



## Beneficios del intercalamiento de canavalia inoculada con hongos micorrízicos y *Rhizobium* en *Coffea canephora*<sup>1</sup>

### Benefits of the inoculated canavalia intercropped with mycorrhizal fungi and *Rhizobium* in *Coffea canephora*

Carlos Alberto Bustamante-González<sup>2</sup>, Yusdel Ferrás-Negrín<sup>3</sup>, Ionel Hernández-Forte<sup>4</sup>, Ramón Rivera-Espinosa<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Recepción: 23 de marzo, 2021. Aceptación: 22 de septiembre, 2021. Este trabajo formó parte de un proyecto de investigación financiado por el Instituto de Investigaciones Agro-Forestales de Cuba.
- <sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente. Cruce de los Baños, Tercer Frente. Santiago de Cuba, Cuba. marlonalejandro2012@gmail.com (autor para la correspondencia; <https://orcid.org/0000-0002-1136-8762>).
- <sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Jibacoa. Rincón Naranja. Manicaragua. Villa Clara, Cuba. yusdel.ferras@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7897-0128>).
- <sup>4</sup> Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba. ionel@inca.edu.cu (<https://orcid.org/0000-0002-5760-816X>); rrivera@inca.edu.cu (<https://orcid.org/0000-0001-6621-7446>).

## Resumen

**Introducción.** La cafcultura requiere de tecnologías que incrementen los rendimientos, la eficiencia del uso de los fertilizantes, promuevan el uso de fuentes locales de nutrientes y aprovechen los beneficios de los microorganismos. **Objetivo.** Establecer la factibilidad del intercalamiento de la canavalia inoculada con rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en cafetos y su relación con la fertilización nitrogenada. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó entre los años 2008 y 2012 en el Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, en Santiago de Cuba, Cuba. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial. Se estudiaron cinco sistemas de fertilización nitrogenada, con y sin intercalamiento de canavalia inoculada en una plantación de cafetos podados y cultivados en suelo Cambisol. Las plantas de canavalia se mantuvieron en las calles del café durante la época lluviosa, en ciclos de crecimiento de 90 a 120 días, corte, arroje y posterior siembra. Las semillas de canavalia se recubrieron con inoculantes micorrízicos y *Rhizobium* y se sembraron a 25 cm x 25 cm en la entrecalle de los cafetos. Se evaluó la biomasa, el crecimiento de la leguminosa, el rendimiento del café y la eficiencia agronómica de la fertilización nitrogenada. **Resultados.** Con la canavalia inoculada con *Rhizobium* y hongos micorrízicos se incorporaron 205,9 kg de N ha<sup>-1</sup> en tres años y se incrementó el rendimiento de los cafetos en 17 % y 16 % en el primer y segundo año, respectivamente. Con el sistema de fertilización N<sub>4</sub> + canavalia se obtuvo un rendimiento promedio anual de 1,69 t ha<sup>-1</sup> de café oro. **Conclusiones.** El intercalamiento de la canavalia con el café incrementó la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Fue efectivo el intercalar la canavalia inoculada con *Rhizobium* y hongos micorrízicos en el manejo de *C. canephora* durante los primeros dos años a partir de la poda baja del café.

**Palabras claves:** biofertilización, nitrógeno, nutrición de las plantas, intercalamiento.



## Abstract

**Introduction.** Coffee growing requires technologies that increase yields, fertilizer use efficiency, promote the use of local sources of nutrients and take advantage of the benefits of microorganisms. **Objective.** To establish the feasibility of the intercropping canavalia inoculated with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi on coffee trees and their relationship with nitrogen fertilization. **Materials and methods.** The study was carried out between 2008 and 2012 at the Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, in Santiago de Cuba, Cuba. A randomized block design with factorial arrangement was applied. Five nitrogen fertilization systems were studied, with and without inoculated canavalia in a pruned coffee plantation cultivated in Cambisol. The canavalia plants were maintained in the coffee tree lanes during the rainy season, in growth cycles of 90 at 120 days, cutting, mulching and subsequent sowing. The canavalia seeds were coated with mycorrhizae and Rhizobium inoculants and sown at 25 cm x 25 cm in the rows of the coffee trees. The biomass, legume growth, coffee yield and agronomic efficiency of nitrogen fertilization were evaluated. **Results.** With the canavalia inoculated with Rhizobium and mycorrhizal fungi, 205.9 kg of N ha<sup>-1</sup> were incorporated in three years and coffee yield increased by 17 % and 16 % in the first and second year, respectively. With the N<sub>4</sub> + canavalia fertilization system, an average annual yield of 1.69 t ha<sup>-1</sup> of gold coffee was obtained. **Conclusions.** The intercropping of canavalia with the coffee tree increased the efficiency of nitrogen fertilization. The intercropping of canavalia inoculated with Rhizobium and mycorrhizae in the management of *C. canephora* during the first two years from the low pruning of the coffee tree.

**Keywords:** biofertilization, plant nutrition, intercropping, nitrogen.

## Introducción

La producción de café *Coffea canephora* var. Robusta en el periodo 2014 al 2019, osciló entre 59 y 70 millones de sacos por año, lo que representó entre el 36 y el 38 % de la producción mundial y se espera que supere los 74 millones de sacos de 60 kg en el siguiente año de mercado (IHS Markit, 2021).

Para Cuba, el café Robusta es de gran importancia, no obstante, las bajas producciones obtenidas hacen necesaria la importación y erogación anual de una cifra considerable de divisas. Esta especie se caracteriza por su rusticidad y tolerancia a las plagas presentes en el país y se planta en las alturas más bajas y calientes de los principales macizos montañosos; ha sustituido en los últimos años en estas condiciones a la especie *Coffea arabica* L.

En los planes de siembra del país, se precisa incrementar las áreas bajo esta especie y la renovación de las existentes, sin embargo, la actual situación mundial de los precios de los insumos y en especial los fertilizantes, hace necesaria la búsqueda de alternativas biológicas que contribuyan a garantizar los requerimientos de nutrientes de las plantaciones. Dentro de estas alternativas se encuentran el uso de especies de abonos verdes, bien sea precedentes y/o intercalados y los inoculantes micorrízicos.

El uso de leguminosas en la agricultura posee numerosas ventajas, entre ellas, es una práctica para el control de la erosión y las plantas invasoras (Pohlan et al., 2008), aumenta la retención de la humedad y la disminución de la temperatura del suelo (Bergo et al., 2006; Partelli et al., 2009), aumenta el aporte de nitrógeno vía fijación biológica y la mejora de la fertilidad del suelo (Castro et al., 2017).

El cultivo de especies leguminosas en los cafetos es una práctica que gana importancia, ya que incrementa la sostenibilidad de los cafetales y disminuye la dependencia de los insumos externos (Cardoso et al., 2018b). En Cuba, el cafeto se cultiva bajo sombra, por ese motivo, el uso de leguminosas que toleren la sombra podría constituir una de esas alternativas a utilizar en el establecimiento de las plantaciones o cuando estas se someten a poda baja.

La *Canavalia ensiformis* (L) D.C. es considerada una de las más apropiadas para intercalarla con los cultivos, debido a que se adapta a las condiciones de sombrero parcial y su rápido crecimiento inicial evita el establecimiento de especies invasivas (Cardoso et al., 2018a). En el país, esta especie sembrada a plena exposición solar puede llegar a producir hasta 6 t ha<sup>-1</sup> de masa seca en 60 a 70 días de cultivo (Martín et al., 2009; Simó et al., 2020), aunque esta productividad debe ser menor bajo sombra. Asimismo, la fijación biológica de nitrógeno (FBN) puede alcanzar hasta el 80 % del acumulado por la planta (Partelli et al., 2011).

El intercalamiento de *C. ensiformis* L. en las plantaciones de cafetos puede incrementar la altura y el número de nudos de los mismos, contribuir a reducir la dosis de fertilizante nitrogenado a aplicar (Cardoso et al., 2018b), incrementar el rendimiento y la fertilidad del suelo (Silva Araujo et al., 2014), y alcanzar mayor rentabilidad de la plantación (Zacarias et al., 2020); además, el uso de compost elaborado a partir de los residuos de la canavalia constituye otra alternativa a la fertilización mineral del café e incrementa los rendimientos (da Silva et al., 2013). No obstante, un manejo o selección inadecuada de la leguminosa intercalada puede disminuir la producción del café (Guimarães et al., 2002).

Los hongos micorrízico arbusculares (HMA) establecen una simbiosis beneficiosa con el 80 % de las especies vegetales (van der Heidjen et al., 2015), entre las que se encuentran el café y la canavalia. Los beneficios de un funcionamiento micorrízico eficiente para las plantas son reconocidos (Rillig et al., 2019) y vinculados a una mayor capacidad de absorción de nutrientes y agua (Barea et al., 2013), así como mejoras en agregados del suelo (Lehmann et al., 2017), cooperación con otros microorganismos (Hodge & Storer, 2015; Palla et al., 2018), entre otros ecoservicios, todo lo cual incrementa la resiliencia del agroecosistema.

La canavalia es una planta micótrufa y en Cuba ha quedado clara la respuesta positiva de esta especie a la inoculación simple o combinada de cepas eficientes HMA y rizobios, con incrementos en biomasa, en las cantidades de N y otros macronutrientes, y en los porcentajes de FBN (Bustamante et al., 2010; Martín Alonso et al., 2017). La canavalia inoculada con micorrizas, resulta una vía efectiva y económica para inocular cultivos en sucesión o intercalados, lo que disminuye las cantidades de fertilizantes nitrogenados e incrementan la eficiencia de estos y controlan la vegetación (Joao et al., 2017; Rivera et al., 2020; Simó et al., 2020), sin embargo, esta estrategia no se ha probado en el café.

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue establecer la factibilidad del intercalamiento de la canavalia inoculada con rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en cafetos y su relación con la fertilización nitrogenada.

## Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en un área de 0,54 ha del Instituto de Investigaciones Agroforestales situada a 150 m.s.n.m. en el municipio Tercer Frente, provincia Santiago de Cuba, Cuba. El área se encuentra localizada a 20 ° 09' latitud N y 76 ° 16' longitud O, a 150 m.s.n.m.

El experimento se inició en enero 2008 con la segunda poda baja de los cafetos en la que se dejaron tres tallos por plantón. Los cafetos (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner variedad Robusta) se plantaron en mayo de 1996 a 3 m x 1,5 m bajo sombra de piñón (*Gliricidia sepium* (Jacq) Kunt ex Walp). En febrero de 2003 se les realizó una poda baja. El mayor rendimiento de ese ciclo productivo fue de 1,88 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de café oro. En el segundo ciclo productivo (2003 – 2007) el mayor rendimiento fue de 2,02 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de café oro.

El suelo es un Cambisol eutrítico (World Reference Base for Soil Resources, 2014) y se caracterizó por una fertilidad adecuada para el cultivo, con valores altos de acidez, contenidos altos de materia orgánica, de fósforo y potasio asimilable producto de las fertilizaciones recibidas, predominio del calcio en el complejo de absorción y contenidos altos de potasio intercambiable (Cuadro 1). El porcentaje de este último catión con respecto a la suma

**Cuadro 1.** Resultados del análisis químico del suelo. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente. Cuba, 2008.

**Table 1.** Soil chemical analysis results. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, Cuba, 2008.

M.O. g kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>
			mg 100 g suelo <sup>-1</sup>			cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	
42,44	5,96	4,58	153,92	101,29	21,0	9,12	0,9

de bases es alto y muestra una situación de equilibrio y una relación Ca / Mg dentro del rango adecuado para el cultivo. El pH es ligeramente superior al rango óptimo planteado para el cultivo en Centroamérica entre 5,0 y 5,5 (Carvajal, 1984), sin embargo, en años con un buen régimen de precipitación (2000 mm), se ha logrado obtener rendimientos promedio satisfactorios de 2 t ha<sup>-1</sup> de café oro en un ciclo productivo (Bustamante et al., 2015), que disminuyeron a 1,3 t ha<sup>-1</sup> café oro cuando las precipitaciones fueron del orden de 1400 a 1600 mm año<sup>-1</sup>, lo que indica que no fueron las características edáficas la principal causa de la disminución de los rendimientos.

En un diseño de bloques al azar con arreglo factorial de 5 x 2 y cuatro repeticiones, se estudiaron los tratamientos resultantes de la combinación de cinco dosis de fertilización nitrogenada y fondos fijos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O en presencia o ausencia de *C. ensiformis* L., variedad Blanca proveniente de la Estación Territorial de Pastos y Forrajes de Las Tunas, Cuba, intercalada e inoculada con cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares y rizobios. Cada parcela estuvo constituida por veintidós plantas de cafetos de las que se evaluaron las cinco centrales. Los diez tratamientos consistieron en:

- N<sub>0</sub> PK (testigo).
- N<sub>1</sub>PK.
- N<sub>2</sub>PK.
- N<sub>3</sub>PK.
- N<sub>4</sub>PK.
- N<sub>0</sub> PK + canavalia inoculada con micorrizas y Rhizobium.
- N<sub>1</sub>PK + canavalia inoculada con micorrizas y Rhizobium.
- N<sub>2</sub>PK + canavalia inoculada con micorrizas y Rhizobium.
- N<sub>3</sub>PK + canavalia inoculada con micorrizas y Rhizobium.
- N<sub>4</sub>PK + canavalia inoculada con micorrizas y Rhizobium.

Los sistemas de fertilización mineral empleados (Cuadro 2) consideraron los altos contenidos de fósforo y potasio disponible en el suelo al finalizar el segundo ciclo productivo del cultivo y, por tanto, se aplicaron cantidades inferiores a las recomendadas por el Instructivo Técnico que son de 50 y 300 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente, para este tipo de suelo (Díaz et al., 2013).

El fraccionamiento de los fertilizantes (en % de la dosis total) se realizó en dos aplicaciones al año. En el periodo abril-mayo se aplicó el 50 % de la dosis anual del N, todo el fósforo y el 60 % de la fertilización potásica, el resto de esos mismos nutrientes se aplicó en octubre - noviembre. Se utilizaron como portadores la urea, el superfosfato triple y el cloruro de potasio.

El promedio de dieciocho años de las condiciones climáticas de la localidad tomados de la estación meteorológica de la entidad, mostró que la temperatura media anual fue de 24,5 °C, la temperatura mínima 15,5 °C, la temperatura máxima 31 °C, la precipitación de 1609 mm en 109 días con lluvia y la humedad relativa de 79,8 %.

**Cuadro 2.** Sistemas de fertilización mineral para *C. canephora* Pierre ex Froehner variedad Robusta. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente. Tercer Frente, Cuba, 2009 - 2012.

**Table 2.** Mineral fertilization systems for *C. canephora* Pierre ex Froehner, Robusta variety. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, Cuba, 2009 - 2012.

N kg ha <sup>-1</sup>	2009	2010	2011 y 2012
N <sub>0</sub>	0	0	0
N <sub>1</sub>	25	50	50
N <sub>2</sub>	50	100	100
N <sub>3</sub>	75	150	150
N <sub>4</sub>	100	200	200
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
P <sub>1</sub>	-	50	50
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
K <sub>1</sub>	-	160	160

Las precipitaciones en Cuba se dividen en dos épocas, el periodo lluvioso de mayo a octubre y el poco lluvioso los meses restantes. Los datos de precipitaciones mensuales y anuales en el periodo experimental en la localidad se presentan en el Cuadro 3. En los cuatro años se encontró un año lluvioso (2010), el 2009 con una precipitación superior al acumulado histórico y dos años con precipitaciones inferiores a la media (86 a 88 %); de forma general, en el periodo lluvioso cae cerca del 70 % de la precipitación anual.

**Cuadro 3.** Distribución porcentual mensual de la lluvia (% del acumulado anual) y acumulado anual (mm), durante el periodo 2008 – 2011. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente. Cuba.

**Table 3.** Monthly percentage distribution of rain (% of annual accumulation) and annual accumulation (mm), during the period 2008 - 2011 Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, Cuba.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
<b>2008</b>	9,9	11,2	10,4	7,9	10,8	7,7	8,3	7,1	6,9	<b>7,9</b>	<b>4,5</b>	<b>7,2</b>	1393,20
<b>2009</b>	<b>0,8</b>	1,2	4,9	6,7	25,8	<b>4,9</b>	<b>8,3</b>	<b>9,6</b>	<b>12,8</b>	<b>17,4</b>	<b>3,7</b>	<b>3,9</b>	1659,50
<b>2010</b>	2,7	1,0	1,0	19,7	<b>4,0</b>	<b>8,6</b>	<b>13,1</b>	<b>2,0</b>	<b>23,2</b>	<b>11,7</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	1981,50
<b>2011</b>	<b>7,3</b>	2,3	0,0	2,7	19,1	26,1	10,5	6,5	12,1	9,6	1,1	2,8	1420,50

En dependencia de la pluviometría de cada año experimental la canavalia se sembró en dos momentos dentro del periodo lluvioso, con excepción del primer año en que la canavalia se sembró en octubre. Las fechas de siembra y corte en cada año fueron 2008 (octubre - enero 2009), 2009 (junio – agosto y septiembre. diciembre) y 2010 (mayo - octubre y octubre - enero 2011). La leguminosa se sembró en la entrecalle de los cafetos a una distancia de 25 cm x 25 cm y se separaron los surcos a 50 cm de las hileras de cafetos (106 656 plantas ha<sup>-1</sup>). Se colocó 1 semilla inoculada con HMA y rizobios por sitio de siembra. Con el crecimiento de las ramas de los cafetos, disminuyó el número de surcos que se sembraron cada año.

El inoculante micorrízico se formuló como sólido con una mezcla de propágulos y con contenido nunca inferior a 20 esporas g<sup>-1</sup>. La cepa utilizada fue *Glomus cubense* INCAM-4 (Rodríguez et al., 2011), cepa eficiente

en estas condiciones de suelo (Bustamante et al., 2010), la cual se suministró por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La inoculación se realizó por el método del recubrimiento de las semillas, con cantidades de inoculantes equivalentes al 10 % del peso de estas.

La cepa de *Rhizobium* utilizada (Can 4) con un título que varió entre  $1,1 \times 10^8$  y  $6,8 \times 10^8$ , se formuló como líquido, la suministró el INCA y se aplicó con el inoculante micorrízico en el recubrimiento de la semilla. Este inoculante se aplicó a razón de  $4 \text{ mL kg}^{-1}$  de semilla, se mezcló con la semilla y luego se espolvoreó el inóculo micorrízico y se homogenizó la distribución de los productos mediante mezclas manuales sucesivas. Las semillas se dejaron orear a la sombra durante dos horas y se sembraron (Rivera et al., 2020).

Al florecer, se cortó la canavalia y los restos se fraccionaron y se incorporaron al suelo alrededor de los troncos de los cafetos.

## Variables evaluadas

### *Canavalia ensiformis* L.

En los diferentes momentos de corte en cada año se estimó la biomasa aérea de la canavalia sembrada en la entrecalle de los cafetos mediante la selección al azar de cinco plantas, las que se dividieron en hojas y tallo. Estos órganos se secaron en estufa a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  por 72 h. Los valores se extrapolaron a una hectárea.

Para estudiar el efecto de la luminosidad, en enero del 2011 (36 meses después de la poda baja de los cafetos y año de menor producción de biomasa) se comparó la biomasa de las plantas que crecían bajo el sombrero del cafetal con la biomasa de las plantas que crecían en un área alejada al experimento, donde la leguminosa estaba expuesta al sol. Se evaluó la altura, el número de hojas y la masa fresca y seca de las plantas de  $1 \text{ m}^2$ .

Se determinó el contenido de N, P y K en las muestras de los diferentes órganos de las plantas como porcentaje de masa seca. El nitrógeno se determinó por digestión húmeda con  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Se}$  y por colorimétrica con el reactivo de Nessler, el P con el método del molibdato de amonio y el potasio por fotometría de llama.

### *Cafetos*

Se midió la altura y el diámetro de la copa de las plantas de café en mayo del 2009 y del 2010. La altura (cm) se determinó desde la superficie del suelo hasta la yema apical de la rama ortotrópica. El diámetro de la copa (cm) se midió en ramas de la parte central de la planta, de manera transversal a la hilera de plantación de los cafetos y se obtuvo midiendo la distancia entre los primeros pares de hojas presentes en las ramas plagiotrópicas opuestas.

Para evaluar el rendimiento de los cafetos se pesó la totalidad de cerezas cosechada en cada parcela experimental, y se extrapolo a una hectárea. Se multiplicó el valor obtenido por el factor de conversión de café cereza a café oro de esta localidad y se obtuvo el rendimiento en toneladas de café oro por hectárea.

Para calcular la eficiencia agronómica se utilizó la fórmula  $E. A. = (Y - Y_0) / F$ , donde Y es rendimiento en el tratamiento con fertilización,  $Y_0$  el rendimiento en el tratamiento sin fertilizante y F la cantidad de nutrientes aplicado (Vanlauwe et al., 2011).

Para el procesamiento estadístico se comprobó la normalidad de los datos por Kolmogorov Smirnov y la homogeneidad de varianza por el test de Levene. Se realizó el análisis de varianza con arreglo factorial para las variables morfológicas y el rendimiento de los cafetos. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias se compararon por la prueba de rango múltiple de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ). Para la comparación de la biomasa de la canavalia al sol y la sombra se utilizó la prueba t de Student.

Los datos del rendimiento acumulado de los cafetos y su relación con las dosis de fertilizantes minerales se ajustaron a diferentes modelos matemáticos y se seleccionó el de mayor coeficiente de determinación.

## Resultados

La producción de biomasa de la canavalia intercalada en los cafetos presentó los mayores valores en los primeros periodos de intercalamiento, del orden de cerca de 2 t ha<sup>-1</sup> en un ciclo de crecimiento de 60 – 90 días y disminuyó en las siembras realizadas en los años 2010 y 2011 (Cuadro 4), durante los cuales fue del orden del 32 y 21 %, respectivamente, de la obtenida en los periodos iniciales y asociado a la disminución del número de plantas intercaladas (56 % de las plantas iniciales) con el crecimiento del café.

Con la canavalia se incorporaron durante el periodo experimental 205,9 kg de N por hectárea, con las mayores cantidades en los primeros dos años y asociado a la mayor producción de biomasa de la canavalia, lo que puede garantizar un crecimiento adecuado de los cafetos (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Biomasa y aporte de nitrógeno por la *C. ensiformis* L. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Cuba, 2008 – 2011.

**Table 4.** Biomass and nitrogen input by *C. ensiformis* L. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, 2008 – 2011.

Año/mes	Masa seca, t ha <sup>-1</sup>	kg N ha <sup>-1</sup>
<b>2008</b> oct- enero 2009	1,92	66,7
<b>2009</b>		
Junio – agosto.	2,07	41,8
Sept. – diciembre	1,46	50,4
<b>2010</b> mayo – octubre	0,64	32,9
<b>2011</b> oct 2010- enero 2011	0,43	14,1
<b>Total</b>	<b>6,52</b>	<b>205,9</b>

Consecuente con la información anterior, en la última fecha de siembra de la canavalia, se encontró una influencia significativa de la sombra sobre el desarrollo de la misma (Cuadro 5). La canavalia intercalada presentó mayor altura que la cultivada al sol, aunque con menor cantidad de hojas y porcentajes aun menores de biomasa en comparación a cuando la planta creció a plena exposición solar.

**Cuadro 5.** Indicadores morfológicos de *C. ensiformis* L a la sombra y al sol. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Cuba, octubre 2010 – enero 2011.

**Table 5.** Morphological indicators of *C. ensiformis* L in the shade and in the sun. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, Cuba, October 2010 – January 2011.

	Altura, cm	Número de hojas	Masa	
			fresca	seca
g m <sup>2</sup>				
Sol	83,33	9,00	82,13	26,15
Sombra	95,67	6,00	22,00	12,57
Relación sombra/sol	1,15	0,67	0,27	0,48
<i>t Student</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	364,0**	44,9*

Los valores de absorción de nutrientes por la canavalia fueron disminuyendo en correspondencia con los periodos de siembra y corte, sin embargo, se encontró que al crecer la canavalia al sol se incrementó en 380 % la absorción de N en comparación con los valores encontrados de su cultivo en los niveles de sombra de la plantación

de café. Estos valores ascendieron a 496 % para el fósforo, 676 % para el potasio, 413 % para el calcio y 504 % para el magnesio (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Absorción de nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) por *C. ensiformis* L al sol y la sombra, kg ha<sup>-1</sup>. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Cuba, 2011.

**Table 6.** Nutrients uptake (kg ha<sup>-1</sup>) by *C. ensiformis* L in the sun and shade, kg ha<sup>-1</sup>. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, Cuba, 2011.

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
Sol	41,87	2,98	27,74	31,46	8,47
Sombra	11,01	0,60	4,10	7,60	1,68
Relación sombra /sol, %	26,29	20,13	14,78	24,16	19,83
<i>t Student</i>	31,4*	7,0**	17,0*	27,59***	11,49**

No se observó efecto significativo de las dosis de nitrógeno, ni de la incorporación del abono verde en la altura y el diámetro de la copa de los cafetos, ni para la interacción de ambos factores, por lo que estos resultados no se presentan.

Se encontró efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en el rendimiento del caféto para los factores en estudio y su interacción (Cuadro 7). La incorporación de la canavalia inoculada (factor A) incrementó el rendimiento del caféto

**Cuadro 7.** Efecto de los tratamientos en el rendimiento (kg ha<sup>-1</sup> de café oro) de *C. canephora* Pierre ex Froehner. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Cuba, 2009-2012.

**Table 7.** Effect of treatments on the *C. canephora* Pierre ex Froehner yield (kg ha<sup>-1</sup> of gold coffee). Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, Cuba, 2009-2012.

	<b>2009 / 10</b>	<b>2010 / 11</b>	<b>2011 / 12</b>	<b>Acumulado</b>
<b>N<sub>0</sub> PK (Testigo)</b>	0,78 cd	0,81 c	0,93 d	2,53 d
<b>N<sub>1</sub> PK</b>	0,98 c	1,04 c	1,62 abc	3,64 bc
<b>N<sub>2</sub> PK</b>	0,69 cd	0,98 c	1,38 abcd	3,05 cd
<b>N<sub>3</sub> PK</b>	0,75 cd	1,00 c	1,81 ab	3,56 bc
<b>N<sub>4</sub> PK.</b>	1,36 b	1,36 b	1,52 abcd	4,24 b
<b>N<sub>0</sub> PK + C.I.</b>	0,67 d	0,79 c	0,89 d	2,37 d
<b>N<sub>1</sub> PK+ CI</b>	0,89 cd	1,01 c	1,09 cd	2,99 cd
<b>N<sub>2</sub> PK+ CI</b>	0,93 cd	1,01 c	1,36 abcd	3,30 c
<b>N<sub>3</sub> PK+ CI</b>	1,26 b	1,76 a	1,20 bcd	4,22 b
<b>N<sub>4</sub> PK+ CI</b>	1,64 a	1,50 ab	1,94 a	5,08 a
<i>E.E. <math>\bar{X} N x Canavalia</math></i>	0,09***	0,12**	0,22**	0,22 ***
<b>Con canavalia</b>	1,08 a	1,21 a	1,29	3,59
<b>Sin canavalia</b>	0,92 b	1,04 b	1,47	3,41
<i>E.E. <math>\bar{X} Canavalia</math></i>	<b>0,04***</b>	<b>0,05*</b>	<b>0,09 ns</b>	<b>0,09 ns</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	0,73 d	0,8 b	0,91 b	2,44 d
<b>N<sub>1</sub></b>	0,97 bc	1,02 b	1,36 a	3,32 c
<b>N<sub>2</sub></b>	0,80 cd	1,00 b	1,37 a	3,18 c
<b>N<sub>3</sub></b>	1,01 b	1,38 a	1,50 a	3,89 b
<b>N<sub>4</sub></b>	1,50 a	1,43 a	1,73 a	4,66 a
<i>E.E. <math>\bar{X} dosis N</math></i>	0,06**	0,08***	0,15*	0,15 ***

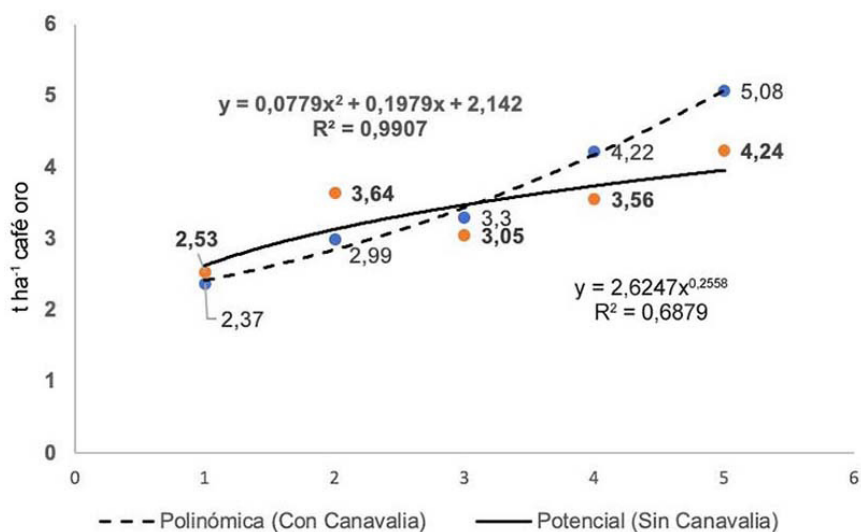
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). / Means with the same letter were not significantly different ( $p < 0,05$ ).

C.I. Canavalia coinoculada con *Rhizobium* y hongos formadores de micorrizas. / C.I. Canavalia coinoculated with *Rhizobium* and mycorrhizal-forming fungi.

en 17 % y 16 % con respecto a su no utilización, para el primer y segundo año, respectivamente, y desapareció su efecto significativo en el tercer año en estudio, lo que pudiera estar relacionado con la disminución de la biomasa de la misma.

Si bien el caféto también respondió positivamente ( $p < 0,05$ ) a la fertilización nitrogenada (Factor B), la dosis óptima dependió del intercalamiento y crecimiento de la canavalia y del nivel productivo del año en cuestión (Cuadro 7). De forma general, el intercalamiento en presencia del nivel  $N_3$  garantizó los mayores rendimientos en el acumulado de las primeras dos cosechas del orden de  $3 \text{ t ha}^{-1}$ , mayores que el tratamiento homólogo sin canavalia ( $N_3$ ) y en uno de los años al que recibió las mayores dosis de fertilizantes ( $N_4$ ). En la última cosecha que fue la de mayores rendimientos, la influencia de la canavalia dejó de ser significativa, no obstante, los mayores rendimientos se obtuvieron en presencia de esta con la aplicación de las mayores dosis ( $N_4$ ), aunque sin diferir ( $p < 0,05$ ) del tratamiento homólogo sin canavalia. Además, en el rendimiento acumulado quedó clara la influencia de la canavalia y los mayores rendimientos se alcanzaron por el intercalamiento de esta en presencia de la dosis superior de fertilizantes, con diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

Para el rendimiento acumulado se encontró un mayor ajuste a la función cuadrática ( $y = 0,0779x^2 + 0,1979x + 2,142$ ) en el caso de los tratamientos con canavalia y a una función exponencial ( $y = 2,6247x^{0,2558}$ ) en el caso de los tratamientos sin la misma (Figura 1). Se observó que para los niveles productivos acumulados hasta  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de caféto (promedio anual de  $1 \text{ t}$  de caféto) fue suficiente el sistema de fertilización mineral  $N_2$ . Niveles productivos superiores necesitan de un suministro adicional de nitrógeno, que en este caso se logró con la incorporación de la canavalia con la aplicación del sistema de fertilización  $N_4$ .



**Figura 1.** Efecto de las dosis de nitrógeno en el rendimiento acumulado de *C. canephora*. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Cuba, 2012.

**Figure 1.** Effect of nitrogen doses on cumulative yield of *C. canephora*. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, Cuba, 2012.

La utilización de la canavalia también incrementó la eficiencia de la fertilización nitrogenada, aunque dependiente del año. En los tratamientos que recibieron las dosis  $N_3$  o  $N_4$ , que fueron de los más productivos, la utilización de la canavalia siempre incrementó la eficiencia agronómica del fertilizante N (Cuadro 8). El incremento

en eficiencia por el uso de la canavalia fue superior en los primeros dos años y disminuyó en la tercera cosecha, lo cual estuvo asociado con la disminución de en la producción de biomasa.

**Cuadro 8.** Eficiencia agronómica (kg de incremento café oro kg N aplicado<sup>-1</sup>) del fertilizante nitrogenado y de la incorporación de la canavalia. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Estación Experimental Agro-Forestal Tercer Frente, Cuba, 2009-2011.

**Table 8.** Agronomic efficiency (increase in kg of gold coffee kg N applied<sup>-1</sup>) of the nitrogenous fertilizer and the incorporation of canavalia. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Tercer Frente Agro-Forestry Experimental Station, Cuba, 2009 - 2011.

		2009	2010	2011	Promedio factor Canavalia
Canavalia inoculada	N <sub>1</sub>	8,80	4,40	4,00	
	N <sub>2</sub>	5,20	2,20	4,70	
	N <sub>3</sub>	7,87	6,47	2,07	
	N <sub>4</sub>	9,70	3,55	5,25	5,35
Sin Canavalia	N <sub>1</sub>	8,00	4,60	13,80	
	N <sub>2</sub>	-1,80	1,70	4,50	
	N <sub>3</sub>	-0,40	1,27	5,87	
	N <sub>4</sub>	5,80	2,75	2,95	4,09
	Canavalia	7,89	4,15	4,00	1,31
	SC	2,90	2,58	6,78	

## Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación sobre la inoculación de canavalia con *Rhizobium* y hongos micorrízicos son los primeros obtenidos en el país en condiciones del cultivo del café en campo, de ahí la importancia de esta práctica agronómica.

La producción de biomasa por la canavalia mostró los mayores valores en los primeros dos años de la renovación del café y con posterioridad esta disminuyó; no obstante, se pusieron a disposición del café 205 kg ha<sup>-1</sup> de N, los cuales con una fijación biológica de nitrógeno de 70 % implicó aportes de 143 kg ha de N, que es equivalente a unos 310 kg de urea. Esta disminución de la biomasa pudo ser consecuencia de la reducción en la población de canavalia sembrada con el desarrollo de la plantación de café, así como también por el incremento del sombrero que originó el crecimiento en altura y el crecimiento de las ramas de café, ya que aunque la canavalia tolera mejor la sombra que otras especies, no significa que no la afecte.

Los resultados de la investigación se obtuvieron en una plantación bajo poda que crece mucho más rápido que cuando la plantación se establece, por tanto, en nuevas plantaciones el periodo de aprovechamiento y aportes de la canavalia debe incrementarse al menos un año más.

En esta investigación, los valores de biomasa se garantizaron con dos siembras en el año, no obstante, la capacidad de rebrote de esta especie permite que con solo una siembra anual de canavalia inoculada y un primer corte entre 60 y 80 días después de la siembra, se logre mantener el suelo cubierto, la producción y la conservación de los propágulos micorrízicos en el agroecosistema (Simó et al., 2017).

Las cantidades de nitrógeno aportado por la canavalia de cerca de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N en los primeros dos años, es una contribución importante para los requerimientos de este cultivo al menos hasta la primera cosecha, toda vez que se recomiendan dosis de fertilizante N de 100 kg ha<sup>-1</sup> para rendimientos esperados de 1,3 t ha<sup>-1</sup> de café oro (Pérez et al., 2010), que son satisfactorios para una primera cosecha.

Los requerimientos anuales de fertilizante mineral estuvieron relacionados con el rendimiento del café, rendimientos altos demandaron mayores niveles de fertilizantes, aunque en los tratamientos con canavalia inoculada disminuyeron los requerimientos de fertilizante nitrogenado, se incrementaron los rendimientos y la eficiencia agronómica del fertilizante nitrogenado aplicado. A partir de estos resultados se propone un sistema de fertilización mineral para plantaciones bajo poda, con el intercalamiento de la canavalia inoculada y el sistema de fertilización N<sub>3</sub> para las primeras dos cosechas y N<sub>4</sub> para la tercera.

El efecto significativo de la canavalia inoculada sobre el rendimiento desapareció en la tercera cosecha, lo cual está en correspondencia con la menor producción de biomasa, aquí puede estar presente además el efecto negativo de las altas disponibilidades de fósforo en el suelo sobre el funcionamiento micorrízico que pudieron limitar uno de los beneficios esperados del intercalamiento de la canavalia inoculada.

Con la canavalia no solo se busca aportar y reciclar nutrientes, mantener la cobertura vegetal sino mantener una micorrización efectiva del café de forma similar a como se ha logrado en banano, yuca, morera y king grass (Rivera et al., 2020). Un funcionamiento micorrízico efectivo del café debe conllevar a disminuir las dosis de fertilizantes.

## Conclusiones

La canavalia inoculada con *Rhizobium* e inoculantes micorrízicos e intercalada en *C. canephora* Pierre ex Froehner, se integró en la tecnología del manejo de esta especie en los primeros dos años a partir de la poda baja del cultivo, aportó cantidades significativas de nitrógeno, incrementó los rendimientos y la eficiencia del fertilizante nitrogenado aplicado.

## Referencias

- Barea, J. M., Pozo, M. J., López-Raéz, J. A., Aroca, R., Ruíz-Lozano, J. M., Ferrol, N., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2013). Arbuscular mycorrhizas and their significance in promoting soil-plant system sustainability against environmental stresses. In M. B. Rodelas, & J. Gonzalez-Lopez (Eds.), *Beneficial plant-microbial interactions ecology and applications* (pp. 353–387). CRC Press.
- Bergo, C. L., Pacheco, E. P., De Mendonça, H. A., & De Souza, J. T. (2006). Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. *Acta Amazonica*, 36(1), 19–24.
- Bustamante, C., Pérez, A., Rivera, R., Martín, G., & Viñals, R. (2015). Influencia de las precipitaciones en el rendimiento de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cultivado en suelos Pardos de la región oriental de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 21–27.
- Bustamante, C., Rivera, R., Pérez, G., & Viñals, R. (2010). Promoción del crecimiento de *Canavalia ensiformis* L. mediante la coinoculación de cepas de rhizobium y hongos formadores de micorrizas en suelo Pardo sin carbonatos. *Café y Cacao*, 9(2), 5–9.
- Cardoso, R. G. S., Pedrosa, A. W., Rodrigues, M. C., Santos, R. H. S., Martinez, H. E. P., & Cecon, P. R. (2018 a). Decomposition and nitrogen mineralization from green manures intercropped with coffee tree. *Coffee Science*, 13(1), 23–32. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i1.1344>
- Cardoso, R. G. S., Pedrosa, A. W., Rodrigues, M. C., Santos, R. H. S., Martinez, H. E. P., & Cecon, P. R. (2018 b). Intercropping period between species of green manures and organically-fertilized coffee plantation. *Coffee Science*, 13(1), 9–22. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1332>

- Carvajal, J. F. (1984). *Cafeto. Cultivo y fertilización*. International Potash Institute.
- Castro, D., Urzúa, J., Rodríguez-Malebran, M., Inostroza-Blancheteau, C., & Ibáñez, C. (2017). Woody leguminous trees: New uses for sustainable development of drylands. *Journal of Sustainable Forestry*, 36(8), 764–786. <http://doi.org/10.1080/10549811.2017.1359098>
- da Silva, V. M., Rabelo, A. F., dos Reis, E. F., & de Sá, E. (2013). Produtividade e estado nutricional do cafeeiro conilon em sistemas de adubação orgânica. *Revista Ciência Agronômica*, 44(4), 773–781.
- Díaz, W., Caro, P., Bustamante, C., Sánchez, C., Rodríguez, M., Vázquez, E., Grave de Peralta, G., Ramajo, J., Ramos, R., Navarro, D., Fernández, I., Martínez, F., Rodríguez, Y., Arañó, L., Yero, A., & Morán, N. (2013). *Instructivo técnico Café Robusta*. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales.
- Guimarães, P. T. G., Nogueira, F. D., Lima, P. D., Guimarães, M. J. C. L., & Pozza, A. A. A. (2002). Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. *Informe Agropecuário*, 23(214/215), 63–81.
- IHS Markit. (2021, 18 de marzo). *Coffee production stays ample in 2019/20*. <https://ihsmarkit.com/research-analysis/world-coffee-production-stays-ample-in-201920.html>
- Hodge, A., & Storer, K. (2015). Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and Soil*, 386, 1-19. <http://doi.org/10.1007/s11104-014-2162-1>
- Joao, J. P., Rivera, R., Martín, G., Riera, M., & Simó J. (2017). Sistema integral de nutrición con HMA, abonos verdes y fertilizantes minerales en Manihot esculenta Crantz. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 117–128.
- Lehmann, A., Leifheit, E. F., & Rillig, M. C. (2017). Mycorrhizas and soil aggregation. In N. Johnson, C. Gehring, & J. Jansa (Eds.), *Mycorrhizal Mediation of Soil. Fertility, Structure, and Carbon Storage* (pp. 241-262). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804312-7.00014-0>
- Martín, G. M., Rivera, R., & Arias, L. (2009). Efecto de *Canavalia ensiformis* y micorrizas arbusculares en el cultivo del maíz. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(2), 191-199.
- Martín Alonso, G. M., Tamayo Aguilar, Y., Hernández, I., Varela Nualles, M., & da Silva Araujo, E. (2017). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo Pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de <sup>15</sup>N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 122–130.
- Palla, M., Battini, F., Cristani, C., Giovanetti, M., Squartini, A., & Agnolucci, M. (2018). Quorum sensing in rhizobia isolated from the spores of the mycorrhizal symbiont *Rhizophagus intraradices*. *Mycorrhiza*, 28, 773–778. <http://doi.org/10.1007/s00572-018-0847-7>
- Partelli, L., Duarte, H., & Ribeiro, F. (2009). Cultivo com plantas de cobertura: alternativa viável. *A lavoura*, 112(671), 42–47.
- Partelli, F. L., Duarte, H., de Brito, E. P., Viana, A. P., Azevedola, J. A., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (2011). Fixação biológica de nitrogênio e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e seus efeitos sobre café Conilon orgânico. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(3), 995–1006. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n3p995>
- Pérez, A., Bustamante, C., Rivera, R., & Viñals, R. (2010). La fertilización nitrogenada de *Coffea canephora* Pierre var. Robusta en función del rendimiento y algunos indicadores químicos y microbiológicos de suelos Cambisoles de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 31(3), 66–74.

- Pohlan, H., Jürgen, A., Marc, J. J., & Giesemann, B. (2008). Impact of canavalia cover crop management in *Coffea arabica* L. on plant-invertebrate associations. *The Open Agriculture Journal*, 2, 84–89. <https://doi.org/10.2174/1874331500802010084>
- Rillig, M. C., Aguilar-Trigueros, C. A., Camenzind, T., Cavagnaro, R. T., Degruno, F., Hohmann, P., Lammel, D. R., Mansour, I., Roy, J., van der Heijden, M. G. A., & Yang, G. (2019). Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis? *New Phytologist*, 222(3), 1171–1175. <https://doi.org/10.1111/nph.15602>
- Rivera, R., Martín, G. M., Simó, J. E., Pentón, G., García-Rubido, M., Ramirez, J., González P. J., Joao, J. P., Ojeda, L., Tamayo, Y., & Bustamante, C. (2020). Benefits of joint management of green manure and mycorrhizal inoculants in crop production. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3), Article 97. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3294/1497>
- Rodríguez, Y., Dalpé, Y., Séguin, S., Fernández, K., & Rivera, R. (2011). *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*, 118, 337–347. <http://doi.org/10.5248/118.337>
- Silva Araujo, J. B., Bastos Rodrigues, L., Cupertino Rodrigues, M., Prieto Martinez, H. E., & Silva Santos, R. H. (2014). Adubação nitrogenada em cafeeiros com biomatéria de feijão de porco. *Coffee Science*, 9(3), 336–346.
- Simó, J., Rivera, R., & Ruíz, L. (2017). *Las micorrizas en la nutrición del banano (Musa spp.)*. Editorial Académica Española.
- Simó, J., Rivera, R., Ruiz, L., & Martín, G. (2020). The integration of AMF inoculants, green manure and organo-mineral fertilization, in banana plantations on calcic haplic Phaeozems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, Article 08. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2882/1367>
- van der Heijden, M., Martin, F. A., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205, 1406–1423. <https://doi.org/10.1111/nph.13288>
- Vanlauwe, B., Kihara, J., Chivenge, P., Pypers, P., Coe, R., & Six, J. (2011). Agronomic use efficiency of N fertilizer in maize-based systems in sub-Saharan Africa within the context of integrated soil fertility management. *Plant Soil*, 339, 35–50. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0462-7>
- World Reference Base for Soil Resources (WRB). (2014). *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Reports no. 106. FAO.
- Zacarias, A. J., Martins, I., Monteiro, E., Pechara, M. E., Passos, O. J., Luiz, W., Bissaco, R., de Araújo, S., Olmo, M., Cunha, F., Gonçalves, J., Sales, R., de Kássia, R., Albuquerque, T. R., Pureza, D., Gomes, A., de Amaral, G., Figueiredo, R., Nogueira, J., & da Silva Sanfim, C., Q. (2020). Custo / benefício da adubação verde do consórcio no café conilon. *Research, Society and Development*, 9(11), 1–22. <http://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9746>