

# LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES Y LAS BACTERIAS RIZOSFÉRICAS COMO ALTERNATIVA A LA NUTRICIÓN MINERAL DEL TOMATE

María I. Hernández<sup>✉</sup> y Marisa Chailloux

**ABSTRACT.** In «Liliana Dimitrova» Horticultural Investigation Institute, an experiment was developed during 1996-2000 with the variety of tomato HC 38-80 sown late in the season. In the seedling phase, a screening was accomplished, with the objective of selecting the most efficient arbuscular mycorrhizal fungi strains and rhizobacteria to the tomato crop, as well as the best combinations. Therefore, plant height, stem diameter, root length and total dry weight were determined. Later on, the effect of biofertilizers selected and mineral fertilization on crop yield, its components and plant nutritional status were evaluated. The greatest values recorded in the seedling phase corresponded to strain inoculation with *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* and *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*. Yield and its components were benefited with the application of optimum fertilizer levels, while the greatest values for the inoculated treatments corresponded to *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* and *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* combined with 50 % N fertilization. The arbuscular mycorrhizae and its inoculation with growth promoting rhizobacteria stimulated nitrogen and phosphorus absorption.

**Key words:** vesicular arbuscular mycorrhizae, rhizobacteria, fertilizer application, tomatoes

**RESUMEN.** El presente estudio se desarrolló en el Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova” durante los años 1996-2000 con la variedad de tomate HC 38-80 sembrada en período tardío. En la fase de semillero se realizó un *screening*, con el objetivo de seleccionar las cepas de micorrizas arbusculares y rizobacterias más eficientes para el cultivo del tomate, así como las mejores combinaciones. Para ello se determinaron la altura de la planta, el diámetro del tallo, la longitud radical y la masa seca total. Posteriormente, se evaluó el efecto de los biofertilizantes seleccionados y la fertilización mineral en el rendimiento del cultivo, sus componentes y el estado nutricional de la planta. El mejor comportamiento en la fase de semillero se obtuvo con la inoculación de las cepas *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*. En la fase de campo se observó que el rendimiento y sus componentes se beneficiaron con la aplicación de niveles óptimos de fertilizantes, mientras que para los tratamientos inoculados los mayores valores correspondieron a *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* combinadas con el 50 % de la fertilización nitrogenada. Los HFMA y su coinoculación con bacterias rizosféricas influyeron de manera positiva en la absorción de nitrógeno y fósforo.

**Palabras clave:** micorrizas arbusculares vesiculares, rizobacterias, aplicación de abonos, tomate

## INTRODUCCIÓN

El tomate representa uno de los componentes más frecuentes de la dieta alimenticia. Basta revisar los anuarios estadísticos para constatar que es mundialmente consumido y apreciado, su empleo está generalizado en el arte culinario por su color, aroma y sabor. Entre los países de América Latina y El Caribe, Cuba se ubica en el lugar 29 en cuanto a rendimiento, en el sexto lugar en superficie cosechada y en el décimo lugar en cuanto a

producción en toneladas métricas. Se destaca además entre los países de Latinoamérica por su consumo per cápita (27 kg/habitante/año), calificado como uno de los mayores consumidores de tomate conjuntamente con México y República Dominicana (1).

A escala mundial la oferta de esta hortaliza aumentó en casi 36 millones de toneladas en poco más de 18 años, la superficie de cultivo se amplió a 760 000 ha en el mismo período de tiempo y el rendimiento experimentó un crecimiento del 29.3 % debido, entre otros factores, a un aumento en el consumo de fertilizantes químicos. Sin embargo, la utilización de fertilizantes minerales constituye la raíz de muchos problemas medioambientales de la agricultura moderna, ya que es una de las principales fuentes alternativas, fórmulas y estrategias para optimizar, e incluso sustituir la utilización de fertilizantes minerales (2).

Ms.C. María I. Hernández, Investigador Agregado de la División de Tecnologías de los Cultivos y Dra.C. Marisa Chailloux, Investigador Titular de la División de Comercialización, Colaboración y Patentes del Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, km 33 ½ Carretera Bejucal-Quivicán, Quivicán, La Habana, CP 33500

✉ mariai@liliana.co.cu

El mundo microbiano ofrece para ello prometedoras alternativas, teniendo en cuenta que en el suelo se encuentran hongos y bacterias con una gran capacidad para promover y mejorar la nutrición de las plantas. La utilización de biofertilizantes basados en estos microorganismos se presenta como una biotecnología "limpia" de gran interés, tanto desde el punto de vista económico como ecológico para la agricultura moderna (3). Las micorrizas arbusculares, asociaciones de algunos hongos con las raíces de muchas plantas con carácter simbiótico y las bacterias denominadas promotoras del crecimiento vegetal son un ejemplo de ello.

El creciente interés en relación con la utilización de los hongos micorrizógenos viene dado, fundamentalmente, porque la simbiosis micorrízica aumenta de forma marcada la absorción de nutrientes como el nitrógeno, potasio, calcio, zinc, magnesio y especialmente el fósforo, mejora el transporte y la absorción del agua en el vegetal y contrarresta el ataque de patógenos por la estimulación de los mecanismos de defensa bioquímica, mientras que los efectos beneficiosos de la inoculación con las bacterias rizosféricas se deben, entre otras, a su habilidad para producir sustancias como antibióticos, vitaminas y hormonas vegetales, y proveer a la planta de elementos tan importantes como el nitrógeno (4).

Actualmente, en el país se dispone de una numerosa información sobre la temática de nutrición y biofertilización del tomate y se ha demostrado la posibilidad de utilizar diferentes microorganismos como alternativas biológicas en su nutrición, contribuyendo de esta forma a una agricultura más respetuosa con el entorno (5, 6, 7). Por todo lo antes señalado, el presente estudio tuvo como objetivo seleccionar las especies de micorrizas, rizobacterias y las combinaciones más promisorias para la producción de plántulas de tomate, así como evaluar los beneficios que proporciona la biofertilización como alternativa nutricional a la fertilización mineral del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplimentar los objetivos propuestos se llevó a efecto el presente estudio durante los años 1996-2000, en áreas del Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", ubicado en el municipio Quivicán, al sur de la provincia La Habana. Se utilizó la variedad de tomate HC 38-80, con adaptación climática a las condiciones del trópico (8).

Los experimentos se desarrollaron en dos fases, semillero y campo, y el cultivo se estableció durante los meses de diciembre a mayo de cada año en un suelo Ferralítico Rojo compactado (Ferrasol) (9) de fertilidad media a alta. En las Tablas I y II aparecen los componentes promedio que caracterizaron la fertilidad del suelo para ambas fases durante el período experimental.

**Tabla I. Características agroquímicas del suelo (fase de semillero)**

MO (%)	PH H <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup>	P (ppm)
2.04	7.5	0.49	8.8	3.9	320
Walkley-Black	Potenciometría		Maslova		Bray-Kurtz

**Tabla II. Características agroquímicas del suelo (fase de campo)**

MO (%)	PH H <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup>	P (ppm)
1.36	7.6	0.37	11	1.0	250
Walkley-Black	Potenciometría		Maslova		Bray-Kurtz

**Fase de semillero.** En esta fase se realizó un *screening*, con el objetivo de seleccionar las cepas de micorrizas arbusculares (HFMA) y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal más eficientes para el cultivo del tomate, así como sus mejores combinaciones mediante la coinoculación HFMA-bacteria. Se emplearon para ello tres especies de HFMA del género *Glomus* (*Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum* y *Glomus clarum*) y cinco rizobacterias (*Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum lipoferum* y *Azotobacter chroococcum*) para un total de 15 combinaciones. Se utilizaron además tres tratamientos sin inocular (0-0-0, 30-0-0 y 30-25-50 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK). Las variantes inoculadas recibieron el 75 % del fertilizante nitrogenado.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con tres réplicas en parcelas de 1.40 m<sup>2</sup> con una densidad aproximada de 350 plántulas/parcela. Los biopreparados fueron suministrados por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) (HFMA y rizobacterias) y el Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT) (*Azotobacter chroococcum*).

Las rizobacterias pertenecientes a los géneros *Burkholderia*, *Pseudomonas* y *Azospirillum* se inocularon en el momento de la siembra, mediante la metodología de recubrimiento de semilla a razón de 100 g de inoculante por kilogramo de semilla y para *Azotobacter chroococcum* se utilizó una dosis de 20 L.ha<sup>-1</sup> aplicada al suelo inmediatamente después de la siembra en solución final de 400 L.ha<sup>-1</sup> (1:20). Para las especies micorrízicas se empleó el método tradicional de inoculación al suelo (1 kg.m<sup>-2</sup>).

Las evaluaciones se efectuaron a los 25 días de sembrado el semillero. Para ello se tomó una muestra al azar de 10 plántulas por parcela para determinar las siguientes variables: altura de las plántulas (cm), diámetro del tallo (mm), longitud radical (cm) y masa seca total (g).

**Fase de campo.** Luego de concluida la fase de semillero se procedió a extraer las plántulas para realizar el trasplante; para ello se escogieron las variantes que mejor se comportaron en la primera etapa y se combinaron con el 50 % de la fertilización nitrogenada (50 kg.ha<sup>-1</sup>), utilizando como dosis base 100 kg.ha<sup>-1</sup> (10). Se incluyeron tres

tratamientos con fertilizante químico (50-0-0, 100-0-0 y 100-25-50 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK). Las plántulas de los tratamientos no inoculados procedieron de la variante 30-25-50 kg.ha<sup>-1</sup>.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. El trasplante se realizó en parcelas de 21 m<sup>2</sup>. Se empleó un marco de plantación de 1.40 x 0.30 m y las labores fitotécnicas se efectuaron según lo normado en la Guía técnica para la producción del tomate (11). El fertilizante nitrogenado se aplicó de forma fraccionada, 1/2 en trasplante y 1/2 a los 30-35 días posteriores, y todo el fósforo y el potasio en el trasplante.

Se efectuaron un promedio de tres a cuatro cosechas por año antes de que concluyera el ciclo vegetativo del cultivo y se realizaron las siguientes evaluaciones: número promedio de frutos por planta, masa promedio de los frutos (g) y rendimiento total (t.ha<sup>-1</sup>) sobre la base de la masa de todos los frutos por parcela.

Se tomaron muestras de la parte aérea de la planta (cuarta hoja del ápice foliar a cinco plantas por tratamiento) a los 45 días del trasplante (período de floración-fructificación), para determinar los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo y potasio.

Al final de la fase de campo se tomó una muestra de raicillas (200 mg de raíces a cinco plantas/parcela). Las raíces fueron clarificadas y teñidas (12) para determinar

posteriormente el porcentaje de colonización micorrízica, el porcentaje de densidad visual y la masa del endófito arbuscular (13), cuantificando en 100 segmentos de raíces el grado de colonización.

Para el procesamiento estadístico de la información se aplicaron Análisis de Varianza de Clasificación Doble para el conjunto de los resultados. Las medias se compararon mediante la prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5 % de probabilidad, en los casos que fue necesario. Se aplicó el Análisis de *Cluster* a los valores medios de todas las variables evaluadas en la fase de semillero y campo, utilizando el coeficiente de distancia y el método de ligamento no ponderado. Se realizaron correlaciones simples entre las variables micorrízicas y el rendimiento (polinomio de segundo grado). Los datos porcentuales se transformaron mediante el arcosen  $\sqrt{x}$  y las variables continuas mediante la  $\sqrt{x}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Efecto de la fertilización mineral y la biofertilización en la fase de semillero.* En la Tabla III aparecen los valores correspondientes a la altura de las plántulas, diámetro del tallo, longitud radical y masa seca total. Para estas variables se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados.

**Tabla III. Efecto de los tratamientos en el crecimiento en plántulas de tomate**

Tratamientos*	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Longitud radical (cm)	Masa seca total (g)
T1. 0-0-0	14.08 kl	2.41 h	7.02 a	2.13 ghijk
T2. 30-0-0 kg.ha <sup>-1</sup>	17.06 cd	3.23 bcd	6.57 abcde	2.60 ef
T3. 30-25-50 kg.ha <sup>-1</sup>	18.12 bcd	3.44 ab	5.69 g	2.85 de
T4. <i>Glomus mosseae</i>	20.26 a	3.87 a	6.78 abc	3.95 a
T5. <i>Glomus clarum</i>	16.28 efgh	3.02 cdefg	6.25 bcdefg	2.19 gh
T6. <i>Glomus fasciculatum</i>	19.83 a	3.88 a	6.87 ab	3.50 b
T7. <i>Burkholderia cepacia</i>	14.98 ghijkl	2.79 defgh	6.51 abcde	2.32 fghi
T8. <i>Pseudomonas fluorescens</i>	16.38 efg	2.65 gh	6.33 bcdefg	2.38 fgh
T9. <i>Azospirillum lipoferum</i>	16.28 efgh	2.94 cdefg	6.10 cdefg	2.38 fgh
T10. <i>Azospirillum brasilense</i>	17.79 cd	3.25 bc	6.62 abcde	3.21 bc
T11. <i>Azotobacter chroococcum</i>	16.78 def	3.18 bcde	6.68abcd	3.23 bc
T12. <i>G. mosseae</i> + <i>B. cepacia</i>	15.01 ghijkl	2.76 efg	5.81 fg	2.45 fg
T13. <i>G. mosseae</i> + <i>P. fluorescens</i>	18.34 bc	3.14 bcdef	6.09 defg	3.56 b
T14. <i>G. mosseae</i> + <i>A. lipoferum</i>	14.83 hijkl	2.45 h	6.42 abcdef	2.46 fg
T15. <i>G. mosseae</i> + <i>A. brasilense</i>	19.25 ab	3.50 ab	6.30 bcdefg	3.48 b
T16. <i>G. mosseae</i> + <i>Az. chroococcum</i>	16.02 efghi	2.73 efg	6.14 cdefg	2.31 fghi
T17. <i>G. clarum</i> + <i>B. cepacia</i>	14.93 ghijkl	2.99 cdefg	6.54 abcde	2.30 fghij
T18. <i>G. clarum</i> + <i>P. fluorescens</i>	15.64 efghij	2.93 cdefg	6.60 abcde	2.15 ghijk
T19. <i>G. clarum</i> + <i>A. lipoferum</i>	14.28 jkl	2.84 cdefgh	6.28 bcdefg	2.28 fghij
T20. <i>G. clarum</i> + <i>A. brasilense</i>	14.68 ijkl	2.79 efg	5.96 efg	1.85 k
T21. <i>G. clarum</i> + <i>Az. chroococcum</i>	15.30 ghijk	2.77 efg	6.04 defg	1.92 jk
T22. <i>G. fasciculatum</i> + <i>B. cepacia</i>	15.29 ghijk	2.72 fgh	6.12 cdefg	1.98 ijk
T23. <i>G. fasciculatum</i> + <i>P. fluorescens</i>	13.54 l	2.59 gh	6.15 cdefg	2.01 hijk
T24. <i>G. fasciculatum</i> + <i>A. lipoferum</i>	15.16 ghijk	2.66 gh	6.08 defg	2.17 ghijk
T25. <i>G. fasciculatum</i> + <i>A. brasilense</i>	14.52 ijkl	2.63 gh	6.23 bcdefg	2.16 ghijk
T26. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Az. chroococcum</i>	15.50 fghijk	2.80 defgh	6.31 bcdefg	2.14 ghijk
Es <sub>x</sub>	0.451***	0.133***	0.198***	0.114***
CV (%)	13.55	10.97	7.67	11.07

\* Los tratamientos inoculados recibieron el 75 % del nitrógeno aplicado en las variantes 2 y 3

Para la altura de las plantas se observó que la aplicación de fertilizantes (T2 y T3) logró valores superiores a los obtenidos en el tratamiento sin fertilizar (T1), mientras que la biofertilización con las especies *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* produjo en el cultivo respuestas superiores a las obtenidas en las variantes testigos. La inoculación con *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* y las coinoculaciones con *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* mostraron alturas similares a la de las plántulas que recibieron solamente la fertilización mineral. El diámetro del tallo se comportó de forma similar a la altura.

La mayor longitud radical se obtuvo en el tratamiento 0-0-0, debido posiblemente a que la planta, al no tener suficientes elementos disponibles, estuvo obligada a desarrollar un sistema radical más profundo, para explorar una mayor área de suelo que le permitiera satisfacer sus necesidades nutritivas. Para el resto de las variantes las diferencias no fueron tan marcadas y de forma general las longitudes radicales fueron similares entre los tratamientos estudiados.

La producción de masa seca total se vio favorecida con la aplicación de fertilizantes químicos (T2 y T3), con incrementos de 22.06 y 33.8 % respectivamente en relación con T1, mientras que las plántulas inoculadas con *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* mostraron aumentos de masa seca total entre 12.60 y 51.9 %, al ser comparadas con las variantes testigos.

Al analizar el efecto de los HFMA en las variables evaluadas, se observó que para la especie *Glomus clarum* los beneficios no fueron tan marcados, al compararse con las cepas *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum*. Esto pudo deberse a la etapa parasítica que atraviesa la simbiosis, en la cual no hay intercambio de metabolitos hacia la planta, se produce el drenaje de carbono hacia el hongo y ocurre una disminución en la velocidad de crecimiento del hospedero (14), por lo que al parecer, la especie *Glomus clarum* en estas condiciones necesita más tiempo para establecerse en la raíz y comenzar el proceso simbiótico.

Los resultados positivos de la inoculación con *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* en la calidad de las plántulas de tomate en fase semillero se deben a que estos hongos son capaces de modificar la arquitectura del sistema radical a través del desarrollo de las hifas en el suelo. De esta forma, transfieren hacia la planta elementos minerales, agua y otras sustancias importantes para el crecimiento vegetativo (15). La expansión del micelio externo del hongo por el suelo rizosférico permite la captación de los nutrientes más allá de la zona de agotamiento que se crea alrededor de las raíces, por la propia absorción de la planta (4).

Al igual que para los hongos micorrizógenos, las rizobacterias *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum brasilense* permiten complementar la nutrición nitrogenada en un 25 %; sin embargo, se plantea que de todo el nitrógeno que fija la bacteria, menos del 5 % se incorpora al interior del vegetal, estas cantidades son insuficientes para explicar el incremento de N en plantas, además existen mutantes de *Azospirillum* incapaces de fijar nitrógeno atmosférico (*Nif<sup>-</sup>*) que pueden promover el crecimiento vegetal hasta un 18 %. Por lo que está claro que la fijación biológica del nitrógeno no es el único mecanismo que promueve el crecimiento. Algunas explicaciones incluyen incrementos en el desarrollo del sistema radical, producción de hormonas de crecimiento, actividad nitrato-reductasa bacteriana en la raíz, síntesis de sustancias fungistáticas (16) y la teoría aditiva que plantea la sucesión de cada uno de estos mecanismos (17).

En las condiciones de Cuba, se plantea que la inoculación con especies de los géneros *Azotobacter* y *Azospirillum* puede provocar cambios significativos en varios parámetros del crecimiento vegetal, que se expresan en un aumento de la masa seca total de la planta, altura, tamaño de la hoja, número de hojas, índice de área foliar, número de raíces y longitud radical (5, 6, 18).

Las inoculaciones mixtas de los hongos micorrizógenos *Glomus clarum* y *Glomus fasciculatum* con las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, en las condiciones de estudio, no mostraron resultados alentadores. El comportamiento satisfactorio de la inoculación simple con la especie *Glomus fasciculatum* no se mantuvo al combinarse con las bacterias rizosféricas y solo se obtuvo cierta respuesta sobre los indicadores evaluados con la coinoculación de *Glomus mosseae* con *Pseudomonas fluorescens* y *Azospirillum brasilense*. En este sentido, se plantea que la eficiencia de la bacteria y del hongo depende de su capacidad para competir con la microbiota del suelo y multiplicarse abundantemente en las raíces de las plantas (19). Estos aspectos se hacen más evidentes cuando se utiliza la combinación de microorganismos con mayor capacidad competitiva, lo cual no quiere decir que no se encuentren presentes en la inoculación simple donde participa la flora nativa del suelo. Por tales motivos, no se puede inferir, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la fase de semillero, que estas coinoculaciones no son efectivas en el cultivo del tomate, sino que se hace necesario evaluar su comportamiento en fase de campo, donde pueden manifestarse los efectos sinérgicos o antagónicos de los biopreparados utilizados.

Como resultado del *screening* realizado en fase de semillero, se proponen para evaluar en campo las micorrizas *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum*, las rizobacterias *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* y las combinaciones *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*, teniendo en cuenta el efecto positivo de la biofertilización sobre la producción de plántulas de tomate.

*Efecto de la fertilización mineral y la biofertilización en la fase de campo.* En la Tabla IV se refleja la respuesta de las variables número de frutos por planta, masa promedio del fruto y rendimiento agrícola para las diferentes variantes en estudio. Los componentes del rendimiento mostraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos. El número de frutos fue superior en las plantas inoculadas con *Glomus mosseae*, ya sea sola o combinada con las bacterias rizosféricas (T4, T8 y T9), cuyos valores fueron significativamente superiores a la aplicación de 50 kg N.ha<sup>-1</sup> (T1).

*mosseae + Pseudomonas fluorescens y Glomus mosseae + Azospirillum brasilense.* Para estas variantes se obtuvieron incrementos que oscilaron entre 8.42 y 14.70 % en relación con los tratamientos 100-0-0 y 100-25-50. Resultados similares se han encontrado para el cultivo del tomate y en este sentido se plantea que la inoculación con *Glomus mosseae* superó al testigo en cuanto a rendimiento en un 11.49 % (23). De igual forma, se establece como promisoría la combinación *Glomus mosseae + Azospirillum brasilense* (24).

**Tabla IV. Efecto de los tratamientos en el rendimiento y sus componentes**

Tratamientos*	Número de frutos por planta	Masa promedio del fruto (g)	Rendimiento (t.ha <sup>-1</sup> )
T1. 50 kg N.ha <sup>-1</sup>	14.62 bc	205.23 c	26.68 c
T2. 100 kg N.ha <sup>-1</sup>	16.51 abc	215.51 b	29.85 b
T3. 100-25-50 kg NPK.ha <sup>-1</sup>	14.91 ab	216.33 b	30.15 b
T4. <i>Glomus mosseae</i>	17.57 a	225.38 a	34.26 a
T5. <i>Glomus fasciculatum</i>	14.61 bc	215.85 b	30.24 b
T6. <i>Azospirillum brasilense</i>	15.02 bc	212.99 bc	28.67 bc
T7. <i>Azotobacter chroococcum</i>	14.06 c	205.17 c	27.39 c
T8. <i>Glomus mosseae + Pseudomonas fluorescens</i>	17.73 a	228.55 a	33.19 a
T9. <i>Glomus. mosseae + Azospirillum brasilense</i>	17.23 a	226.79 a	33.07 a
Es <sub>x</sub>	0.652 ***	3.208***	0.703***
CV (%)	11.45	4.18	6.57

\*Las variantes inoculadas recibieron el 50 % de la fertilización mineral (50 kg N.ha<sup>-1</sup>)

Al analizar la masa promedio en frutos de tomate, se encontraron diferencias marcadas entre las plantas que recibieron las dosis más altas de fertilizantes (T2 y T3) y la variante con 50 kg N.ha<sup>-1</sup> (T1), y al igual que el componente anterior, los mayores valores se lograron con la inoculación de *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae + Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae + Azospirillum brasilense*.

El rendimiento promedio derivado del análisis conjunto de ambos años para los tratamientos no inoculados fue significativamente superior, cuando se aplicaron las dosis más altas de fertilizantes minerales (100-0-0 y 100-25-50), lo que demuestra la importancia de la fertilización en la obtención de adecuados niveles de rendimientos (20, 21). Es de destacar que la variante que recibió N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O no mostró rendimientos significativamente superiores a la aplicación unilateral de nitrógeno, lo que indica una baja respuesta a la aplicación de fósforo y potasio en suelos con elevados contenidos de estos elementos. Las aplicaciones de fósforo y potasio son importantes para lograr niveles de rendimiento satisfactorios; sin embargo, en el 50 % de los suelos dedicados al cultivo del tomate, estos nutrientes se encuentran en cantidades suficientes para obtener la máxima productividad y calidad biológica, por lo que la aplicación de nitrógeno es el aspecto de la nutrición que más se tiene en cuenta en los programas de fertilización del tomate para estos tipos de suelos (22).

Las mayores producciones correspondieron a las plantas inoculadas con *Glomus mosseae*, *Glomus*

De forma general, la inoculación con la cepa *Glomus mosseae* sola o combinada con las bacterias rizosféricas generó resultados superiores a los alcanzados por las variantes testigos, lo que permite deducir que esta especie posee una mayor eficiencia para lograr las mejores respuestas en nuestras condiciones de trabajo, por lo que sería recomendable su inoculación simple teniendo en cuenta que la coinoculación no produjo efectos superiores en el cultivo del tomate.

*Influencia sobre el estado nutricional de la planta.* En la Tabla V se muestran los contenidos foliares de N, P y K por tratamiento en el cultivo del tomate.

**Tabla V. Efecto de la fertilización mineral y la biofertilización sobre el estado nutricional de la planta**

Tratamientos*	N (%)	P (%)	K (%)
T1. 50 kg N.ha <sup>-1</sup>	3.33 b	0.66 b	3.90
T2. 100 kg N.ha <sup>-1</sup>	3.54 a	0.67 b	3.96
T3. 100-25-50 kg NPK.ha <sup>-1</sup>	3.53 a	0.76 ab	3.95
T4. <i>Glomus mosseae</i>	3.54 a	0.86 a	3.96
T5. <i>Glomus fasciculatum</i>	3.51 a	0.88 a	3.96
T6. <i>Azospirillum brasilense</i>	3.33 b	0.66 b	3.89
T7. <i>Azotobacter chroococcum</i>	3.18 c	0.67 b	3.90
T8. <i>Glomus mosseae + Pseudomonas fluorescens</i>	3.59 a	0.80 ab	3.86
T9. <i>Glomus. mosseae + Azospirillum brasilense</i>	3.48 a	0.78 ab	3.98
Es <sub>x</sub>	0.445**	0.110**	0.134 ns
CV (%)	4.85	8.68	9.65

\* Las variantes inoculadas recibieron el 50 % de la fertilización mineral (50 kg N.ha<sup>-1</sup>)

Estos resultados avalan los efectos de la biofertilización en la producción del cultivo, que se traduce en un mejor estado nutricional de la planta y en un

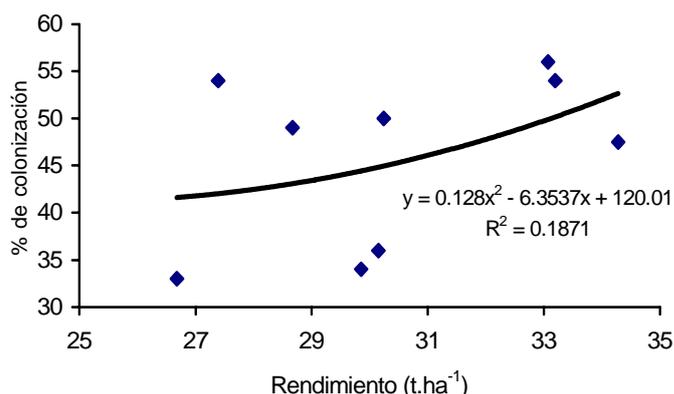
incremento del rendimiento e indican una estrecha relación entre la eficiencia simbiótica, el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes, y aunque el fósforo es el principal elemento trasladado por la micorriza (25), es importante también el papel decisivo que desempeña en el proceso de absorción del nitrógeno, ya que una planta micorrizada puede tomar y trasladar este elemento a través de las hifas del hongo (15).

**Influencia sobre la colonización micorrízica.** En la Tabla VI aparecen los índices de colonización micorrízica. Para el porcentaje de colonización se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. De forma general, las variantes inoculadas mostraron valores significativamente superiores al ser comparadas con las no inoculadas, en las cuales los porcentajes de colonización corresponden a la micorrización nativa.

El mayor porcentaje de colonización correspondió a la coinoculación de *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*, la cual superó significativamente a la inoculación simple de la micorriza. Cabe destacar que la ocupación de las raíces por los hongos nativos se favoreció con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*. El porcentaje de colonización en estos tratamientos fue significativamente superior a los no inoculados, aunque era lógico esperar valores similares, ya que en estas variantes están presentes las micorrizas nativas del suelo. En este sentido, se ha comprobado que los exudados radicales emitidos por las plantas en presencia de las rizobacterias estimulan la simbiosis micorrízica, manifestándose en un mayor porcentaje de raíces colonizadas (26). Sin embargo, los más bajos rendimientos en el cultivo del tomate se obtuvieron en estas variantes, por lo que a pesar de que los hongos nativos incrementaron su infectividad, fueron poco efectivos en promover la absorción de los nutrientes, su traslocación y el crecimiento y la productividad del cultivo.

El porcentaje de densidad visual y la masa del endófito mostraron diferencias significativas y un comportamiento similar, y se destacaron las plantas inoculadas con *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*, cuyos valores fueron significativamente superiores al resto de los tratamientos.

En las Figuras 1, 2 y 3 aparecen las curvas de tendencia y ecuaciones de regresión entre las variables micorrízicas y la producción del cultivo. Se observó una correlación significativa entre el rendimiento y las variables densidad visual y masa del endófito arbuscular con coeficientes de determinación de 0.8374\*\*\* y 0.8005\*\* respectivamente. Para el porcentaje de colonización la correlación no fue significativa, por lo que al parecer las variables micorrízicas relacionadas con la ocupación del hongo dentro de la raíz son las que más se correlacionan con el rendimiento del cultivo, debido posiblemente a que es dentro de este órgano donde se produce el intercambio de metabolitos entre los participantes de la simbiosis, conllevando a incrementos en el crecimiento del hongo y la producción de la planta siempre y cuando la colonización sea eficiente (27). Se plantea, además, que el indicador más representativo para evaluar el comportamiento de la colonización micorrízica es la masa del endófito, tomando en consideración niveles visuales de ocupación fúngica en el interior de la raíz. Esta variable expresa la intensidad infectiva del simbiote a diferencia del simple cálculo de los porcentajes de colonización, que solo tienen en cuenta la presencia o no del microorganismo en la raíz, sin cuantificar la magnitud de la colonización (13).

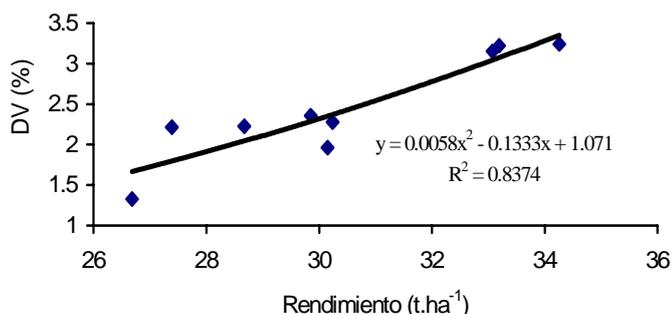


**Figura 1.** Curva de tendencia y coeficiente de determinación entre el porcentaje de colonización micorrízica y el rendimiento del cultivo

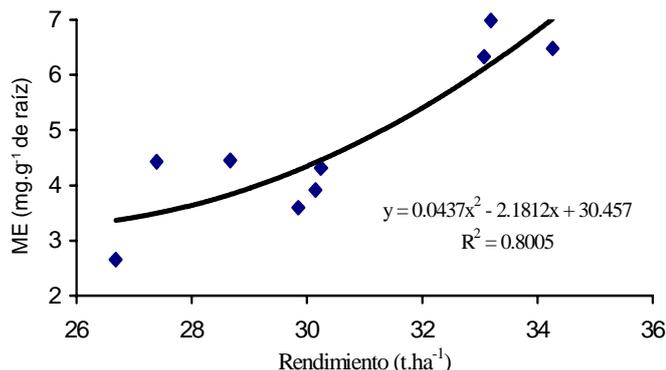
**Tabla VI.** Efecto de los tratamientos en las variables micorrízicas

Tratamientos*	Colonización (%)	Densidad visual (%)	Masa endófito (mg.g <sup>-1</sup> de raíz)
T1. 50 kg N.ha <sup>-1</sup>	33.00 d	1.33 d	2.66 d
T2. 100 kg N.ha <sup>-1</sup>	34.00 d	2.36 bc	3.60 c
T3. 100-25-50 kg NPK.ha <sup>-1</sup>	36.00 d	1.96 cd	3.92 bc
T4. <i>Glomus mosseae</i>	47.50 c	3.24 a	6.48 a
T5. <i>Glomus fasciculatum</i>	50.00 bc	2.28 c	4.32 b
T6. <i>Azospirillum brasilense</i>	49.00 bc	2.23 c	4.45 b
T7. <i>Azotobacter chroococcum</i>	54.00 bc	2.22 c	4.43 b
T8. <i>Glomus mosseae</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	54.00 bc	3.22 a	6.99 a
T9. <i>Glomus mosseae</i> + <i>Azospirillum brasilense</i>	56.00 ab	3.15 ab	6.33 a
Es <sub>x</sub>	0.239***	0.590***	0.239***
CV (%)	7.01	8.68	7.39

\* Las variantes inoculadas recibieron el 50 % de la fertilización mineral (50 kg N.ha<sup>-1</sup>)



**Figura 2. Curva de tendencia y coeficiente de determinación entre el porcentaje de densidad visual (% de DV) y el rendimiento del tomate**



**Figura 3. Curva de tendencia y coeficiente de determinación entre la masa del endófito (ME) y el rendimiento del tomate**

## REFERENCIAS

- Gómez, O.; Casanova, A. y Laterrol, H. Mejora genética del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. La Habana:Liliana, 2000. 159 p.
- Valenzuela, M. Consideraciones sobre el manejo de la nutrición de los cultivos (en línea) Sinaloa, México[Consulta 16-11-2002] Disponible en: <<http://www.fps.org.mx>>.
- Rodríguez, C. Las micorrizas. En: First International meeting on microbial phosphate solubilization. Abstracts. España, 2002. p. 36.
- Serralde, A. M. y Ramírez, M. Micorrizas arbusculares: Aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas (en línea) Bogotá, Colombia [Consulta 26-12-2002] Disponible en: <<http://www.turipana.org.co/micorrizas.htm>>.
- Terry, E.; Pino, M. de los A. y Medina, N. Application times of an *Azospirillum* bioproduct in tomato growth, development and yield. *Cultivos Tropicales*, 2000, vol. 21, no. 4, p. 5-8.
- Martínez, R. /et al./ Trascendencia nacional de biofertilizantes cubanos. En: Congreso Latinoamericano y Cubano de la ciencia del suelo. Programa y Resúmenes (15,5:2001:Matanzas), p. 62.
- Peralta, H.; Pulido, L. E. y Pérez, I. Micorrizas y rizobacterias: vía alternativa para la producción de tomate. En: XII Seminario Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes. La Habana, 2002. p. 117.
- Gómez, O. /et al./ Cálculo de la eficiencia económica en la producción de tomate variedad HC 38-80. *Agrotecnia de Cuba*, 1992, vol. 24, no. 2, p. 47-51.
- Hernández, A. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: MINAG, 2000. 26 p.
- Cardoza, H. /et al./ Influencia de la fertilización mineral NPK sobre los rendimientos de frutos y semillas de tomate variedad Campbell 28 sobre suelos Ferralíticos Rojos compactados con altos contenidos de P y K. En: Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Programa y Resúmenes (8:1999:La Habana). p. 67.
- IIHLD. Guía técnica para la producción del tomate. La Habana:Liliana, 2002. 33 p.
- Phillips, J. M. y Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic in vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 1970, vol. 55, p. 158-161.
- Herrera, R. A. Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical Biodiversidad en Iberoamérica: Ecosistemas, evolución y procesos sociales. Merida:México Monasterio, 1995.
- Dodd, J. C.; Rosendahl, S.; Govannetti, M.; Broome, A.; Lanfranco, L. y Walker, C. Inter and intraspecific variations within the morphologically-similar arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae* and *Glomus coronatum*. *New Phytologist*, 1996, vol. 133, p. 113-122.
- Dominique, R. Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal colonization on nitrogen metabolism in the host plant. Disponible en: <<http://www-ICOM2.sluse/Abstracts/abstracts.htm1>>, 1998.
- Parra, Y. y Cuevas, F. Potencialidades de *Azospirillum brasilense* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 2001, vol. 23, no. 3, p. 31-41.
- Bashan, Y.; Moreno, M. y Troyo, E. Growth promoting of the oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* in seawater inoculated with mangrove rhizosphere bacteria and *Azospirillum*. *Biology and Fertility of Soil*, 2000, vol. 32, p. 265-272.
- Puertas, A. y González, L. M. Aislamiento de cepas nativas de *Azotobacter chroococcum* en la provincia Granma y evaluación de su actividad estimuladora en plantas de tomate. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 2, p. 5-7.
- Guerrero, E. Micorrizas recurso biológico del suelo. Colombia:Fondo FEN, 1996. 208 p.
- Calderón, F. Requerimientos nutricionales de un cultivo de tomate en la sabana de Bogotá (en línea) Bogotá, Colombia [Consulta 16-11-2002] Disponible en: <<http://www.laboratoriosLtda.com>>.
- Flores, M. P. Asimilación del nitrógeno en plantas de tomate. [Tesis de grado]. Universidad de Murcia, 2000. 80 p.
- Peet, M. Sustainable practices for vegetables in the south. Tomato Botany. (en línea) Florida, Estados Unidos [Consulta 3-1-1998] Disponible en: <<http://www.cals.ncsu.edu/sustainable/peet/profiles/botom.html>>.

23. Caballero, R. y Martínez, J. C. Las micorrizas y su importancia para el cultivo del tomate. En: Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes (2:1995:Villa Clara), 1995. p. 54.
24. Dominic, M. E. /et al./ Reducción del uso del fertilizante químico en el cultivo del tomate mediante la inoculación de biofertilizantes utilizando la tecnología de recubrimiento de semilla. En: Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes (3:1997:Villa Clara), p. 81.
25. Ruíz, L. /et al./ Efectividad de las asociaciones micorrízicas en las raíces y tubérculos en suelos Pardos con Carbonatos y Ferralíticos Rojos. En: Congreso Latinoamericano y Cubano de la ciencia del suelo. Programa y Resúmenes (15, 5:2001:Matanzas). p. 67.
26. Coscaturca, A. Genetic studies on the auxin hypothesis in the *Azospirillum*/plant interaction. *Dissertationes de agriculture*, 1995, vol. 275, p. 1-25.
27. Azcón, R. Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. En: Ecología, Fisiología y Biotecnología de las micorrizas. España:Mundi Prensa, 2000.

Recibido: 29 de noviembre de 2002

Aceptado: 21 de octubre de 2003