un componente genético que se manifiesta en la variación que se puede obtener al evaluar individuos de una misma especie de plantas.

González et al. (2015) señalan que existe un estímulo en las variables altura, diámetro del tallo, pares de hojas y masa seca del café al ser evaluado a los siete meses, causado por la presencia de *Rhizobium* spp., promoviendo el crecimiento de las posturas como fue observado en este ensayo, y consecuentemente un mayor desarrollo. Observaciones similares fueron publicadas recientemente por Nápoles et al. (2021) al utilizar cepas bacterianas identificadas como rizobios en posturas injertadas café en condiciones de semillero, y obtener una mejora de las posturas obtenidas a través de ese proceso de inoculación.

Cupull et al. (2009) evaluaron la respuesta de la aplicación de *Azotobacter chroococcum* sobre el desarrollo de los injertos hipocotiledonares de café. Ellos emplearon como patrón la variedad Robusta y el injerto fue el genotipo Isla 6-13, sus resultados indican, que la bacteria favoreció morfológicamente a las posturas injertadas, pero sus valores fueron menores que los alcanzados en esta investigación.

De acuerdo con Barbosa et al. (2014) al referirse que la comunicación entre el porta-injerto y la yema (injerto), se ve afectado por factores externos como la presencia de nematodos, los que pueden favorecer o perjudicar el crecimiento del injerto en función de su cantidad y de los injertos usados. Por lo que se puede inferir, que el injerto Isla 6-14/Robusta el más beneficiado con la presencia de rizobio, favoreció la comunicación entre yema y patrón, permitiendo alcanzar mayor altura del injerto, por lo que desarrolló mayor cantidad de hojas permitiéndole captar más luz y así poder aumentar su área fotosintética con el objetivo de sustentar una planta con mayor tamaño.

Conclusiones

La inoculación de los diferentes injertos por medio de la inmersión empleando la cepa *Rhizobium alamii*

Rpr2 favoreció todas las variables estudiadas, con un mayor destaque para el genotipo Isla 6-14 injertado sobre *C. canephora*, como patrón, Robusta.

Contribución de los autores

Sucleidi Nápoles Vinent: Diseño del protocolo de investigación, ejecución de las actividades de investigación, interpretación de los resultados del análisis estadístico y elaboró el borrador del manuscrito.

Livan González Cobas: Evaluación y recopiló los datos obtenidos en la investigación. Responsable de validar y verificar la replicación general del experimento y otros resultados obtenidos en la investigación.

Norlys Roldán Felipe: ejecución de las actividades de investigación y en la toma de datos.

Jorge González Aguilera: redacción, creación y presentación final del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existe conflictos de intereses.

Referencias

- Barbosa, D., Vieira, H., Rodrigues, W., Rodrigues, J., J. C., Filho, D. Barroso, & T., Silva (2014). Efeito da enxertia e do nematoide *Meloidogyne exigua* sobre o crescimento radicular e a produtividade de cafeeiros. *Coffee Science*, 9 (4), 427-434. https://www.researchgate.net/publication/266739332_EFEITO_DA_ENXERTIA_E_DO_NEMATOIDE_Meloidogyne_exigua SOBRE O CRESCIMENTO RADICULAR E A PRODUTIVIDADE DE CAFEIROS
- Bhering, L.L. (2017). Rbio: A Tool for Biometric and Statistical Analysis Using the R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17(2), 187-190. <https://dx.doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>
- Borjas-Ventuea, R., Andía, E., Alarcón-Águila, G., Castro, S., & Julca, A. (2018). Crecimiento y calidad de plántulas de café (*Coffea arabica*) injertadas sobre *Coffea canephora* frente a nematodos en vivero. *Journal of the Selva Andina Biosph*, 6(2), 28-41. https://www.researchgate.net/publication/343168534_Crecimiento_y_calidad_de_plantulas_de_cafe_Coffea_arabica_injertadas_sobre_Coffea_canephora_frente_a_nematodos_en_vivero

- Cantos, G., Pinargote, J., & Palma, R. (2018). Influencia de la fitohormona kinetina en el crecimiento de plántulas de *Coffea arabica* L. injertadas sobre patrón robusta en vivero. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(2), 134-145. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/327>
- Cisneros-Rojas, C. A., Sánchez-de Prager, M., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (1), 149-158. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.22021>
- Córdoba-Rodríguez, D., Vargas-Hernández, J.J., López-Upton, J., & Muñoz-Orozco, A. (2011). Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia*, 45(4), 493-506. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000400008
- Cupull, R., Sánchez E., Ortiz, A., González, C., & Cupull, M. del C. (2009). Incidencia de la aplicación de *Azotobacter chroococcum* sobre el desarrollo de los injertos hipocotiledonares de café. *Centro Agrícola*, 36(1), 11-14. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V36-Numero_1/cag031091651.pdf
- González Vega, M. E., Rosales Jenqui, P., Castilla Valdés, Y., Lacerra Espino, J. Á., & Ferrer Viva, M. (2015). Efecto del Bioenraiz® como estimulante de la germinación y el desarrollo de plántulas de café (*Coffea arabica* L.). *Cultivos Tropicales*, 36(1), 73-79. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000100009
- Hernández Forte, I., & Nápoles García, M. C. (2017). Rizobios residentes en la rizosfera de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar INCA LP-5. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 39-49. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193250540005>
- Hernández, I., & Nápoles, M. C. (2019). Rhizobia Promote Rice (*Oryza sativa* L.) Growth: First Evidence in Cuba. En D. Zúñiga-Dávila, F. González-Andrés & E. Ormeño-Orrillo (eds.). *Microbial Probiotics for Agricultural Systems: Advances in agronomics use* (pp. 155-168). Springer Nature Switzerland AG. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-17597-9_10
- Hernández-Jiménez, A., Pérez-Jiménez, J. M., Bosch-Infante D., & Castro, N. (2015). *Clasificación de Suelos de Cuba*. Ediciones INCA; Instituto de Suelos.
- Julca, O., Andia, A., Estelita C., & Borjas V. (2018). Comportamiento de *Coffea arabica* L. injertadas sobre *Coffea canephora* en presencia de nematodos en vivero. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 267 – 280. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.391>
- Nápoles Vinent, S., Milanés Riquene, S., González Cobas, L., Alarcón Méndez, C. O., Fernández Aguilera, R. de J., & González Aguilera, J. (2021). Rhizobia inoculation favor the growth of *Coffea arabica* L. seedlings grafted in a nursery. *Research, Society and Development*, 10(6), e10110615722. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15722>
- Parray, J. A., Jan, S., Kamili, A. N., Qadri, R. A., Egamberdieva, D., & Ahmad, P. (2016). Current Perspectives on Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(3), 877-902. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9583-4>
- Reyes, F., Escamilla, E., Pérez, E., Almaguer Vargas, G., Curiel, A., & A. Hernández, J.A. (2016). Evaluación de productividad, calidad física y sensorial del grano del café (*Coffea arabica* L.), en cafetos injertados en el CRUO, Huatusco, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, 45-53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75749287006>
- Roberts, J., Long, P., Tieszen, L. & Beadle, L. (1988). Medición de la biomasa vegetal y de la producción primaria neta. En J. Coombs, D.O Hall, S.P Long & J.M. Scurloch (eds.) *Técnicas de Fotosíntesis y Productividad* (pp. 1-16). Colegio de Postgraduados.
- Santos, A., Rocha, R., Fernandes, C., da Silveira, S., Ramalho, A., & Vieira, J. R. (2017). Reaction of *Coffea canephora* clones to the root knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *African Journal of Agricultural Research*, 12(11), 916-922. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1087196/1/ReactionSantos.pdf>
- Soto, F. (1980). Estimación del área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de la hoja. *Cultivos Tropicales*, Año 2(3), 115-128. <https://ediciones.inca.edu.cu/files/anteriores/1980/3/CT02310.pdf>
- Stringlis, I. A., Proietti, S., Hickman, R., Van Verk, M. C., Zamioudis, Ch., & Pieterse, C.M.J. (2018). Root transcriptional dynamics induced by beneficial rhizobacteria and microbial immune elicitors reveal signatures of adaptation to mutualists. *The Plant journal: for cell and molecular biology*, 93(1), 166–180. <https://doi.org/10.1111/tbj.13741>
- Tigua, L. E. (2019). *Efectos de la fitohormona kinetina en el crecimiento de plántulas de la especie arábica injertadas sobre patrón robusta en vivero*. (Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación). Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa - Manabí - Ecuador. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/530>

[00/1805/1/UNESUM-ECU-FORESTAL-2019-13.pdf](#)

- Valarezo Rivera, N.Y., Quevedo Guerrero, J.N., Ajila Gia, L.G., García Batista, R.M., & Chabla Carrillo, J.E. (2021). Evaluación del porcentaje de germinación de cinco cultivares de café (*Coffea arabica* L.) empleando cuatro tratamientos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 68-75. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/446>
- Vega-Celedón, P., Canchignia, H., González, M., & Seeger, M. (2016). Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*, 37(especial), 31-37 <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609>
- Villain, L. D., Toledo, J.C., & Molina, A. (1994). Evaluación de tres nematocidas y la práctica de injerto hipocotiledonar en el control de *Pratylenchus* sp. En *Memoria. IICA-PROMECAFE; ANACAFE* (13 p.). *II Seminario Regional de Nematología en el Cultivo de Café*. [Ponencia] Antigua, Guatemala.
- Vincent, J. M. (1970). *A Manual for the practical study of root-nodule bacteria*. IBP Handbook No. 15, Blackwell Scientific Publishers, Oxford.