

Artículo original

Efecto de la coinoculación de microorganismos eficientes- HMA en el rendimiento del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Yudines Carrillo-Sosa^{1*} 

Elein Terry-Alfonso¹ 

Josefa Ruiz-Padrón¹ 

Grizel Delgado-Arrieta² 

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

²Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA). Vía Blanca. La Habana. Cuba

*Autor para correspondencia: yudines@inca.edu.cu

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza más ampliamente difundida en todo el mundo. En Cuba, es una de las de mayor producción y puede ser cultivada en todas las provincias del país, su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. Sin embargo, un inadecuado manejo fitotécnico del cultivo impone buscar alternativas que contribuyan a incrementar el desarrollo y rendimiento del mismo. El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de la coinoculación microorganismos eficientes (ME)-hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo del tomate. El experimento se desarrolló en las áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) ubicado en el municipio de San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. Se evaluó la interacción de ME con el inoculante micorrízico certificado de la cepa INCAM-4, especie *Glomus cubense*, donde se estudiaron cuatro tratamientos bajo un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. La coinoculación de HMA y ME estimuló el crecimiento de las posturas en la etapa de semillero entre un 18-32 %, con respecto al control. El estado nutricional de las plantas fue superior, así como el incremento de las variables fúngicas evaluadas en cada una de las etapas fenológicas del cultivo. El rendimiento agrícola del cultivo se duplicó a partir de un mayor número de flores, frutos por planta y porcentaje de fructificación, demostrando la interacción positiva entre ambos bioproductos.

Palabras clave: hortaliza, microorganismos, micorriza, rendimiento

Recibido: 08/12/2020

Aceptado: 18/09/2021

INTRODUCCIÓN

La aplicación y uso de bioproductos en beneficio de la agricultura se expande con mucha fuerza en Cuba ⁽¹⁾. Varias investigaciones obtenidas y aplicadas han abordado la coinoculación de productos microbianos para lograr efectos positivos en los cultivos y formar parte de las alternativas para reducir los insumos externos y garantizar mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes minerales ^(2,3).

Entre las diferentes acciones, se recurre a la utilización en escala creciente de productos biológicos como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), lo cual constituye una alternativa a productores que apuestan por una producción agroecológica. En Cuba, varias investigaciones se dirigen al beneficio que aportan los HMA a la productividad agrícola, contando con gran número de trabajos donde se demuestra la influencia positiva del Ecomic[®] para diferentes cultivos como los pastos, raíces, tubérculos ^(4,5) y hortalizas ^(6,7).

Por otra parte, los Microorganismos Eficientes (ME), desarrollados desde la década de los 70, demuestran que restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, incrementan la producción de los cultivos y su protección, además conservan los recursos naturales, generando una agricultura y medio ambiente más sostenible ⁽⁸⁻¹⁰⁾.

Varios son los resultados que apuntan hacia la efectividad de inoculaciones mixtas con inoculantes micorrízicos ⁽¹¹⁾ y otros bioestimulantes. Sin embargo, los estudios referidos a la coinoculación de HMA y ME, son poco abordados en el cultivo del tomate.

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza de mayor producción nacional con un rendimiento promedio de 12,02 t ha⁻¹. En la mayoría de los países tropicales su rendimiento, se ve afectado por factores bióticos y abióticos que causan una disminución considerable en las cosechas. A esta situación se suma un inadecuado manejo fitotécnico del cultivo, todo lo cual impone buscar alternativas que contribuyan a incrementar el desarrollo y rendimiento del mismo ^(12,13). Este trabajo tuvo como objetivo general, evaluar el efecto de la coinoculación microorganismos eficientes–hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo del tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el período de octubre a diciembre de 2017, en las áreas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), en un suelo Ferralítico Rojo, según la Clasificación de los Suelos de Cuba ⁽¹⁴⁾. Las características químicas de este suelo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características químicas del suelo Ferralítico Rojo lixiviado agrogénico, a la profundidad de 0-20 cm

pH (H ₂ O)	C (g kg ⁻¹)	MO	K ₂ O (mg kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Na ⁺ (cmol (c) g kg ⁻¹)	Ca ²⁺ (cmol (c) g kg ⁻¹)	Mg ²⁺	Ca/M	P (ppm)
7,5	23,0	39,8	201,1	780,8	0,13	16	2,6	6	341

Para evaluar el efecto de la coinoculación de microorganismos eficientes (ME-Lebame®) con los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA-Ecomic®) se seleccionó el cultivar “Mara”, procedente del Programa de Mejoramiento Genético del INCA. Se estudiaron cuatro tratamientos (Tabla 2), distribuidos en un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones, a los que se les aplicó fertilización mineral a la dosis de 1 t ha⁻¹ de NPK (9-13-17).

Tabla 2. Tratamientos estudiados

	Tratamientos	
	Semillero	Trasplante
T1	HMA	HMA
T2	HMA+ME	HMA+ME
T3	ME	ME
T4	Control (sin HMA y ME)	Control (sin HMA y ME)

La superficie experimental de cada tratamiento en semillero fue de 2 m², a los que se le aplicó abono orgánico a razón de 1 kg m² de estiércol vacuno. Los HMA se inocularon mediante la tecnología de recubrimiento de la semilla, utilizando el inóculo certificado de la cepa INCAM-4, especie *Glomus cubense* ⁽¹⁵⁾, el cual contenía 37 esporas g⁻¹. La cual es reproducida en el cepario de micorrizas del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del INCA.

Los ME se aplicaron en forma del producto comercial. Lebame®, obtenido por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) compuesto por una combinación de microorganismos, de los géneros *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato, *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 y *Saccharomyces cerevisiae* L/-25-7-12, con un título de 10⁶ UFC mL⁻¹ ⁽¹⁶⁾. Se aplicó la dosis de 1,5 L ha⁻¹ en forma de aspersión foliar a los 10 días después de la siembra (DDS).

En la etapa de trasplante, las parcelas experimentales contaron con una superficie total de 15 m², en un marco de plantación de 1,20 m x 0,30 m. Las mismas compuestas por cuatro surcos de 3 m de largo donde se trasplantaron 40 plantas de tomate por parcela a los 25 DDS. En esta fase del experimento solo fueron inoculados siete días posteriores al trasplante los ME. La aplicación se realizó de la misma forma descrita luego de realizada la siembra. Se siguió un diseño en Bloques al azar con cuatro tratamientos y tres réplicas. Las atenciones culturales fueron realizadas según lo recomendado por el Manual Técnico del cultivo ⁽¹³⁾.

Las evaluaciones realizadas a 15 plantas por tratamiento tomadas al azar a los 20 días después de germinadas; así como las realizadas en la etapa de floración–fructificación y la cosecha; se muestran a continuación.

- Altura (cm): con regla graduada, se midió desde el cuello de la raíz hasta la axila de la hoja más joven.
- Longitud radical (cm): con regla graduada, se midió la raíz principal del cultivo.
- Número de Hojas: conteo visual
- Masa seca foliar (g): por pesada en balanza analítica con una precisión de ± 0,01 mg y secado en estufa a 70 °C, hasta masa constante.

- No. de flores planta⁻¹: conteo visual
 - No. de frutos planta⁻¹: conteo visual
 - % de fructificación: resultado de la división del número de frutos/planta entre el número de flores/planta, expresado en por ciento
 - Contenido de NPK foliar (%): por digestión ácida (incineración húmeda) con H₂SO₄ + Se, según método Kjeldahl y determinación calorimétrica con reactivo Nessler y azul de molibdeno para N y P, respectivamente, y fotometría de llama para el K ⁽¹⁷⁾. Las muestras fueron tomadas en la etapa de floración, entre el tercero y quinto par de hojas (15 hojas por muestras), adyacentes a la floración.
 - Masa promedio de los frutos (g): resultado de dividir la masa total de los frutos entre la cantidad de frutos de la parcela.
 - Rendimiento Agrícola/superficie (t ha⁻¹).
- Además, las muestras se analizaron en el laboratorio de micorrizas del INCA. Para la estimación de los indicadores de frecuencia de colonización y el índice visual, las raicillas fueron teñidas mediante la técnica de Tinta Parker ⁽¹⁸⁾. Posteriormente, se evaluaron las siguientes variables fúngicas:
- Frecuencia de colonización radical: según el método de los interceptos ⁽¹⁹⁾.
 - Índice visual: por el método de Trouvelot ⁽²⁰⁾.

El procesamiento estadístico de los datos experimentales, se realizó a través de un Análisis de Varianza (ANOVA) de clasificación simple para los datos de semillero y de clasificación doble para los datos obtenidos en la etapa de trasplante. Los datos del porcentaje (%) de colonización micorrízica y de fructificación fueron transformados por la función $\arcsen\sqrt{x}$. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre las medias, estas fueron comparadas mediante la dócima de Duncan para un 5 % de significación. Los análisis se realizaron con el programa Statgraphics Centurión (versión 15.1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto ME y su interacción con HMA sobre variables del crecimiento de las plantas

De manera general se apreció un efecto positivo en todos los tratamientos inoculados (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de la HMA-ME, en el crecimiento de plantas de tomate (*var. Mara*) a los 30 DDG

Tratamientos	Masa seca foliar (g)	No. de hojas	Longitud de la raíz (cm)	Altura (cm)
T1. HMA	1,74 a	6,6 b	13,6 b	17,1 b
T2. HMA+ME	1,80 a	6,8 a	17,6 a	21,8 a
T3. ME	1,73 a	8,2 a	17,3 a	22,4 a
T4. Control (sin HMA y ME)	1,47 b	6,2 b	13,1 b	17,2 b
ESx	0,03*	0,36*	0,3*	0,39*

Medias con letras comunes no difieren significativamente según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$)

Las plantas inoculadas con HMA y el control presentaron resultados estadísticamente similares para la mayoría de las variables estudiadas. Las mismas manifestaron un incremento en masa seca foliar de 19 % con respecto al control, que pudiera estar relacionado con el incremento de otros indicadores no evaluados como el diámetro del tallo y el tamaño de las hojas.

Varios trabajos informan que la micorrización estimula el crecimiento de la biomasa seca. También señalan que la simbiosis HMA-planta es típicamente mutualista, el hongo depende de la planta para la obtención de fotoasimilados y ella recibe a cambio numerosos beneficios que le permite incrementar su rendimiento biológico ⁽⁴⁾. En este sentido, también se plantea que el incremento de la producción de biomasa por incremento del área foliar es importante para caracterizar su productividad, pues refleja el rendimiento del vegetal y puede generar incrementos en la producción ^(21,22). Estudios realizados en este cultivo, manifestaron que la asociación simbiótica de los hongos micorrízicos en las raíces de las plantas, producen diversos cambios y modificaciones a nivel fisiológico, entre los que destacan los incrementos en la actividad fotosintética, por efecto de la mayor capacidad de fijación de CO₂ y, por consiguiente, el incremento de las tasas de crecimiento y biomasa producida ⁽¹⁵⁾.

El efecto de la inoculación simple de ME alcanzó valores para la masa seca, el número de hojas, la longitud de la raíz y la altura de la planta que superan al tratamiento control en 18, 32, 32 y 31 %, respectivamente. Resultados similares fueron obtenidos al evaluar a los 20 DDG, el efecto de diferentes diluciones, momentos y forma de aplicación de ME (Lebame[®]) en este cultivar. La variante de inoculación por aspersión foliar de 5 mL L⁻¹ 10 DDG reportó incrementos en relación al control para las mismas variables de 48; 31,2; 33,9 y 24,5 %, respectivamente, según el orden antes mencionado ⁽²³⁾.

La literatura también muestra otros trabajos que evidenciaron resultados significativos al evaluar el efecto de los ME en otros cultivos de interés económico; aunque con mayores dosis de aplicación. En este estudio aplicaron foliarmente 8, 10, 12 mL L⁻¹ de ME (Lebame[®]) al cultivar de caña de azúcar C87-51 en la fase de aclimatización ex vitro a los 7, 14 y 21 días del trasplante. El mismo no mostró diferencias estadísticas entre las diluciones estudiadas; con 8 mL L⁻¹ alcanzaron parámetros de calidad superiores al control y se redujo el tiempo de aclimatización ⁽¹⁶⁾.

Las plantas coinoculadas manifestaron un comportamiento similar a las inoculadas solo con ME, las mismas no difirieron estadísticamente. En comparación con las inoculadas solo con HMA, fueron estadísticamente superiores para la mayoría de las variables, exceptuando el contenido de masa seca foliar. Este tratamiento también manifestó resultados superiores al control, en 22, 10, 35 y 27 %, respectivamente, según el orden en que aparecen en la Tabla 3.

Otros autores también han evaluado el comportamiento de la aplicación simple y combinada de ME (Lebame[®]) + HMA (*Glomus cubense*) en (*Capsicum annuum* L). Utilizaron las mismas formas de inoculación para ambos productos, aunque aplicaron dosis de 2,5 L ha⁻¹ (10 mL L⁻¹) de ME. En este caso es

importante resaltar que los tratamientos mostraron un comportamiento similar para la variable altura de la planta ^(16,24).

Los tratamientos inoculados manifestaron un comportamiento positivo en relación al control. Alcanzaron, según el Instructivo técnico del cultivo la altura requerida (10-18 cm) para el trasplante antes de los 30 días. Por ello, desde el punto de vista productivo, no solo se estimuló positivamente los indicadores de crecimiento, sino que se logró disminuir los días de establecidas las plantas en el semillero.

Efecto ME y su interacción con HMA sobre el rendimiento agrícola y sus componentes

El incremento en la floración y fructificación manifestado por las plantas inoculadas con HMA y ME, mostraron un comportamiento estadísticamente superior al control, para la mayoría de las variables evaluadas (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto de la coinoculación de HMA y ME, en la floración, fructificación y rendimiento del cultivo del tomate (*var. Mara*)

Tratamientos	Planta		Fructificación %	Parcela	
	Frutos totales	Flores totales		Masa promedio (g)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
T1. HMA	11,8 c	14,73 b	82,83 b	51,05 b	20,06 c
T2. HMA+ME	13,8 a	16,16 a	85,37 a	55,86 a	27,65 a
T3. ME	12,6 b	15,16 b	83,19 b	51,91 b	21,75 b
T4. Control (sin HMA y ME)	9,3 d	11,43 c	80,26 c	41,53 c	12,87 d
ESx	0,1*	0,19*	0,92*	1,5*	0,62*

Medias con letras comunes no difieren significativamente según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$)

Los ME (Lebame), según estudios reportados por el ICIDCA es capaz de producir entre 14 y 18 %, de ácido indolacético (AIA) ⁽¹⁶⁾, lo que pudo estimular el crecimiento del cultivo, a partir de los diferentes mecanismos fisiológicos, que estimulan la producción de flores. Esto trae como consecuencia un aumento en el número de frutos cuajados, sobre todo por la presencia en estos de las giberelinas y algunas fitohormonas capaces de influenciar las fases fisiológicas de la floración y fructificación ⁽²⁵⁾.

El resultado manifestado por algunos de estos indicadores permitió corroborar los resultados alcanzados por otros autores quienes utilizaron microorganismos eficientes en el cultivo del tomate y otras hortalizas, logrando estimular el crecimiento y el rendimiento de las plantas, con diferencias estadísticas significativas con relación a los tratamientos controles ⁽²⁶⁻²⁹⁾.

Al evaluar el comportamiento agroproductivo del cultivo *Zea mays* inoculado con ME, refirió un incremento con respecto al control de algunos componentes del rendimiento como el número de mazorcas por planta, masa de las mazorcas con paja y masa de la mazorca sin paja en 15,8 %, 14,9 % y 29,8 %, respectivamente ⁽³⁰⁾.

Estudios publicados en cultivos hortícolas demostraron el efecto positivo de la aplicación foliar 10 mL L⁻¹ de ME al evaluar algunos componentes del rendimiento en *Brassica oleracea*, *Lactuca sativa* y *Beta vulgaris*, con respecto al control sin bioproducto ⁽²⁴⁾. El rendimiento de *Phaseolus vulgaris* incrementó estadísticamente

en relación al control al estimularse los indicadores morfofisiológicos y productivos del cultivo, con la aplicación de ME y diferentes bioestimulantes ^(31,32).

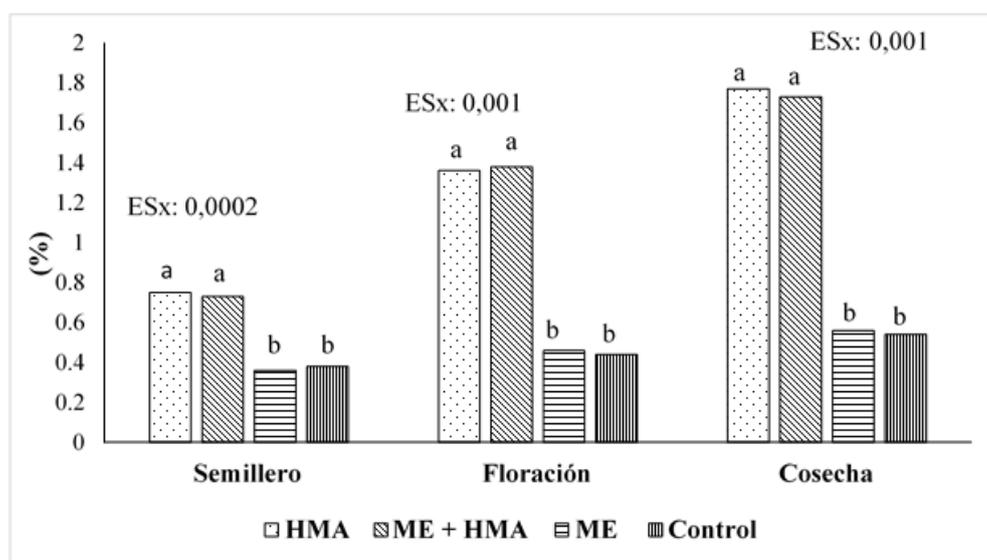
Por otra parte, los hongos micorrízicos arbusculares constituyen una vía alternativa para la nutrición de las plantas, al incrementar su crecimiento, desarrollo y efectos positivos sobre los rendimientos y en especial del tomate ^(4,33). Varios estudios han comprobado la relación directa que existe entre la presencia en la rizósfera de los HMA y los rendimientos de los cultivos. Además de su efectividad, la eficiencia con otros microorganismos y la compatibilidad con otros bioproductos ^(34,35).

Los resultados de la coinoculación de HMA y ME mostraron una interacción positiva entre ambos productos, con valores que superan a las inoculaciones simples y al tratamiento control en cuanto al rendimiento agrícola y sus componentes. Este resultado también supera significativamente la media nacional (12,02 t ha⁻¹) que alcanza el cultivo, según la Oficina Nacional de Estadísticas ⁽¹²⁾.

Otros autores informaron que la aplicación de 10 mL L⁻¹ de ME a los 10 y 20 días después de la germinación (DDG), provocó un estímulo en la producción del (*Capsicum annuum* L.) coinoculado con HMA, a partir de una mayor producción de flores, frutos y peso por planta. Resultados similares fueron obtenidos en este experimento donde las inoculaciones simples de ambos productos (HMA y ME) y la coinoculación (HMA+IM) superaron significativamente el control sin bioproductos ^(16,24).

Frecuencia de colonización e índice visual en las raíces de tomate

En las Figuras 1 y 2 se presenta el análisis de varianza simple del comportamiento fúngico, los porcentajes de la frecuencia de colonización (Figura 1) y el índice visual (Figura 2) evaluados al finalizar la etapa de semillero, en la fase de floración y en el momento de la cosecha.

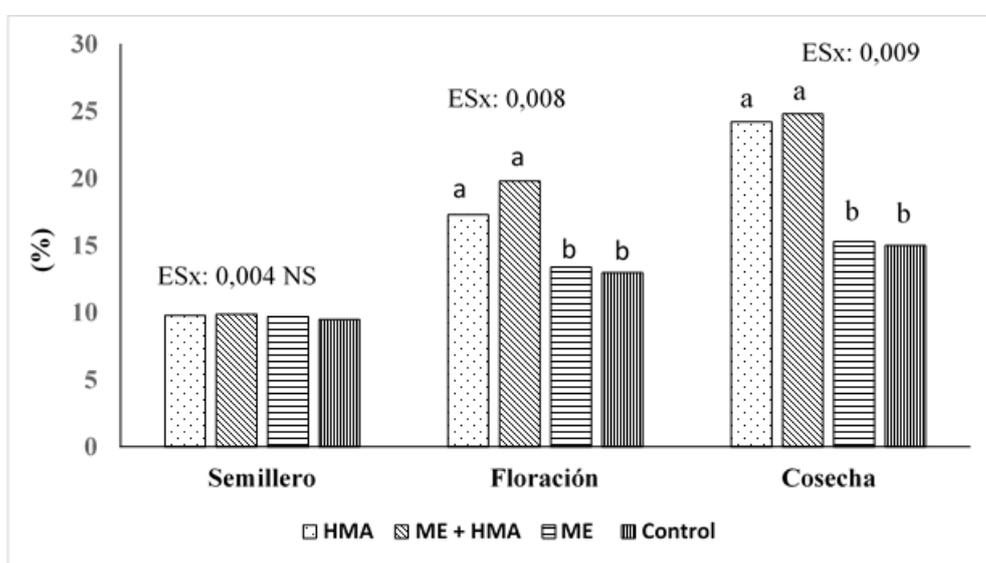


Medias con letras comunes no difieren significativamente según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$)

Figura 1. Comportamiento de la frecuencia de colonización micorrízica al finalizar el semillero, en la fase de floración y en el momento de la cosecha

Se detectó la presencia de estructuras fúngicas sin diferencias estadísticas entre los tratamientos inoculados con HMA en un inicio (30 DDS). Estas fueron incrementando en cada una de las fases fenológicas del cultivo, hasta obtener diferencias significativas a favor de los tratamientos HMA y HMA+ME, los cuales superaron al tratamiento ME y al control.

En el tratamiento coinoculado se alcanzaron valores estadísticamente superiores de frecuencia de colonización a partir de la segunda fase fenológica (floración-fructificación) estudiada (Figura 1), con una diferencia con respecto al control sin inocular de 7 y 8,33 %, respectivamente. De igual forma, la variante donde solo se inoculó con HMA obtuvo resultados superiores con respecto al control, para las variables antes señaladas en 4 y 7,3 %, respectivamente.



Medias con letras comunes no difieren significativamente según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$)

Figura 2. Comportamiento del índice visual al finalizar el semillero, en la fase de floración y en el momento de la cosecha

El índice visual en el tratamiento coinoculado HMA-ME superó al control en los tres momentos evaluados (Figura 2) en 0,49, 1 y 1,26 %, respectivamente. El tratamiento con solo HMA sobrepasó al control sin inocular y al tratamiento con ME en 0,49; 1 y 1,21 %, respectivamente.

Aun cuando, el porcentaje de colonización y el índice visual de las variantes inoculadas con HMA fue significativamente superior, se evidencia actividad micorrízica en los tratamientos donde no se inoculó HMA. Este efecto pudiera estar relacionado con la presencia de los hongos micorrízicos arbusculares residentes en el suelo. Esta situación es común encontrarla en experimentos en condiciones de campo, donde no se esteriliza previamente el sustrato. Algunos autores encontraron efectos positivos con el empleo de un concentrado de cepas nativas (CCN); no obstante, el comportamiento en ocasiones, resulta inferior a los inoculados con cepas efectivas⁽³⁶⁾. También, se ha estudiado el efecto de permanencia del inoculante de cultivos precedentes en condiciones de campo⁽⁴⁾.

Los valores de frecuencia de la colonización radical y de la densidad visual alcanzados pudieron estar relacionado por los altos valores de materia orgánica, fósforo y potasio (Tabla 1) presentes en el suelo donde se desarrolló el experimento. Además, la aplicación de fertilizantes minerales realizada en el momento del trasplante proporcionó una adecuada disponibilidad de nutrientes que reduce el desarrollo de las estructuras micorrízicas, ocasionando un mal funcionamiento o inclusive, la inhibición de la simbiosis en función de la dosis aplicada ⁽³⁷⁾.

Teniendo en cuenta los aspectos planteados anteriormente; los bajas valores de frecuencia de colonización radical y densidad visual, no se pudieron expresar totalmente; sin embargo, las variables estudiadas en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, como el crecimiento de las plantas y el rendimiento corroboran que, aun cuando la micorrización no se expresó en toda su magnitud, tanto la inoculación simple como la coinoculación con ME, superaron al control sin inocular y al ME, evidenciando que no hubo inhibición de la simbiosis micorrízica.

Evaluación del estado nutricional de las plantas de tomate

Las hojas constituyen los tejidos vegetales que mayormente responden a cambios externos e internos en el suministro de los nutrientes, ya que estos juegan un papel significativo en la fisiología de la planta, particularmente en el proceso de fotosíntesis y la síntesis de otros compuestos orgánicos. Por lo tanto, se considera que es el órgano de la planta que desde el punto de vista metabólico refleja mejor el estado nutricional. Es por ello que, al evaluar la condición nutrimental de un cultivo, comúnmente se realiza a partir de las concentraciones de nutrientes en sus tejidos foliares ⁽³⁸⁾.

La acumulación de N, P y K fue mayor en las plantas inoculadas. Las mismas mostraron los valores más altos e incrementos significativos con respecto al control (Tabla 5). Estos resultados son considerados dentro del rango adecuado de nutrientes para el cultivo del tomate ⁽³⁹⁾ y evidencian que todos los tratamientos inoculados, completaron su ciclo biológico sin deficiencias nutricionales.

Tabla 5. Efectividad de la coinoculación de HMA-ME en el estado nutricional de plantas de tomate (*var. Mara*) en la fase de floración- fructificación (75 DDS)

Tratamientos	N	P (g kg ⁻¹)	K
T1. HMA	41,6 c	4,4 c	32,2c
T2. HMA+ME	46,1 a	5,6 a	35,5 a
T3. ME	43,1 b	4,8 b	33,5 b
T4. Control (sin HMA y ME)	40,0 d	4,1 d	30,7 d
ESx	0,024*	0,06*	0,22*
CV	5,5	12,39	5,6

Medias con letras comunes no difieren significativamente según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$)

La interacción de los HMA+ME alcanzó valores superiores con diferencias estadísticas marcadas sobre el resto de los tratamientos. Este estado nutricional de las plantas pudo estar influido positivamente por el efecto aditivo de ambos inóculos, expresando sus bondades en el incremento de los indicadores de crecimiento evaluados, que posteriormente se tradujo en mayor cantidad de flores y frutos, ocasionando a su vez, incremento de los rendimientos agrícola.

El tratamiento inoculado con ME resultó estadísticamente superior al inoculado con HMA y al control. Estas plantas fueron trasplantadas con mayor desarrollo de su sistema radical y el número de hojas, lo que pudo haber influido positivamente en su capacidad de absorción de nutrientes e incrementar su rendimiento biológico en esta fase fenológica.

Los tratamientos alcanzaron concentraciones de N entre 40 y 46,1 g kg⁻¹; valores adecuados, que se encuentran por encima del rango de deficiencia. Los mismos pueden estar asociados con el incremento manifestado por la biofertilización en la formación de órganos vegetativos y el aumento del peso de los frutos. Es importante que el contenido de N sea adecuado para evitar un desequilibrio de K y P, que trae como consecuencia un excesivo desarrollo vegetativo en perjuicio de la fructificación; con la producción de frutos huecos y livianos, con poco jugo, pocas semillas, tallos suculentos y las hojas crecen excesivamente ⁽³⁹⁾.

También se muestran adecuados contenidos de P en el tejido vegetal de todos los tratamientos, evidenciando valores que oscilan entre 4,1 y 5,6 g kg⁻¹. Esta adecuada disponibilidad de fósforo acelera el desarrollo radicular de la planta, mejora la floración, fructificación y desarrollo de los frutos. Asimismo, los porcentajes de K, los cuales varían entre 30,7 y 35,5 g kg⁻¹ pudieron haber jugado un papel importante, en la cantidad de azúcares que acumula el fruto. Al igual que el fósforo, el K ayuda a aumentar la cantidad de materia seca y vitamina C. Este macroelemento es necesario en el tomate para la formación de tallos y frutos, síntesis de carbohidratos, aumento de sustancias sólidas, coloración y brillantez de los frutos ⁽⁴⁰⁾.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran la interacción positiva de la coinoculación entre los hongos micorrízicos arbusculares-microorganismos eficientes, con una acción más acentuada en las fases de floración-fructificación y rendimiento del cultivo, dado por un incremento de los indicadores fúngicos, reflejando, en sentido general, mejor estado nutricional de las plantas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Solís BC. Bioplaguicidas y Biofertilizantes Tendencia de uso en LABIOFAM, Cuba. Cultura Científica y Tecnológica [Internet]. [cited 2021 Dec 18];(66). doi:10.20983/culcyt.2018.3.3
2. Reséndez AM, Mendoza VC, Carrillo JLR, Arroyo JV, Ríos PC. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. Revista Colombiana de Biotecnología [Internet]. 2018;20(1):68–83. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6532360>

3. Ramírez LCC, Lozano LC, Méndez MAG, Rojas SJR, Torres JNR. *Bacillus spp*: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova* [Internet]. 2017;15(27):45–65. Available from: <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/588>
4. Rosales Jenqui PR, González Cañizares PJ, Ramírez Pedroso JF, Arzola Batista J. Selección de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares para el pasto guinea (*Megathyrsus maximus* cv. Likoni). *Cultivos Tropicales* [Internet]. 2017;38(1):24–30. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000100003
5. Espinosa-Cuéllar A, Rivera-Espinosa R, Ruiz-Martínez L, Espinosa-Cuéllar E, Lago-Gato Y. Inoculación micorrízica de cultivos precedentes: vía para micorrizar eficientemente el boniato (*Ipomoea batatas* Lam.). *Cultivos Tropicales* [Internet]. 2018;39(2):51–8. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000200007
6. Noval-Pons BM, León-Díaz O, Martínez-Gallardo NA, Pérez-Ortega E, Délano-Frier JP. Patrón de la actividad de las β -1, 3-glucanasas y quitinasas en la interacción hma-sistemia en tomate. II fase temprana de la simbiosis. *Cultivos Tropicales* [Internet]. 2017;38(3):36–43. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000300005&script=sci_abstract&tlng=pt
7. Pacheco NC, Abreu DMD, Bode OEG. Efecto de tres cepas de hongos micorrizógenos arbusculares+ 50 % de NPK en el rendimiento agrícola del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) municipio Las Tunas. *Tlatemoani: revista académica de investigación* [Internet]. 2018;9(28):286–305. Available from: <https://www.eumed.net/rev/tlatemoani/28/cultivo-tomate-cuba.html>
8. Tanya Morocho M, Leiva-Mora M. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola* [Internet]. 2019;46(2):93–103. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093
9. Calero A, Quintero E, Pérez Y, Olivera D, Peña K, Castro I, et al. Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas* [Internet]. 2019;36(1):67–78. Available from: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/4699>
10. Camacho JA, Pineda DCR, Díaz FY, LLacza MM, Yarasca IM, Molina MAB. Elaboración de un biofertilizante a partir de microorganismos eficientes autóctonos en Perú. In: *Anales Científicos* [Internet]. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2019. p. 515–22. Available from: <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1484>
11. Mujica-Pérez Y, Medina-Carmona A, Rodríguez-Guerra E. Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Cultivos Tropicales* [Internet]. 2017;38(2):15–21. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000200002&script=sci_arttext&tlng=en

12. ONEI. Sector agropecuario, Indicadores seleccionados 2018 [Internet]. Oficina Nacional de Estadística e Información, Sitio en Actualización. [cited 18/12/2021]. Available from: <http://www.onei.gob.cu/node/14273>
13. Consuegra OG, Morales AC, Laterrot H, Anais G. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe [Internet]. IIH Liliana Dimitrova; 2000. Available from: <https://hal.inrae.fr/hal-02840820>
14. Hernández JA, Pérez JJM, Bosch ID, Castro SN. Clasificación de los suelos de Cuba. [Internet]. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 91 p. Available from: <https://isbn.cloud/9789597023777/clasificacion-de-los-suelos-de-cuba-2015/>
15. Rodríguez Y, Dalpé Y, Séguin S, Fernández K, Fernández F, Rivera RA. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. Mycotaxon [Internet]. 2011;118(1):5. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Rodriguez-Yakelin/publication/266142552_Glomus_cubense_sp_nov_an_arbuscular_mycorrhizal_fungus_from_Cuba/links/542720040cf238c6ea7ab7e9/Glomus-cubense-sp-nov-an-arbuscular-mycorrhizal-fungus-from-Cuba.pdf
16. FINAL PROJECT REPORT. Project 79333: I. Final Project Report. Project 79333: Production and Application of Bio-products in Cultures of the Economic Importance [Internet]. 2015. Available from: https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/CUB/00062076_00079333%20FINAL%20REPORT_MARCH%202015.pdf
17. Paneque-Pérez VM. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos [Internet]. Ediciones INCA; 2010. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Manual-de-t%C3%A9cnicas-anal%C3%ADticas-para-an%C3%A1lisis-de-y-Paneque-P%C3%A9rez/a0255840ec7a05b9386483908176c71b884f573c>
18. Rodríguez Yon Jy, Arias Pérez L, Medina Carmona A, Mujica Pérez Y, Medina García LR, Fernández Suárez K, et al. Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrízica. Cultivos Tropicales [Internet]. 2015;36(2):18–21. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000200003
19. Giovannetti M, Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New phytologist [Internet]. 1980;489–500. Available from: <https://www.jstor.org/stable/2432123>
20. Trouvelot A, Kough JL, Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthode d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: Physiological and genetical aspects of mycorrhizae: proceedings of the 1st european symposium on mycorrhizae, Dijon, 1-5 July 1985 [Internet]. 1986. p. 217–21. Available from: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8758731>

21. Wang J, Gao S, Yuan J, Ma F. Simulation of dry matter accumulation, partitioning and yield prediction in processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Australian Journal of Crop Science [Internet]. 2012;6(1):93–100. Available from: <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/INFORMIT.053522135658560>
22. Mujica Pérez Y, Molina Delgado L. Influencia de hongos micorrízicos arbusculares (*Rhizoglyphus intraradices*) y un estimulador del crecimiento vegetal en *Pennisetum purpureum* Sch. cv. Cuba CT-115. Cultivos tropicales [Internet]. 2017;38(1):131–7. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000100017&script=sci_arttext&tlng=pt
23. Carrillo-Sosa Y, Terry-Alfonso E, Ruiz-Padrón J. Efecto de un inóculo microbiano en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Cultivos Tropicales [Internet]. 2020;41(4). Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000400001
24. Terry-Alfonso E, Ruiz-Padrón J, Carrillo-Sosa Y, de Villegas-Díaz MED, Delgado-Arrieta G. Resultados del LEBAME en cultivos hortícolas de interés económico. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar [Internet]. 2016;50(3):9–12. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223152661002.pdf>
25. Vega-Celedón P, Canchignia Martínez H, González M, Seeger M. Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. Cultivos Tropicales [Internet]. 2016;37:33–9. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362016000500005&script=sci_arttext&tlng=en
26. López-Dávila E, Gil-Unday Z, Henderson D, Calero-Hurtado A, Jiménez-Hernández J. Uso de efluente de planta de biogás y microorganismos eficientes como biofertilizantes en plantas de cebolla (*Allium cepa* L., cv. Caribe-71). Cultivos Tropicales [Internet]. 2017;38(4):7–14. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000400005&script=sci_arttext&tlng=en
27. Váscquez RDA, Mossot JEM, Shagñay AGO, Tenorio EM, Utreras VPC, Suquillo ID los ÁV. Evaluación de *Bacillus spp.* como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) en brócoli (*Brassica oleracea* var. italica) y lechuga (*Lactuca sativa*). Ciencia & Tecnología Agropecuaria [Internet]. 2020;21(3):1–16. Available from: <http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/1465>
28. Alarcon Camacho J, Recharte Pineda DC, Yanqui Díaz F, Moreno LLacza SM, Buendía Molina MA. Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Scientia Agropecuaria [Internet]. 2020;11(1):67–73. Available from: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000100067&script=sci_arttext
29. Sarti GC, Cristóbal Miguez AE, Curá AJ. Optimización de las condiciones de cultivo para el desarrollo de una biopelícula bacteriana y su aplicación como biofertilizante en *Solanum lycopersicum* L. var. Río

- grande. Revista de Protección Vegetal [Internet]. 2019;34(2). Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522019000200007&script=sci_arttext&tlng=en
30. Peña K, Rodríguez JC, Olivera D, Fuentes PF, Melendrez JF. Prácticas agrícolas sostenibles que incrementan los rendimientos de diferentes cultivos en Sancti Spíritus, Cuba. Agronomía Costarricense [Internet]. 2016;40(2):117–27. Available from: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242016000200117
31. Quintero Rodríguez E, Calero Hurtado A, Pérez Díaz Y, Enríquez Gómez L. Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. Centro Agrícola [Internet]. 2018;45(3):73–80. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852018000300073
32. Calero-Hurtado A, Quintero-Rodríguez E, Olivera-Viciedo D, Pérez-Díaz Y, Castro-Lizazo I, Jiménez J, et al. Respuesta de dos cultivares de frijol común a la aplicación foliar de microorganismos eficientes. Cultivos Tropicales [Internet]. 2018;39(3):5–10. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362018000300001&script=sci_arttext&tlng=pt
33. Morales-Guevara D, Rodríguez-Larramendi L, Dell'Amico-Rodríguez J, Jerez-Mompie E, Estrada-Prado W. Efecto de dos bioestimulantes y hongos micorrízicos en plantas de tomate sembradas a altas temperaturas. Cultivos Tropicales [Internet]. 2018;39(3):41–8. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362018000300006&script=sci_arttext&tlng=pt
34. Osorio JO. Respuesta productiva del cultivo del boniato (*Ipomoea batata* L.) al empleo de microorganismos eficientes y micorrizas bajo las condiciones edafoclimáticas de la empresa agropecuaria Imías. Ojeando la Agenda [Internet]. 2018;(56):1. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6702329>
35. Hurtado AC, Díaz YP, Rodríguez EQ, Viciedo DO, Calzada KP. Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del fríjol común. Ciencia y Tecnología Agropecuaria [Internet]. 2019;20(2):295–308. Available from: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4499/449960477007/449960477007.pdf>
36. CHAVEZ RMT. Hongos micorrízicos asociados a *Solanum hindsianum*. 2018; Available from: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2067>
37. Sánchez C. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares y abonos verdes en la producción de posturas de café en algunos tipos de suelo [Doctorado]. [Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba]; 2001. 105 p.
38. León-Burgos AF, Cortes GYB, Pérez ALB, Balaguera-López HE. Distribución de fotoasimilados en los órganos vertederos de plantas Solanaceas, caso tomate y papa. Una revisión. Ciencia y Agricultura [Internet]. 2021;18(3):79–97. Available from: [file:///C:/Users/Casa/AppData/Local/Temp/pr2+DistribTOMATEyPAPA+Ciencia&Agronom+18\(3\)F ASE+2.pdf](file:///C:/Users/Casa/AppData/Local/Temp/pr2+DistribTOMATEyPAPA+Ciencia&Agronom+18(3)F ASE+2.pdf)

39. Marschner H. Diagnóstico de deficiencia y toxicidad de nutrientes minerales. 2da. ed. In: Mineral Nutrition of higher plant. Academic Press; 1995.
40. Pérez J, Hurtado G, Aparicio V, Agueta Q, Larín M. Guía Técnica del cultivo de Tomate [Internet]. Ediciones Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal CENTA; 2016. Available from: http://media.admininhouse.com/uploads/www.camagro.com.sv/estructura_3437/Gu%C3%ADa%20t%C3%A9cnica%20de%20tomate%20.pdf