



BIOFERTILIZANTES EN LA SUCESIÓN *Canavalia ensiformis* - *Solanum lycopersicum*: RENDIMIENTO Y CALIDAD EN FRUTOS DE TOMATE

BIOFERTILIZERS IN THE SUCCESSION *Canavalia ensiformis* - *Solanum lycopersicum*: YIELD AND QUALITY IN TOMATO FRUIT

Yonger Tamayo-Aguilar¹, Gloria Martín-Alonso², José Alfredo Herrera-Altuve²,
Arioeldys Cesar-Gainza³, Maikel Abad-Michael⁴, María Caridad Nápoles-García², Ramón Rivera-Espinosa² y Porfirio Juárez-López^{1*}

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuernavaca, Morelos, México. ²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba. ³Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal, Guantánamo, Cuba. ⁴Ministerio de la Agricultura, Delegación Territorial de la Agricultura en Guantánamo, Guantánamo, Cuba.

*Autor de correspondencia (porfirio.juarez@uaem.mx)

RESUMEN

En los últimos años se han reportado resultados positivos al utilizar como abono verde a *Canavalia ensiformis* inoculada con rizobio y hongos micorrícicos arbusculares (HMA); sin embargo, no existe información previa en este sentido en el cultivo de tomate. En los ciclos de verano y otoño de 2019 se realizó, en el municipio San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba, un experimento con el objetivo de evaluar el efecto de *Canavalia* inoculada con rizobio y HMA como cultivo precedente a tomate (*Solanum lycopersicum*) var. HA-33-29, incluyendo dos momentos de trasplante de tomate: 20 y 30 días. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con ocho tratamientos y tres repeticiones. Los inóculos empleados fueron la cepa Can5 de rizobio y *Rhizoglyphus irregularis* de HMA. En *Canavalia* se determinó la biomasa seca aérea y el contenido de macronutrientes al inicio de la floración (70 días después de la siembra); en ese momento se cortó y se incorporó al suelo. En tomate se determinó la frecuencia y la intensidad micorrícica, rendimiento y sus componentes y calidad de los frutos con base en pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de madurez (SST/AT). La inoculación de *Canavalia* con rizobio y HMA generó mayor producción de biomasa (14 %) y contenido de macronutrientes (8-18 %), así como un incremento tanto en rendimiento como en la calidad de los frutos en tomate y mayor funcionamiento micorrícico. Los mayores efectos se encontraron a los 30 días después del trasplante, con un rendimiento de 30.58 t ha⁻¹, que representa un aumento de 58.86 % respecto a la media de la región. *Canavalia* inoculada resultó una vía factible para micorrizar al tomate en sucesión e incrementar su rendimiento y calidad de frutos.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, abonos verdes, micorrizas, postcosecha, rizobio, rotación de cultivos.

SUMMARY

In recent years, positive results have been reported when using *Canavalia ensiformis* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and rhizobia as green manure; however, there is no previous information in this regard on tomato cultivation. In the Summer and Autumn cycles of 2019, an experiment was carried out in the San Antonio del Sur municipality, Guantánamo, Cuba, with the aim of evaluating the effect of *Canavalia* inoculated with rhizobium and AMF, as a preceding crop to tomato (*Solanum lycopersicum*) var. HA-33-29, including two times of tomato transplantation: 20 and 30 days. The experimental design used was a complete randomized block with eight treatments and three replications. The inocula used were the Can5 strain

of rhizobium and *Rhizoglyphus irregularis* of AMF. In *Canavalia* the aerial dry biomass and the content of macronutrient were determined at the beginning of flowering (70 days after sowing); at that moment it was cut off and incorporated into the soil. In tomato, frequency and intensity of mycorrhizal, yield and its components were determined along with fruit quality based on pH, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and maturity index (TSS/TA). The inoculation of *Canavalia* with rhizobium and AMF generated higher biomass production (14 %) and macronutrient content (8-18 %) as well as an increase in both yield and quality of the fruits in tomato, and a greater mycorrhizal functioning. The greatest effects were found when transplantation was carried out at 30 days, with a yield of 30.58 t ha⁻¹, which represents an increase of 58.86 % compared to the average of the region. Inoculated *Canavalia* was a feasible way to mycorrhize the tomato in succession and increase its yield and fruit quality.

Index words: *Solanum lycopersicum*, crop rotation, green manures, mycorrhizae, postharvest, rhizobia.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es actualmente una de las principales hortalizas cultivadas en el mundo, con una tasa de crecimiento anual en superficie cosechada de 1.4 % entre 2007 y 2017; se consume fresco e industrializado. Anualmente se producen más de 150 millones de toneladas de tomate a nivel mundial, de las cuales 25 % se destina a la industria. China es el principal productor con 52.5 millones de toneladas, mientras que EE. UU es el importador mayor y México ocupa el primer lugar en exportación de esta hortaliza (FIRA, 2019).

Para el desarrollo óptimo del cultivo de tomate se recomiendan aplicaciones elevadas de fertilizantes minerales y plaguicidas, que se consideran importantes para aumentar los rendimientos agrícolas (Oke et al., 2005); sin embargo, el uso indiscriminado de estos insumos eleva costos (Reyes et al., 2017). El intenso laboreo del suelo, el uso de monocultivo en los ciclos de

producción como sistema de explotación y la aplicación indiscriminada de fertilizantes minerales, entre otros factores, conllevan a la disminución de los rendimientos (Boudet *et al.*, 2017).

La agricultura sostenible y ecológica promueve la reducción de impactos ambientales negativos y la optimización del uso de fertilizantes inorgánicos (FAO, 2017), además de incrementar el uso de microorganismos benéficos y la actividad biológica del suelo (Davies *et al.*, 2009). Los abonos verdes se han integrado de manera positiva en la producción de hortalizas como fuentes de nitrógeno y como mejoradores de las propiedades del suelo en áreas degradadas, reduciendo las pérdidas de carbono orgánico y nitrógeno atribuidas al uso continuo de hortalizas en la misma área de producción (Costa-Mello *et al.*, 2018).

Canavalia ensiformis es una especie de abono verde que se caracteriza por la rápida descomposición y aportes de nutrimentos que influyen en la nutrición nitrogenada de cultivos (García *et al.*, 2017). Si bien autores como Ríos-Ruíz *et al.* (2019) plantean que el uso de *Canavalia* como abono verde incrementa la micorrización en los cultivos, se han reportados resultados contrastantes a la inoculación directa en cultivos de interés económico en Cuba (Sánchez *et al.*, 2011).

La producción de biomasa de *Canavalia* y su contribución al mejoramiento de las propiedades del suelo se incrementa con la inoculación con rizobios y cepas de HMA, y a través de sus interacciones simbióticas proporcionan beneficios en rendimiento y calidad de las cosechas y favorece la micorrización de los cultivos (Padrón-Rodríguez *et al.*, 2020; Rivera *et al.*, 2020; Simó-González *et al.*, 2020).

Los sistemas alternativos de nutrición basados en los abonos verdes inoculados se consideran favorables para la conservación o ajuste de la fertilidad del suelo, al incrementar la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de *Canavalia* inoculada con rizobio y HMA como abono verde sobre el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en condiciones de campo, en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) 17 de mayo, del polo productivo del Valle de Caujerí (20° 09' 04.7" N, 74° 49' 23.5" O), municipio San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. Previo al establecimiento del

experimento se determinaron las propiedades químicas del suelo, para lo cual se realizó un muestreo aleatorio simple, según la metodología descrita por Bautista *et al.* (2011) y mediante la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). El suelo se clasificó como Pardo Sialítico Mullido Carbonatado, de acuerdo con la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015), tipo correlacionado con los Cambisoles Éutricos (IUSS Working Group WRB, 2015), con un pH de 7.8 ligeramente alcalino y contenido medio de materia orgánica (2.99 %).

Diseño y unidad experimental

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar, con ocho tratamientos (Cuadro 1) y tres repeticiones. Las parcelas fueron de 6.4 m de ancho y 3 m de largo.

Siembra, plantación y aplicación de biofertilizantes en los cultivos

Canavalia se sembró el 5 de julio de 2019, con un marco de plantación de 0.5 m entre surcos y 0.25 m entre plantas. Al inicio de la floración (70 dds) se seleccionaron cuatro plantas por m² de los surcos centrales de cada parcela, a las que se les determinó biomasa aérea y contenido de macronutrimentos. El resto de las plantas de *Canavalia* se cortaron a ras del suelo y se incorporaron, utilizando una grada de discos modelo G-315SU de 620 kg.

El tomate se cultivó en el ciclo otoño-invierno. La variedad utilizada fue HA-33-29 de crecimiento determinado, que se sembró el 7 y 16 de septiembre de 2019 en charolas de 240 cavidades. El trasplante se realizó manualmente con plántulas de 25 días, con altura de 10 a 15 cm, que coincidió con los periodos de 20 y 30 días después de la incorporación de *Canavalia*. La plantación fue de 1.60 m entre surcos y 0.25 m entre plantas; la parcela constó de cuatro surcos. Se realizaron tres riegos por aniego cada 5 días después del trasplante y posteriormente se regó cada 7 días. Los frutos se cosecharon maduros en la etapa seis (LFC, 2021), a los 90, 100 y 110 dds en cinco plantas de los dos surcos centrales de cada parcela.

Inoculantes

Para ambos cultivos se utilizó como inoculante micorrícico la cepa *Rhizoglyphus irregularis* (INCAM-11 DAOM), procedente del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), con 40 esporas g⁻¹ de suelo. El rizobio que se empleó fue la cepa Can5 del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del INCA, en concentración de 1 × 10⁸ UFC mL⁻¹.

Cuadro 1. Tratamientos estudiados en la sucesión *Canavalia* - tomate en suelo Cambisol eútrico. San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba.

Descripción de los tratamientos
Can + Riz + T20: <i>Canavalia</i> con rizobio sin HMA + Tomate sin HMA, a los 20 días (dic)
Can + Riz + THMA20: <i>Canavalia</i> con rizobio sin HMA + Tomate con HMA, a los 20 días (dic)
Can + Riz HMA + T20: <i>Canavalia</i> con rizobio y con HMA + Tomate sin HMA, a los 20 días (dic)
Can + Riz HMA + THMA20: <i>Canavalia</i> con rizobio y con HMA + Tomate con HMA, a los 20 días (dic)
Can + Riz + T30: <i>Canavalia</i> con rizobio sin HMA + Tomate sin HMA, a los 30 días (dic)
Can + Riz + THMA30: <i>Canavalia</i> con rizobio sin HMA + Tomate con HMA, a los 30 días (dic)
Can + Riz HMA + T30: <i>Canavalia</i> con rizobio y con HMA + Tomate sin HMA, a los 30 días (dic)
Can + Riz HMA + THMA30: <i>Canavalia</i> con rizobio y con HMA + Tomate con HMA, a los 30 días (dic)

Riz: inoculación con rizobio Can5, HMA: hongos micorrícicos arbusculares (*Rhizoglyphus irregulare*), DIC: momento de trasplante del tomate después de la incorporación de *Canavalia*.

La coinoculación de *Canavalia* se realizó al momento de la siembra, mediante el recubrimiento de las semillas (Martín *et al.*, 2010). Para este procedimiento se utilizaron 400 mL de rizobio y 8 kg del inoculante micorrícico por cada 100 kg de semilla. Al momento de la siembra las semillas de *Canavalia* se embebieron con rizobio en un recipiente metálico, después se recubrieron con el inoculante micorrícico de forma homogénea y se dejaron ventilar por 30 min a la sombra.

La inoculación micorrícica del tomate se realizó al momento del trasplante, las raíces de las plántulas se sumergieron en una solución de 0.5 kg de inoculante y 800 mL de agua.

VARIABLES EVALUADAS

En *Canavalia* se evaluó la biomasa seca de hojas y tallos. Inicialmente se determinó el peso fresco de ambos órganos (g por planta), se tomaron 100 g y se secaron a 70 °C hasta alcanzar peso constante. A partir del porcentaje de masa seca y masa fresca de cada órgano se estimó la biomasa aérea; posteriormente, se determinó la concentración de macronutrientes; para N se utilizó el método micro-Kjeldahl, mientras que P y K se determinaron mediante un espectroscopio de emisión de plasma acoplado inductivamente ICP-AES 725 Series (Agilent®, California, EUA) (Alcántar y Sandoval, 1999).

La extracción total de nutrientes de N, P y K (kg ha⁻¹) se determinó a partir de los datos de la biomasa de cada órgano y sus correspondientes concentraciones totales (%) de N, P y K por la siguiente fórmula: Extracción de N, P, K (kg ha⁻¹) = [MS órgano (t ha⁻¹) × concentración del elemento en órgano] × 10. La concentración total se determinó con la suma de las extracciones de cada órgano.

En los tres cortes que se realizaron en tomate se evaluó 1) pH, se midió con un medidor portátil (pHep® 5, México) en una muestra compuesta de 10 g de pulpa del fruto homogenizada en una licuadora Osterizer (México) con 50 mL de agua destilada; 2) sólidos solubles totales (SST), con un refractómetro digital (Atago PAL-1®, Saitama Japón); 3) acidez titulable (AT), determinada con la metodología AOAC (1995) y 4) índice de madurez o la relación SST/AT, que se determinó por la división del contenido de SST (°Brix) entre la AT (%) de los frutos.

El rendimiento y sus componentes se evaluaron en las cinco plantas seleccionadas de los surcos centrales de cada parcela. Las variables evaluadas fueron número de frutos por planta, peso promedio de los frutos (g), diámetros polar y ecuatorial de todos los frutos y rendimiento (t ha⁻¹).

Después de la cosecha de tomate se extrajeron las raíces de las plantas seleccionadas por parcela a una profundidad de 15 cm, se lavaron con agua corriente y se secaron al ambiente; posteriormente se evaluó la frecuencia y la intensidad de la colonización micorrícica, en porcentaje; se tomaron 200 g de raíces, que se tiñeron según el método de Phillips y Hayman (1970). Después, se utilizó el método de interceptos (Giovannetti y Mosse, 1980) para la determinación de la frecuencia de colonización micorrícica. La intensidad se determinó según la metodología descrita por Trouvelot *et al.* (1986).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron con análisis de varianza de clasificación doble. Las medias se compararon con la prueba de rango múltiple de Tukey (P ≤ 0.05) cuando existieron diferencias significativas entre los tratamientos, con el programa estadístico Statgraphics Centurión XVI (StatPoint Technologies, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa seca y extracción de nutrimentos en *Canavalia*

La coinoculación de *Canavalia* con rizobio Can5 y HMA incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) la biomasa seca y la extracción de nutrimentos (Cuadro 2) con respecto a la inoculación simple con Can5. En biomasa seca hubo incremento de 14 % y en los nutrimentos el aumento fue entre 8 y 18 %.

La acción benéfica de la simbiosis tripartita HMA-rizobio-leguminosa pudo influir en el desarrollo y crecimiento de *Canavalia*, manifestándose en la producción de biomasa y contenido de nutrimentos (Chalk *et al.*, 2006). Al respecto, se han reportado beneficios al inocular *Canavalia* con rizobio y HMA (García *et al.*, 2017; Martín *et al.*, 2017; Simó *et al.*, 2020; Simó-González *et al.*, 2019).

En trabajos realizados en *Canavalia*, tanto en suelos

Cambisoles (Tamayo-Aguilar *et al.*, 2015) como en suelos Nitisoles y Gleysols petroféricos (Martín *et al.*, 2015) se encontraron incrementos en la producción de biomasa y contenido de nutrimentos con la coinoculación de rizobios y HMA en relación a la inoculación simple de rizobios.

Colonización y densidad visual de HMA en tomate

En la frecuencia e intensidad de la colonización micorrícica hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 3), con incremento en las colonizaciones de *Canavalia* coinoculada y el trasplante de tomate a los 30 días. En presencia de *Canavalia* inoculada con rizobio y HMA, la inoculación al tomate no originó incremento adicional en la colonización; sin embargo, cuando la leguminosa no se inoculó con HMA el tomate incrementó su colonización en ambas fechas de trasplante.

Si bien los valores de frecuencia como intensidad de colonización dependen de las especies vegetales (van der Heidjen *et al.*, 2015) y de la variabilidad intraespecífica

Cuadro 2. Efecto de la inoculación con rizobio Can5 y *Rhizoglopus irregulare* en la biomasa seca y extracción de nutrimentos por *Canavalia* en suelo Cambisol eútrico.

Tratamiento	Biomasa seca (t ha ⁻¹)	Extracción de nutrimentos (kg ha ⁻¹)		
		N	P	K
<i>Canavalia</i> + rizobios	8.47 b	151.02 b	14.0 b	55.74 b
<i>Canavalia</i> + rizobios + HMA	9.71 a	178.49 a	15.17 a	62.67 a
Es χ	0.06*	0.29*	0.01*	0.65*

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). Rizobios: inoculación con Can5, HMA: hongos micorrícicos arbusculares (*Rhizoglopus irregulare*), Es χ : error estándar de la media.

Cuadro 3. Colonización y densidad visual en tomate.

Tratamiento	Colonización (%)	Densidad visual (%)
Can + Riz + T20	33.8 e	2.02 e
Can + Riz + THMA20	45.3 d	3.63 c
Can + Riz HMA + T20	56.85 b	4.62 a
Can + Riz HMA + THMA20	56.45 b	4.38 ab
Can + Riz + T30	46.37 d	2.72 d
Can + Riz + THMA30	50.11 c	3.84 bc
Can + Riz HMA + T30	59.42 a	4.85 a
Can + Riz HMA + THMA30	59.26 a	4.76 a
Es χ	0.54*	0.23*

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). Can + Riz, Can + Riz HMA: *Canavalia* con rizobio - sin y con HMA; T20, THMA20: tomate sin y con HMA a los 20 días del trasplante después de la incorporación de *Canavalia*; T30, THMA30: tomate sin y con HMA a los 30 días del trasplante después de la incorporación de *Canavalia*; Riz: inoculación con rizobio Can5; HMA: hongos micorrícicos arbusculares (*Rhizoglopus irregulare*); Es χ : error estándar de la media.

(Toppo y Maiti, 2017), los valores de frecuencia de colonización entre 60 y 70 % y entre 4 y 6 % de intensidad fúngica se asocian a un funcionamiento micorrícico efectivo en diferentes cultivos (Simó *et al.*, 2020); en este caso, ambos indicadores reflejaron de forma similar las diferencias entre los tratamientos.

El aumento en la micorrización de tomate en presencia de *Canavalia* coinoculada como precedente es explicable con el efecto de permanencia del inoculante aplicado (Rivera *et al.*, 2020), que se manifiesta cuando se siembran o se plantan cultivos sin inocular, posterior a la incorporación al suelo de cultivos inoculados, en un intervalo de tiempo entre la incorporación y la siembra no mayor a 30 días y que se encuentra asociado a las cepas de HMA utilizadas (Rivera *et al.*, 2007).

Calidad en frutos de tomate

Al evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de madurez (SST/AT), se observó que la mejor calidad en frutos de tomate ($P \leq 0.05$) se obtuvo con la coinoculación del cultivo precedente a tomate, sin y con HMA (Cuadro 4).

Lo anterior indica que la calidad de los frutos puede mejorarse con un manejo ecológico de nutrición y la sincronización de la incorporación del abono verde y el trasplante de tomate. Esto concuerda con lo señalado por Bertin y Génard (2018), quienes plantearon que en la obtención de frutos de calidad de tomate intervienen procesos a nivel de planta y fruto, que dependen de las interacciones entre las prácticas culturales, alternativas agroecológicas, factores genéticos y ambientales. Por otro

lado, Beckles (2012) planteó que la producción orgánica de tomate puede mejorar la calidad de frutos, esencialmente los sólidos solubles totales; este autor indicó que la variedad, las prácticas culturales y la etapa de maduración influyen en la calidad del fruto. Los resultados obtenidos en el presente estudio se encuentran próximos a los intervalos normales de calidad para el tomate que señalaron García-Alonso *et al.* (2012) y Terry-Alfonso *et al.* (2018), los cuales son: SST 4.00-5.50 °Brix, pH 4.00-4.40 y AT 0.20-0.40 %; asimismo, la relación SST/AT se encontró entre 10 a 18, que de acuerdo con Li *et al.* (2017) es una adecuada relación SST/AT para muchas variedades de tomate.

Rendimiento y sus componentes

En relación al rendimiento y sus componentes, se obtuvieron valores superiores ($P \leq 0.05$) con el trasplante a los 30 días después de incorporada la leguminosa; sin embargo, no se observó respuesta a la inoculación del tomate (Cuadro 5). El tratamiento con *Canavalia* coinoculada y trasplante de tomate a los 20 días presentó valores superiores comparado con el tratamiento de *Canavalia* inoculada con rizobio, con independencia de que el tomate se inoculara o no. Se obtuvo un incremento de 58.86 % en el rendimiento en comparación al reportado en la región, el cual oscila entre 18 y 20 t ha⁻¹.

Los resultados obtenidos en el rendimiento y micorrización del tomate pueden relacionarse con el número de flores que, a pesar de no haberse cuantificado en esta investigación, se infiere que influyó en la formación y cuajado de los frutos, como se ha reportado por Alvarado *et al.* (2014) y Terry-Alfonso *et al.* (2018) en el cultivo de tomate con inoculación micorrícica.

Cuadro 4. Calidad en frutos de tomate con los diferentes tratamientos aplicados.

Tratamiento	pH	SST (° Brix)	AT (%)	SST/AT
Can + Riz + T20	4.7 c	4.45 c	0.40 d	11.12 c
Can + Riz + THMA20	4.7 c	4.42 c	0.40 d	11.05 c
Can + Riz HMA + T20	5.2 b	5.15 b	0.45 b	11.33 ab
Can + Riz HMA + THMA20	5.3 b	5.15 b	0.45 b	11.44 ab
Can + Riz + T30	4.7 c	4.65 c	0.42 c	11.07 c
Can + Riz + THMA30	4.7 c	4.62 c	0.42 c	11.00 c
Can + Riz HMA + T30	5.6 a	5.42 a	0.47 a	11.53 ab
Can + Riz HMA + THMA30	5.6 a	5.62 a	0.47 a	11.95 a
Es χ	0.049*	0.090*	0.002*	0.216*

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). Can + Riz, Can + Riz HMA: *Canavalia* con rizobio - sin y con HMA; T20, THMA20: tomate sin y con HMA a los 20 días del trasplante después de la incorporación de *Canavalia*; T30, THMA30: tomate sin y con HMA a los 30 días del trasplante después de la incorporación de *Canavalia*; Riz: inoculación con rizobio Can5; HMA: hongos micorrícicos arbusculares (*Rhizoglossus irregulare*); Es χ : error estándar de la media.

Cuadro 5. Rendimiento y sus componentes en el cultivo de tomate.

Tratamiento	Número de frutos por planta	Peso de frutos (g)	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Can + Riz + T20	10.50 f	107.5 f	5.93 e	5.1 f	19.83 f
Can + Riz + THMA20	11.33 e	114.75 e	6.69 d	6.35 e	21.30 e
Can + Riz HMA + T20	14.33 b	127.0 b	7.92 b	8.67 b	28.33 b
Can + Riz HMA + THMA20	14.62 b	126.25 b	7.87 b	8.61 b	28.49 b
Can + Riz + T30	12.50 d	117.5 d	6.78 d	7.12 d	20.70 d
Can + Riz + THMA30	13.62 c	121.25 c	7.34 c	7.60 c	23.19 c
Can + Riz HMA + T30	16.62 a	137.0 a	8.39 a	9.62 a	30.50 a
Can + Riz HMA + THMA30	16.62 a	136.25 a	8.29 a	9.60 a	30.58 a
Es χ	0.12*	0.78*	0.07*	0.06*	0.42*

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). Can + Riz, Can + Riz HMA: *Canavalia* con rizobio sin y con HMA; T20, THMA20: tomate sin y con HMA a los 20 días del trasplante después de la incorporación de *Canavalia*; T30, THMA30: tomate sin y con HMA a los 30 días del trasplante después de la incorporación de *Canavalia*; Riz: inoculación con rizobio Can5; HMA: hongos micorrízicos arbusculares (*Rhizoglyphus irregularis*); Es χ : error estándar de la media.

Por otra parte, se infiere que el incremento en el rendimiento de tomate se debe al aporte y reciclaje de nutrimentos asociado con el abono verde, así como al incremento de la actividad micorrízica en el tomate, que favorece la absorción de los nutrientes. Reportes de Bunn *et al.* (2019) indicaron que las plantas micorrizadas estimulan la velocidad de descomposición de los residuos vegetales a través de la actividad de los microorganismos específicos, y por tanto, es otra vía para mejorar la eficiencia de absorción de los nutrientes en las plantas micorrizadas.

Al respecto, García *et al.* (2017) refirieron que la inoculación micorrízica de *Canavalia* incrementa los propágulos micorrízicos después del corte e incorporación de *Canavalia* y su efecto se refleja en el cultivo sucesivo, lo que coincide con Esquivel-Quispe (2020), que plantea que los procesos microbiológicos que las micorrizas desarrollan en el suelo, en simbiosis con la planta huésped, mejoran el rendimiento y calidad del cultivo sucesor.

CONCLUSIONES

La coinoculación de *Canavalia* con rizobio Can5 y *Rhizoglyphus irregularis* como cultivo precedente tuvo una micorrización efectiva en el cultivo de tomate después de la incorporación de la biomasa vegetal en el suelo después del trasplante, lo que incrementó la calidad y el rendimiento de fruto en más del 50 %.

AGRADECIMIENTOS

A la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) 17

de mayo, perteneciente al Ministerio de Agricultura de Cuba, ubicada en el polo productivo del Valle de Caujerí del municipio San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba, por facilitar las áreas productivas para realizar la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántar G. G. y M. Sandoval V. (1999) Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Publicación Especial Núm. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 155 p.
- Alvarado C. M., A. Díaz F. y M. A. Peña R. (2014) Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:513-518, <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i3.954>
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1995) Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. In: Cunniff P (ed.). Association of Official Analytical Chemists International. Washington, D.C. 382 p.
- Bautista F., J. L. Palacio y H. Delfín (2011) Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales. 2ª edición. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. 770 p.
- Beckles D. M. (2012) Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 63:129-140, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.016>
- Bertin N. and M. J. Génard (2018) Tomato quality as influenced by preharvest factors. *Scientia Horticulturae* 233:264-276, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.056>
- Boudet A., A. T. Boicet F, S. Durán R. y Y. Meriño H. (2017) Efecto sobre el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de diferentes dosis de abono orgánico bocashi en condiciones agroecológicas. *Centro Agrícola* 4:37-42.
- Bunn R. A., D. T. Simpson, L. S. Bullington, Y. Lekberg and J. P. Janos (2019) Revisiting the 'direct mineral cycling' hypothesis: arbuscular mycorrhizal fungi colonize leaf litter, but why? *The ISME Journal* 13:1891-1898, <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0403-2>
- Chalk P. M., R. de F. Souza, S. Urquiaga, B. J. R. Alves and R. M. Boddey (2006) The role of arbuscular mycorrhiza in legume symbiotic performance. *Soil Biology and Biochemistry* 38:2944-2951,

- <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.05.005>
- Costa-Mello S., J. Nimi-Kassoma, G. Quesada-Roldán, A. Dantas-da Silva, M. A. Donegá e C. T. dos Santos-Dias (2018) Abonos verdes en el rendimiento del perejil y la fertilidad del suelo en Piracicaba, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12:183-191, <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.6097>
- Davies B., D. Baulcombe, I. Crute, J. Dunwell, M. Gale, J. Jones, ... and C. Toulmin (2009) Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. RS Policy Document 11/09. The Royal Society, London, UK, http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf (August 2021).
- Esquivel-Quispe R. (2020) Propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos y su influencia en la producción de maíz amiláceo en Paquecc-Ayacucho. Segunda parte: hacia una agricultura sostenible. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 8:53-63, <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080100053>
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2017) The Future of Food and Agriculture. Trends and Challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. 163 p.
- FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2019) Panorama Agroalimentario: Tomate Rojo 2019. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Ciudad de México. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019.pdf> (Agosto 2021).
- García R. M., R. Rivera E., Y. Cruz H., Y. Acosta A. y J. R. Cabrera (2017) Respuesta de *Canavalia ensiformis* (L.) a la inoculación con diferentes cepas de hongo micorrizico arbuscular en un suelo FARL. *Cultivos Tropicales* 38:7-12.
- García-Alonso F. J., V. Jorge-Vidal, G. Ros and M. J. Periago (2012) Effect of consumption of tomato juice enriched with n-3 poly unsaturated fatty acids on the lipid profile, antioxidant biomarker status and cardiovascular disease risk in healthy women. *European Journal of Nutrition* 51:415-424, <https://doi.org/10.1007/s00394-011-0225-0>
- Giovannetti M. and B. Mosse (1980) An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84:489-500, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- Hernández J. A., J. M. Pérez J., D. Bosch I. y N. Castro S. (2015) Clasificación de los Suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Mayabeque. 93 p.
- IUSS Working Group WRB (2015) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2014. Sistema Internacional de Clasificación de Suelos para la Nomenclatura de Suelos y la Creación de Leyendas de Mapas de Suelos. Actualización 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 203 p.
- LFC, Lagorio Family of Companies (2021) Guide to ripening stages. Lagorio Family of Companies. Manteca, California, USA, <http://www.lagorio.com/assets/pdf/lagorio-tomato-guide.pdf> (August 2019).
- Li J., K. Zia, X. Tao, L. Mao, Z. Luo and T. Ying (2017) Effects of exogenous auxin on pigments and primary metabolite profile of postharvest tomato fruit during ripening. *Scientia Horticulturae* 219:90-97, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.011>
- Martín G. M., L. Arias y R. Rivera (2010) Selección de las cepas de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo ferralítico rojo. *Cultivos Tropicales* 31:27-31.
- Martín A. G. M., Y. Tamayo A, I. Hernández F., M. Varela N. y E. S. Araujo (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 ¹⁵N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales* 38:7-15.
- Martín G. M., R. I. Reyes y J. F. Ramírez (2015) Coinoculación de *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. con *Rhizobium* y hongos micorrizicos arbusculares en dos tipos de suelos de Cuba. *Cultivos Tropicales* 36:22-29.
- Oke M., A. Taehyun, S. Andrew and P. Gopinadhan (2005) Effects of phosphorus fertilizer supplementation on processing quality and functional food ingredients in tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:1531-1538, <https://doi.org/10.1021/jf0402476>
- Padrón-Rodríguez L., R. M. Arias-Mota, R. Medel-Ortíz y Y. De la Cruz-Elizondo (2020) Interacción de hongos micorrizicos arbusculares y una cepa fosfato solubilizadora en *Canavalia ensiformis* (Fabaceae). *Botanical Sciences* 98:278-287, <https://doi.org/10.17129/botsoci.2476>
- Phillips J. M. and D. S. Hayman (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55:158-161, [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Reyes P. J. J., R. A. Luna M., M. R. Reyes B., A. J. Yépez R., F. Abasolo P., K. A. Espinosa C., ... y J. A. Torres R. (2017) Uso del humus de lombriz y jacinto de agua sobre el crecimiento y desarrollo del pepino (*Cucumis sativus*, L.). *Biocencia* 19:30-35, <https://doi.org/10.18633/biociencia.v19i2.382>
- Ríos-Ruiz F. W., L. I. Barrios-López, J. C. Rojas-García and R. A. Valdez-Núñez (2019) Mycotrophic capacity and diversity of native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from degraded soils. *Scientia Agropecuaria* 10:99-108, <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.11>
- Rivera R., F. Fernández, K. Fernández, L. Ruiz, C. Sánchez y M. Riera (2007) Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. In: Mycorrhizae in Crop Production. C. Hamel and C. Plenchette (eds.) Haworth Press. Binghamton, New York. pp:151-196.
- Rivera R., G. Martín, J. Simó, G. Pentón, M. Garcia-Rubido, J. Ramírez, ... and C. Bustamante (2020) Benefits of joint management of green manure and mycorrhizal inoculants in crop production. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23:97.
- Sánchez E. C., R. Rivera E., D. Caballero B., R. Cupull S., C. González F. y S. Urquiaga C. (2011) Abonos verdes e inoculación micorrizica de posturas de café sobre suelos ferralíticos rojos lixiviados. *Cultivos Tropicales* 32:11-17.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000) NOM-021-SEMARNAT-2000 Norma oficial mexicana, especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. Edición 7 de diciembre de 2001. México, D. F.
- Simó G. J., R. Rivera E., L. Ruiz M. and G. Martín A. (2020) The integration of AMF inoculants, green manure and organo-mineral fertilization, in banana plantations on Calcic Haplic Phaeozems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23:08.
- Simó-González J. E., R. Rivera-Espinoza, L. Ruiz-Martínez, G. Díaz-Roche and M. Ruiz-Sánchez (2019) Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi inoculated on *Canavalia ensiformis* L. in calcare Histosol soils. *Agronomía Mesoamericana* 30:395-405, <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33221>
- StatPoint Technologies (2010) Statgraphics Centurion [en línea]. (ser. Centurion), versión 16. (XVI), [Windows]. Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, Virginia, USA, <http://www.statgraphics.com/download-statgraphics-centurion-xvi> (Abril 2019)
- Tamayo-Aguilar Y., G. M. Alonso, Y. Corona-Ramírez y F. V. Barraza-Alvarez (2015) Respuesta de la *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. ante la coinoculación de *Rhizobium* y hongos micorrizicos arbusculares. *Hombre Ciencia Tecnología* 19:100-108.
- Terry-Alfonso E., J. Ruiz-Padrón y Y. Carrillo-Sosa (2018) Efecto de diferentes manejos nutricionales sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Mesoamericana* 29:389-401, <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.28889>
- Toppo N. N. and D. Maiti (2017) Capturing plant genetic potential of upland rice for exploiting arbuscular mycorrhiza responsiveness to improve rice variety for higher phosphorus (P) acquisition under P limiting environments. In: Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration. A. Varma, R. Prasad and N. Tuteja (eds.). Springer. Cham, Switzerland. pp:45-73, https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1_3
- Trouvelot A. J. Kough et G. Gianinazzi-Pearson (1986) Mesure du taux de mycorrhization d'un système racinaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae. V.

Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi (eds.). National Institute for Agricultural Research. Paris. pp:217-221.

van der Heijden M. G. A., F. M. Martín, M. A. Selosse and I. R. Sanders (2015)
Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present and the future. *New Phytologist* 205:1406-1423, <https://doi.org/10.1111/nph.13288>