

# RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL TOMATE A LA APLICACIÓN DE DOS INOCULANTES A BASE DE *Glomus* sp<sub>1</sub> (INCAM 4) POR DOS VÍAS DE INOCULACIÓN DIFERENTES

J. M. Dell'Amico<sup>✉</sup>, F. Fernández, E. Nicolás, L. F. López y María de J. Sánchez-Blanco

**ABSTRACT.** The physiological response of tomato crop (*Lycopersicon esculentum*) cv INCA 9 (1) was studied after applying two inoculant forms made up of *Glomus* sp<sub>1</sub> (INCAM 4): one in a solid medium and the other in a liquid medium. The solid inoculant was directly put in the substrate of the pots at a single dose and time, whereas the liquid inoculant was sprayed by means of drop irrigation system at different doses and times. The experiment was carried out in a cooling-equipped polycarbonate greenhouse for temperature and relative humidity control. Results showed that the highest colonization and fungal occupation percentages were reached 40 days after seed germination in the liquid inoculant treatments. Soil moisture values were similar in all treatments, indicating that an adequate irrigation regime was supplied to plants, in order to guarantee the same water requirements during all the experimental period. In general, the values of water relations, gas exchange, dry biomass growth and morphological growth variables were higher when plants were treated with the liquid inoculant through irrigation, independently of the dose and time used.

**Key words:** *Lycopersicon esculentum*, *Glomus*, arbuscular mycorrhizae, inoculation, growth, plant water relations

**RESUMEN.** Se estudió la respuesta fisiológica del tomate (*Lycopersicon esculentum*) cv INCA 9 (1) a la aplicación de dos formas de inoculantes a base de *Glomus* sp<sub>1</sub> (INCAM 4): uno en soporte sólido y el otro en soporte líquido. El sólido se puso directamente en el sustrato contenido en las macetas en una dosis y momento únicos, mientras que el líquido se aplicó a través del sistema de riego localizado, en diferentes dosis y momentos. El trabajo se desarrolló en un invernadero de policarbonato equipado con un sistema de refrigeración tipo *cooling* para controlar la temperatura y humedad relativa. Los resultados reflejaron que los mayores porcentajes de colonización y ocupación fúngica se obtuvieron a los 40 días de la germinación y en los tratamientos donde se aplicó el inoculante líquido. Los valores de la humedad volumétrica del suelo fueron similares en todos los tratamientos, indicando que el régimen de riego aplicado fue adecuado para garantizar los requerimientos hídricos de las plantas por igual durante todo el período experimental. En general, los valores tanto de las variables de las relaciones hídricas, intercambio gaseoso, crecimiento en biomasa seca como de otras variables del crecimiento morfológico alcanzaron mayor magnitud cuando las plantas fueron tratadas con el inóculo líquido mediante el riego, independientemente de la dosis y el momento de aplicación empleados.

**Palabras clave:** *Lycopersicon esculentum*, *Glomus*, micorrizas arbusculares, inoculación, crecimiento, relaciones planta agua

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, a nivel internacional se comercializan diferentes productos biológicos con propiedades bioestimulantes del crecimiento vegetal, así como otros con características de biofertilizantes. Algunos de los

microorganismos comúnmente utilizados como biofertilizantes son los hongos micorrízicos arbusculares HMA, debido fundamentalmente a su carácter simbiótico y por sus conocidos efectos benéficos en plantas y suelos. Sin embargo, su empleo como práctica tecnológica en condiciones de campo es aún limitada (1).

Estos biofertilizantes en su mayoría se producen en soporte sólido y las ventajas de su aplicación se fundamentan en una consistente mejora de la nutrición y absorción de agua por las plantas (2). Por otra parte, con la utilización de estos productos se minimiza considerablemente el impacto ambiental en los sistemas agrícolas.

En el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba, se han desarrollado con éxito varios biofertilizantes en soporte sólido a base de estos hongos, conformando la serie EcoMic<sup>®</sup> (3) y desde el 2000, se trabaja en el

Dr.C. J. M. Dell'Amico, Investigador Titular del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal; Dr.C. F. Fernández, Investigador Auxiliar del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700; Dr. E. Nicolás, Investigador y Dra. María de J. Sánchez-Blanco, Colaboradora Científica del Departamento de Riego y Salinidad del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Seguro, CSIC; Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en zonas áridas (UPCT-CEBAS), Gaveta Postal 164, CP 30 100; L. F. López, Director General de la Empresa INABONOS S.A., Murcia, España.

✉ amico@inca.edu.cu

desarrollo de un inoculante en medio líquido, con el objetivo fundamental de su aplicación a través de los sistemas de riego y, de esta forma, disminuir en gran medida los costos de aplicación, asegurar su distribución homogénea y directa al sistema radical de las plantas, y garantizar una inoculación efectiva de las raíces.

Por lo antes expuesto se realizó el presente trabajo, con el objetivo fundamental de evaluar la respuesta fisiológica del tomate a la aplicación de dos inoculantes a base de *Glomus* sp<sub>1</sub> (INCAM 4) por dos vías diferentes de inoculación, manual y a través del sistema de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un invernadero de policarbonato equipado con un sistema de refrigeración tipo *cooling*, ubicado en la finca experimental del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), en la localidad de Santomera-Murcia, España.

La especie vegetal estudiada fue *Lycopersicon esculentum* variedad INCA 9 (1), de origen cubano y crecimiento determinado. Las semillas fueron sembradas de forma directa en recipientes (macetas) de 5 L de capacidad, que contenían un sustrato compuesto de suelo-arena lavada-vermiculita mezclados en relación 3: 2: 1 v/v.

*Características químicas del suelo.* A continuación aparecen:

Materia orgánica	1.70 %
Carbono orgánico total	0.98 %
Nitrógeno total	0.132 %
Relación C/N	7.42
Carbonatos totales	12.14 %
Caliza activa	3.98 %
Fósforo asimilable	196.68 ppm
Cloruros	0.05 meq.100g <sup>-1</sup>
Sulfatos	0.29 meq.100g <sup>-1</sup>
Hierro asimilable	8.51 ppm
Cobre asimilable	1.60 ppm
Manganeso asimilable	42.01 ppm
Zinc asimilable	2.24 ppm

*Tratamientos.* Se estudiaron ocho tratamientos: tres dosis (D1, D2 y D3) de un inoculante micorrizógeno en soporte líquido a base de *Glomus* sp<sub>1</sub> (INCAM 4), 75 (D1), 150 (D2) y 300 esporas.planta<sup>-1</sup> (D3) aplicadas en dos momentos: M0-en la siembra y M1-en la siembra y a los 30 días de germinadas las semillas (doble inoculación). Estos tratamientos se compararon frente a un tratamiento donde se inoculó con un inoculante micorrizico en soporte sólido también a base de *Glomus* sp<sub>1</sub> (INCAM 4) y un tratamiento control sin inoculación. Los tratamientos en estudio se distribuyeron siguiendo un diseño completamente aleatorizado.

*Inoculación.* La inoculación con el inoculante líquido se llevó a cabo a través del propio sistema de fertirriego, mediante su aplicación por el sistema con una bomba de inyección con caudal de 340 L.h<sup>-1</sup> y regulada a 25 L.h<sup>-1</sup>. Las dosis fueron aplicadas de forma independiente en

cada tratamiento y para garantizar una correcta aplicación, se colocó una válvula al inicio de cada línea de riego correspondiente a cada tratamiento, de manera que solamente permaneciera abierta la línea deseada. Esta operación se realizó también a los 30 días de la siembra para dar inicio a los tratamientos D1 M1, D2 M1 y D3 M1 con una segunda inoculación.

Previamente se realizaron tres ensayos en blanco, para estudiar la movilidad y distribución del inóculo en las líneas de riego, donde se obtuvieron resultados satisfactorios.

El inoculante en soporte sólido se aplicó directamente a cada recipiente de ese tratamiento en dosis de 10 g por recipiente (~250 esporas) solamente en el momento de la siembra.

*Riego.* Se instaló un sistema de fertirriego y a cada recipiente se le colocó un gotero con caudal de 2 L.h<sup>-1</sup> y un dispositivo para homogeneizar la entrega del agua en toda la superficie del sustrato.

Desde la siembra hasta el inicio de la germinación, se aplicó solo agua en dosis de 0.5 L mañana y tarde todos los días a cada recipiente, para garantizar una adecuada germinación de las semillas. Posteriormente, las dosis fueron reducidas a 0.35 L dos veces por semana hasta 12 días después de la siembra, fecha en la que se inició la fertirrigación.

*Fertirrigación.* A un tanque de 2000 L se adicionaron los siguientes fertilizantes:

NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	(96 %)	86 g
KNO <sub>3</sub>	(99.8 %)	14030 g
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	(91 %)	828 g
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	(72 %)	408 g
HNO <sub>3</sub>	(54 %)	352 g

El riego a partir de este momento se aplicó a razón de 0.35 L por recipiente tres veces por semana y se mantuvo así hasta el inicio del cuajado de los frutos, momento en el cual se comenzó a regar diariamente. El riego y la fertirrigación siempre se aplicaron por igual a todos los tratamientos.

El análisis del agua de riego utilizada en el experimento arrojó los siguientes resultados:

PH -----	7.90
CE -----	1.166 mmhos cm <sup>-1</sup>
STD -----	0.830 g.L <sup>-1</sup>

considerada como de Buena calidad para el riego.

### Evaluaciones realizadas

*Variables de la infección micorrizica.* Las evaluaciones se realizaron en raicillas y rizosferas de tres plantas por tratamiento y en dos de los momentos de muestreo, a los 26 y 40 días de la germinación (ddg).

Se estudiaron tres variables en raíces:

- ⇒ colonización radical: método de Azul de Tripan (4)
- ⇒ ocupación porcentual fúngica (5).

En todos los casos las muestras fueron observadas en un estereomicroscopio y microscopio Olympus.

*Contenido volumétrico de agua en el suelo (%) Øv.* Se determinó mediante la técnica de Reflectometría en Do-

minio del Tiempo (TDR) utilizando un equipo TEKTRONIX, modelo 1502 B. Para ello, en tres macetas de cada tratamiento se colocaron dos varillas (electrodos) de acero inoxidable no imantable de 16 cm de longitud, enterradas paralelamente en el sustrato con una separación entre ellas de 5 cm. Las evaluaciones se hicieron con un intervalo semanal. El stock de agua volumétrica del suelo se calculó mediante la fórmula:

$$\varnothing v = -5.3 \cdot 10^{-2} + 2.92 \cdot 10^{-2} \cdot Ka - 5.5 \cdot 10^{-4} \cdot Ka^2 + 4.3 \cdot 10^{-6} \cdot Ka^3$$

donde Ka= lectura en el equipo

**Potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ) (Mpa).** El potencial hídrico foliar se midió en cinco plantas por tratamiento a los 26 (cinco tratamientos) y 40 ddg (ocho tratamientos); la primera evaluación se realizó entre las 9:00 y 10:00 a.m. y la segunda entre las 5:00 y 6:00 a.m. (antes del alba) y para ello se utilizó una cámara de presión (*Soil Moisture Equipment Co*, Santa Bárbara, C A).

**Conductancia estomática (gs) y tasa fotosintética (Pn).** Estas evaluaciones se realizaron sobre tres plantas por tratamiento a los 26, 34, 40 y 49 ddg. En todos los casos, las evaluaciones se comenzaron a las 10:30 am utilizando un *LICOR LI 6400 Portable Photosynthesis System*. En las tres primeras evaluaciones se utilizó una cámara de fluorescencia y las condiciones que se fijaron en el equipo fueron: temperatura= 30 gC, radiación fotosintéticamente activa= 1800 mmol.s<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> y concentración de CO<sub>2</sub>= 350 ppm. La última evaluación se realizó con una cámara transparente y las condiciones fijadas al equipo fueron: 28 gC de temperatura y CO<sub>2</sub>= 350 ppm.

Para las evaluaciones correspondientes al potencial hídrico foliar, la conductancia estomática y tasa fotosintética, se tomaron hojas del tercio superior de las plantas.

**Masa seca de la raíz, parte aérea y total de las plantas.** Estas variables se evaluaron en dos momentos del ciclo vegetativo de las plantas, a los 26 y 40 ddg. Para ello se tomaron seis plantas por tratamiento, se separaron en los diferentes órganos y se secaron en estufa a 75 gC hasta el peso constante.

**Crecimiento morfológico.** El número de hojas, la longitud del tallo (cm), el número de botones florales y el área foliar (cm<sup>2</sup>) se evaluaron a los 40 ddg. El área foliar se midió con un medidor automático de área *Delta-T measurements system (Delta-T Devices Ltd. Cambridge, UK)*. Estas variables se midieron en seis plantas por tratamiento.

Los datos de las diferentes evaluaciones realizadas, se analizaron mediante ANOVA simple y el cálculo de las medias muestrales, su desviación estándar y su intervalo de confianza. Es importante señalar que las evaluaciones realizadas antes de los 30 días corresponden a cinco tratamientos. De igual forma, las evaluaciones de la tasa fotosintética y conductancia estomática se hicieron solamente en cinco tratamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El porcentaje de colonización micorrízica aumentó con el desarrollo del propio cultivo (Tabla I), presentándose los valores mayores en la etapa de fructificación del tomate (40 ddg). Además, cabe resaltar que en todos los tratamientos se observó colonización micorrízica y los porcentajes más altos se encontraron en los tratamientos con el inoculante en medio líquido y, en menor medida, en el tratamiento con el inoculante sólido. El tratamiento control alcanzó niveles mínimos de infección.

**Tabla I. Nivel de colonización (%) y ocupación fúngica (%) a los 26 y 40 ddg. D1, D2 y D3 corresponden a las dosis del inoculante en soporte líquido y M0 y M1 a los momentos de inoculación**

Tratamientos	Colonización		Ocupación fúngica	
	26 ddg	40 ddg	26 ddg	40 ddg
Control	11.13 c	20.79 d	0.14 d	1.53 d
<i>Glomus</i> sp <sub>1</sub> sólido	26.71 b	64.65 c	0.62 cd	5.92 cd
D1 M0	63.37 a	83.14 a	3.37 b	17.49 a
D2 M0	49.27 a	75.26 abc	6.65 a	13.73 abc
D3 M0	54.73 a	76.58 abc	1.91 bc	10.70 abc
D1 M1		78.73 ab		17.66 a
D2 M1		74.55 abc		15.39 ab
D3 M1		66.53 bc		8.86 bcd
Es x	2.1***	5.2***	1.5***	3.7***

Los valores son la media de tres repeticiones

Aunque no se apreciaron diferencias notables entre las dosis del inoculante líquido, es oportuno señalar que se observó cierta tendencia a presentar mayores valores de colonización en presencia de la dosis D1 (75 esporas.planta<sup>-1</sup>), con independencia del momento de inoculación.

Es de destacar el hecho de que los tratamientos con el inoculante líquido, incluso a una dosis muy baja, indujeron una mayor colonización que la dosis empleada con el sólido, a pesar de contener el mismo agente inoculante. Sin embargo, parece claro que el sustrato del inoculante líquido puede haber jugado un papel esencial en la capacidad de inoculación del *Glomus* sp<sub>1</sub>.

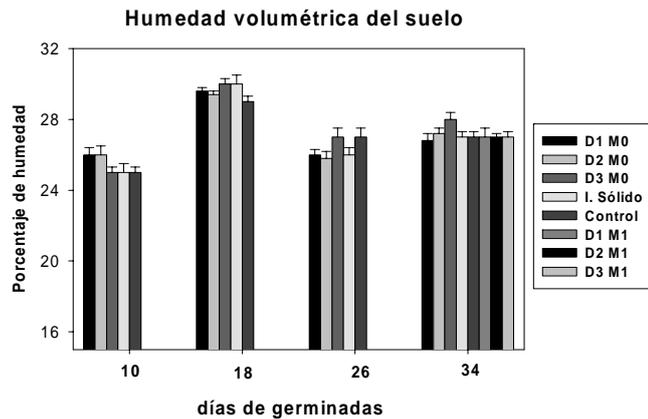
Los niveles de ocupación fúngica (Tabla I) aumentaron a lo largo del ensayo, mostrando, una vez más, diferencias entre la forma líquida de inoculación y la sólida y, a su vez, entre las plantas tratadas y las control.

Debe resaltarse que los niveles de ocupación fúngica inducidos por el inoculante sólido son adecuados y concuerdan con numerosas investigaciones realizadas en poaceas (6), café (7), raíces y tubérculos (8), y tomate (9), por lo que hay que destacar la elevada ocupación inducida por el inoculante en soporte líquido.

La inexistencia de diferencias significativas entre los distintos tratamientos con el inoculante líquido corroboró la eficacia de la inoculación al emplear la forma líquida, independientemente de la dosis y el momento de aplicación ensayados.

En tal sentido, trabajando con este mismo inoculante líquido, se ha encontrado una elevada germinación de las esporas y una fuerte colonización a partir de los 14 días de germinadas las semillas (10), debido fundamentalmente al efecto estimulador producido por el sustrato líquido en los propágulos del hongo.

Los valores de la humedad volumétrica del suelo (Figura 1) fueron muy similares en todos los tratamientos, indicando que el régimen de riego aplicado fue adecuado para garantizar los requerimientos hídricos de las plantas por igual durante todo el período experimental.



Las barras encima de los valores medio significan el intervalo de confianza de las medias

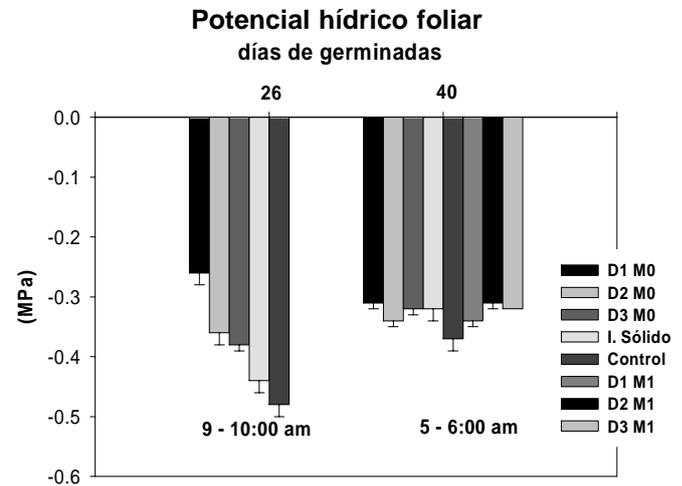
**Figura 1. Valores de la humedad volumétrica del suelo medidos a los 10, 18, 26 y 34 ddg de las plantas cultivadas en los tratamientos inoculados con las tres dosis del inóculo líquido, inóculo sólido y control**

Cabe señalar que en las cuatro evaluaciones de la humedad volumétrica del suelo, las mayores diferencias detectadas entre tratamientos a los 10 y 18 días no sobrepasaron del 1 % y a los 26 y 34 días del 2 %, lo que corrobora lo anteriormente planteado.

Los niveles de potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ), a los 26 ddg (Figura 2), presentaron diferencias significativas a favor de las plantas con el inóculo líquido y de forma particular en las plantas del tratamiento D1 M0, encontrándose los valores más bajos de  $\Psi_f$  en las plantas control y las inoculadas con el sólido. Cabe señalar que quizás estas diferencias pudieron estar más influidas por variaciones del ambiente que por el efecto de los tratamientos, debido fundamentalmente a que las evaluaciones comenzaron a las 9:00 y culminaron a las 10:00 am, lo cual pudo haber influido en los valores alcanzados, ya que este indicador presenta diferencias significativas en respuesta a factores diurnos y estacionales (11). Por ello, se decidió realizar la evaluación de esta variable correspondiente a los 40 ddg antes del alba (5:00-6:00 am), llamado potencial hídrico foliar de base, para evitar el efecto de las variaciones diurnas.

Atendiendo a los niveles de este indicador medido antes del alba (Figura 2), quedó patente el efecto benefi-

cioso de la micorrización, independientemente de la dosis, el momento e inoculante empleado. Si bien debe indicarse que los valores encontrados en las plantas del tratamiento control, aunque menores que los de las plantas tratadas con los inoculantes, fueron adecuados, al no representar niveles de déficit hídrico considerable, lo que confirma la homogeneidad de las prácticas de riego empleadas en todos los tratamientos.



Las barras encima de los valores medio significan el intervalo de confianza de las medias

**Figura 2. Valores de potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ) medidos a los 26 y 40 ddg de las plantas en los diferentes tratamientos empleados**

En trabajos realizados en el cultivo del tomate (12), también se encontró un efecto beneficioso de la micorrización en el potencial hídrico foliar de las plantas con respecto a las no inoculadas, cuando ambas fueron bien abastecidas de agua, comportamiento que se debe en lo fundamental a que los hongos micorrízicos arbusculares producen una cantidad abundante de la glicoproteína glomalina y esta concentración es fuertemente correlacionada con la estabilidad de los agregados en muchos suelos (13). Por otro lado, la simbiosis micorrízica arbuscular ha sido asociada con cambios en la estructura del suelo, tanto en condiciones de campo como en macetas, aspecto que favorece en gran medida la mayor disponibilidad del agua a las plantas.

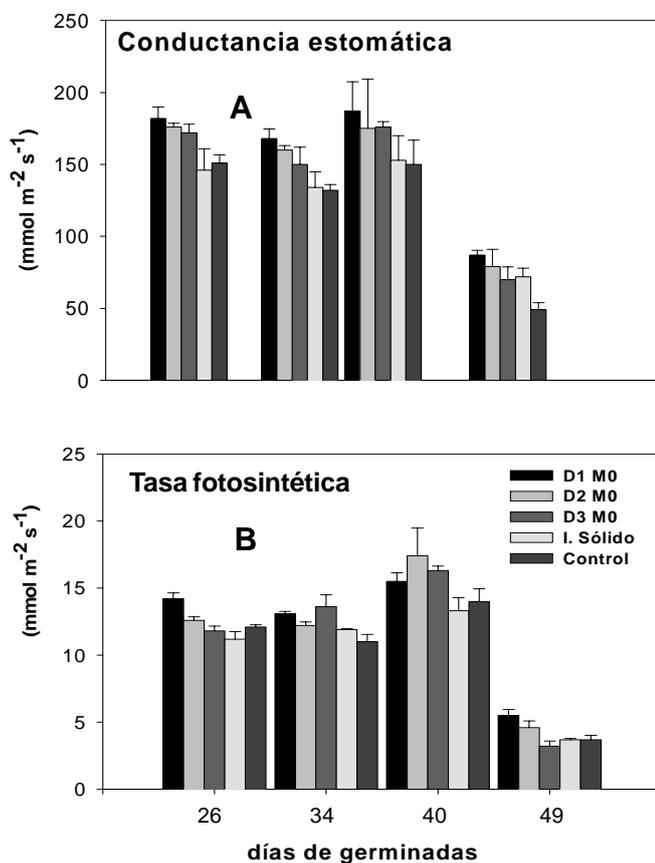
En general, las plantas con el inoculante líquido presentaron los valores más altos de conductancia estomática (Figura 3 A), esencialmente las tratadas con las dosis D1 y D2. En el caso de las plantas con el inoculante sólido, solamente superaron a las plantas control en la última evaluación, lo que pudo estar asociado al hecho de que el establecimiento de la simbiosis en las plantas tratadas con el sólido y su efecto sobre esta variable haya sido mucho más lento con respecto a las inoculadas con el líquido.

Por otra parte, se plantea que la simbiosis micorrízica arbuscular puede afectar el balance hídrico de las plantas, tanto en condiciones de buen abastecimiento hídrico

como expuestas a la sequía y su principal efecto, dentro del campo de las relaciones hídricas que con mayor frecuencia se ha examinado, es precisamente la alteración del comportamiento estomático (14).

Trabajando con plantas de uva variedad *Cabernet sauvignon*, se encontró que la simbiosis micorrízica modificó las relaciones hormonales de la planta hospedera (15) y señalaron la posibilidad de que los hongos micorrizógenos que son confinados a tejidos externos de la raíz puedan afectar órganos tan distantes como los estomas de las hojas, por cambios en el flujo de información hormonal desde las raíces hasta las hojas vía torrente transpiratorio.

En general, los valores de tasa fotosintética neta (Figura 3B) presentaron un efecto beneficioso evidente de la inoculación en medio líquido, aunque no se detectó claramente un efecto consistente de ninguna de las dosis. Tampoco se encontraron diferencias notables entre las plantas tratadas con el inóculo sólido y las no inoculadas, en ningún momento.



Las barras encima de los valores medio significan el intervalo de confianza de las medias

**Figura 3. Efecto de diferentes dosis e inoculación simple y doble con un inoculante micorrízico en medio líquido y la simple con un inoculante sólido en la conductancia estomática (A) y la tasa fotosintética (B) de plantas de tomate a los 26, 34, 40 y 49 ddg**

En relación con las variaciones encontradas en el comportamiento de la tasa fotosintética, se puede señalar que la colonización de las raíces por hongos micorrízicos arbusculares provoca muchos cambios en la partición del carbono y el metabolismo de su hospedera. La tasa de asimilación del carbono, la exportación de fotosintatos desde las hojas y la fuerza sumidero de las raíces pueden incrementarse relativamente con respecto a las plantas no inoculadas. Además, la mayor parte del carbono que garantiza el metabolismo del hongo micorrízico se origina directamente de la fotosíntesis de la planta hospedera (16).

A los 26 ddg de las semillas, los valores mayores de biomasa seca (Figura 4) correspondieron a las plantas de los tratamientos inoculados con las dosis D1 y D2 del líquido. Los valores de biomasa de las plantas control fueron los más bajos y los de las plantas tratadas con el inóculo sólido se situaron ligeramente por encima de estas. Igualmente, debe destacarse que los citados aumentos de biomasa se produjeron de forma paralela en las raíces y la parte aérea.

En la evaluación correspondiente a los 40 ddg (Figura 4) se detectó, en general, un comportamiento similar, con valores inferiores en las plantas control y en las inoculadas en el sustrato sólido. Por otra parte, los valores superiores de masa seca de las raíces y planta completa se presentaron en las plantas del tratamiento D2 M0, mientras que la mayor masa seca de la parte aérea correspondió a las plantas tratadas con las dosis D1 M1.

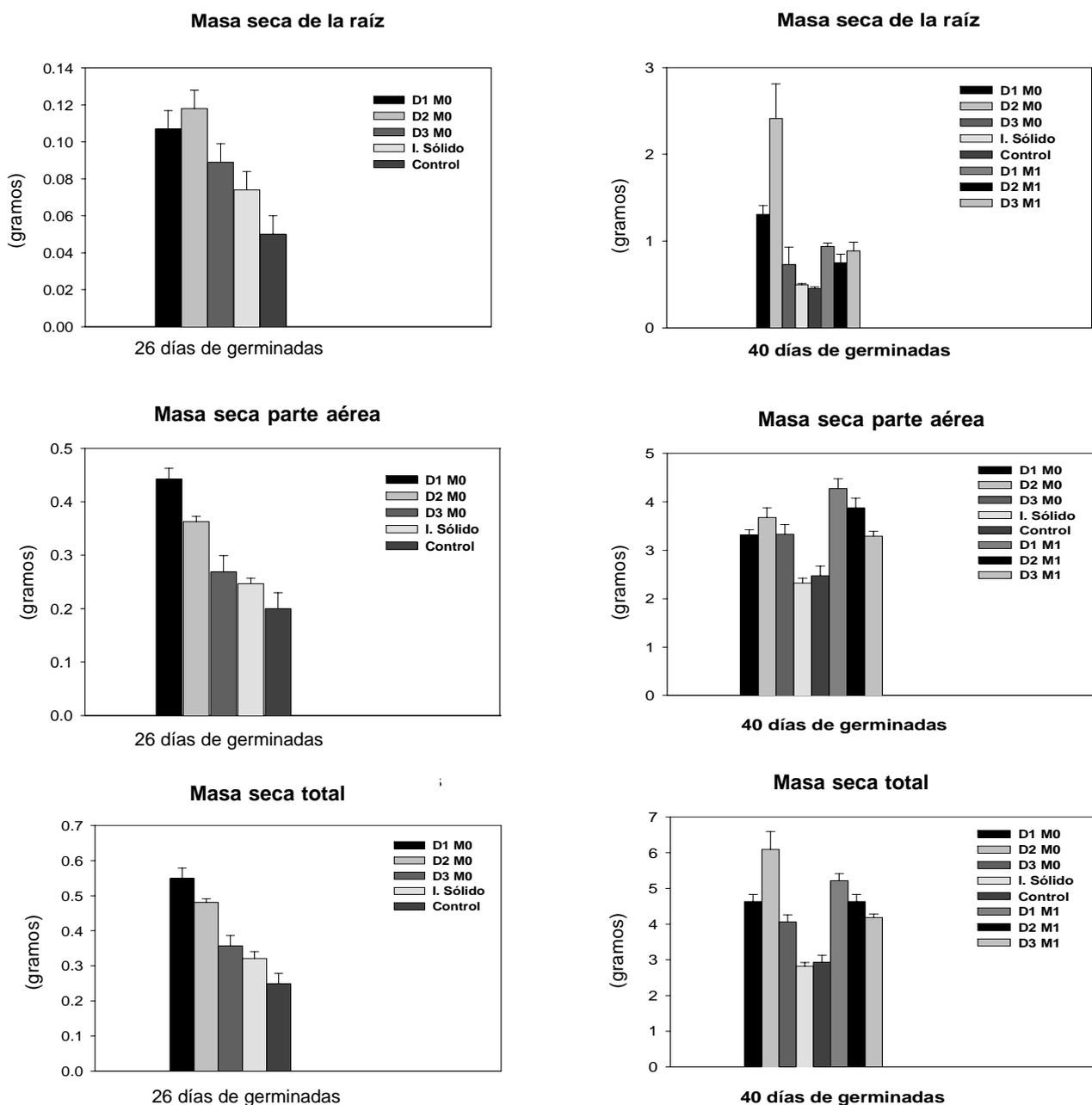
En general, no se encontró una tendencia definida en el efecto de la inoculación simple M0 y la doble M1. Sin embargo, en cuanto a las dosis, todo indica que las mejores fueron D1 y D2, independientemente de que su aplicación fue simple o doble.

Independientemente de que se evidenció que la efectividad del inoculante líquido es superior al sólido, debido fundamentalmente al efecto inductor de la micorrización que puede proporcionarle el medio líquido, fue claro el efecto producido por ambos en el crecimiento de la biomasa seca de las plantas, principalmente en los primeros 26 días de crecimiento vegetativo.

Cabe señalar que este efecto de la micorrización en el crecimiento de las plantas está ampliamente demostrado, ya que entre sus principales beneficios se señala una mayor absorción de nutrientes, fundamentalmente de fósforo. Por otra parte, se ha observado que las micorrizas arbusculares comúnmente conviven con otros microorganismos del suelo, cuya asociación con las raíces tiene un rango amplio de efectos en el crecimiento de las plantas hospederas (17). En trabajos realizados en el cultivo del tomate (18), se determinó la respuesta quimiotáctica de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *Azotobacter chroococcum* y *Pseudomonas fluorescens*, en las raíces del tomate micorrizadas con *Glomus fasciculatum*, y se encontró que un gran número de células bacterianas de cepas sil-

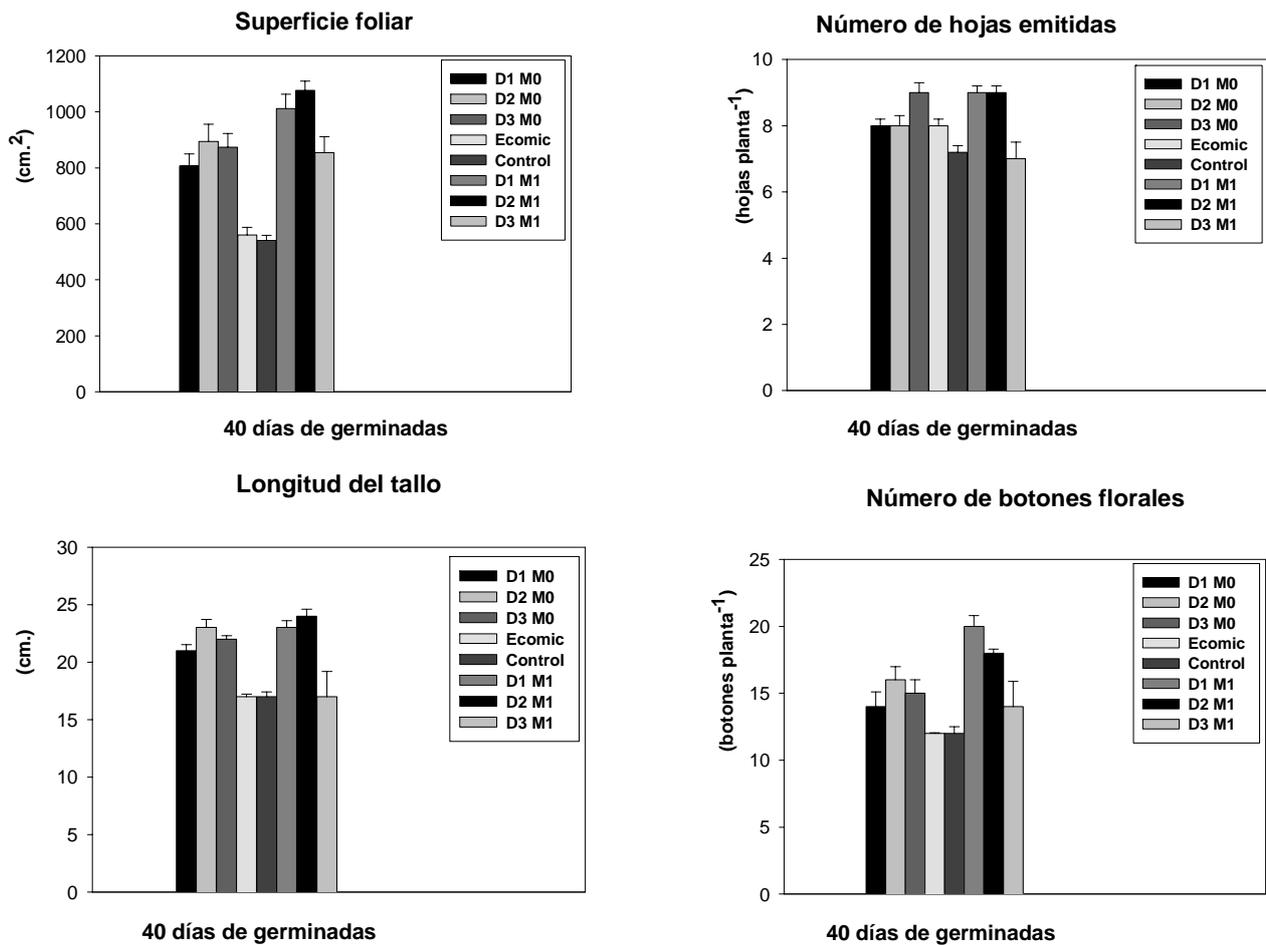
vestres fueron atraídas hacia las raíces de las plantas micorrizadas por HMA. Además, se determinó que las sustancias exudadas por las raíces funcionaron como quimioatrayentes de esas bacterias. La cepa de *P. fluorescens* fue atraída fuertemente por los ácidos cítrico y málico, los que fueron constituyentes predominantes en el exudado de las raíces micorrizadas de tomate, mientras que la cepa *A. chroococcum* mostró una respuesta muy fuerte hacia los azúcares y aminoácidos, siendo más débil hacia los ácidos orgánicos.

En la Figura 5 se presentan los valores de variables morfológicas del crecimiento de las plantas, donde se encontró que las plantas con doble inoculación (M1) y esencialmente las tratadas con las dosis D1 y D2 del líquido presentaron una mayor superficie foliar y número de botones florales, lo que resulta de gran importancia. Es de destacar que en todas las variables los valores más bajos correspondieron a las plantas de los tratamientos con el inóculo sólido y control, sin diferencias apreciables entre ellos.



Las barras encima de los valores medio significan el intervalo de confianza de las medias

**Figura 4. Efecto de diferentes dosis y momentos de aplicación de un inoculante micorrízico líquido e inoculación simple con inoculante sólido en la masa seca de los diferentes órganos y total de las plantas a los 26 y 40 ddg**



Las barras encima de los valores medio significan el intervalo de confianza de las medias

**Figura 5. Efecto de la inoculación simple y doble con un inoculante micorrízico en soporte líquido e inoculación simple con inoculante sólido en las variables superficie foliar, número de hojas, longitud del tallo y número de botones florales de las plantas**

En trabajos realizados en el cultivo del tomate con la variedad "Amalia", se encontró un efecto notable de la micorrización en los valores de superficie foliar, aun cuando las plantas inoculadas y no inoculadas recibieron un suministro de agua adecuado (12). En relación con la mayor producción de botones florales, en los tratamientos D1 y D2 M1, debe estar relacionada, al igual que la superficie foliar, a una mejor nutrición de las plantas, producto de una simbiosis más efectiva lograda con el inoculante líquido. Por otra parte, se señala que la cantidad de flores, frutos y semillas producidas por una planta, es proporcional a su tamaño y contenido de nutrientes (19, 20), coincidiendo en tal sentido con otros resultados (21).

En general, se puede concluir que la simbiosis micorrízica mediante el empleo del inoculante líquido resultó mas efectiva, lo que resulta de gran utilidad práctica para la aplicación de este biofertilizante a través de los sistemas de riego localizado y, de esta forma, ampliar las vías de aplicación de estos microorganismos en diferentes sistemas de producción agrícola.

## REFERENCIAS

1. Saito, M. y Marumoto, T. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi: the status quo in Japan and the future prospects. *Plant and Soil*, 2002, vol. 244, p. 273-279.
2. Querejeta, J. I.; Egerton-Warburton, L. M. y Allen, M. F. Direct nocturnal water transfer from oaks to their mycorrhizal symbionts during severe soil drying. *Oecología*, 2003, vol. 134, p. 55-64.
3. Fernández, F. Avances en la producción de inoculantes micorrízicos arbusculares. En: Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso el Caribe. Eds: R. Rivera y K. Fernández. La Habana:MINREX., 2003, p. 95-110.
4. Phillips, D. M. y Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 1970, vol. 55, p. 158-161.
5. Trouvelot, A., Kough, J. y Gianinazzi-Pearson, V. 1986. Mesure du Taux de Mycorrhization VA d'un Systeme Radiculaire. Recherche de Methodes d'Estimation ayant une Signification Fonctionnelle. En: Proceedings of the 1st European Symposium on Mycorrhizae: Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae (1:1985:jul. 1-5:Paris), 1985, p. 217-222.

6. Fernández, F.; Rodríguez, E. L. y Gómez, R. Caracterización de la efectividad de un nuevo inoculante micorrizógeno en Poaceas. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 2, p. 9-14.
7. Sánchez, C. Uso y manejo de los HMA y los abonos verdes en la producción de posturas de café [Tesis de grado]; Estación de Café Jibacoa, 2001, 103 h.
8. Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en raíces y tubérculos en dos tipos de suelos. [Tesis de grado]; INIVIT, 2001, 100 h.
9. Dell'Amico, J.; Rodríguez, P.; Torrecillas, A.; Morte, A. y Sánchez-Blanco, M. J. Water and growth parameter responses of tomato plant associated with arbuscular mycorrhizae during drought and recovery. *Journal of Agricultural Science*, 2002, vol. 138, p. 387-393.
10. Fernández, F.; Dell'Amico, J.; Pérez, Y.; Morte, A.; Honrubia, M. y Providencia, I. de la. Viabilidad y capacidad de colonización de hongos micorrízicos arbusculares en medio líquido. (LicoMic), 237-251. En: "Avances en el conocimiento de la biología de las Micorrizas". Editores: Frías-Hernández, J.T, Olalde-Portugal, V and Ferrera-Cerrato, R. Universidad de Guanajuato, México, 2004.
11. Ruíz-Sánchez, M. C.; Sánchez-Blanco, M. J.; Planes, J.; Alarcón, J. J. y Torrecillas, A. Seasonal changes in leaf water potential components in two almond cultivars. *J. Agric. Sci.*, 1994, vol. 120, p. 347-351.
12. Dell'Amico, J.; Rodríguez, P.; Torrecillas, A.; Morte, A. y Sánchez-Blanco, M. J. Influencia de la micorrización en el crecimiento y las relaciones hídricas de plantas de tomate sometidas a un ciclo de sequía y recuperación. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 1, p. 29-34.
13. Rillig, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 2004, vol. 84, p. 355-363.
14. Augé, R. M.; Moore, J. L.; Sylvia, D. M. y Cho, K. Mycorrhizal promotion of host stomatal conductance in relation to irradiance and temperature. *Mycorrhiza*, 2004, vol. 14, p. 85-92.
15. Nikolaou, N. A.; Koukourikou, M.; Angelopoulos, K. y Karagiannidis, N. Cytokinin content and water relations of 'Cabernet Sauvignon' grapevine exposed to drought stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 2003, vol. 78, p. 113-118.
16. Douds, D. D., Pfeffer, P. E. y Shachar-Hill, Y. Carbon Partitioning, Cost, and Metabolism of Arbuscular Mycorrhizas En: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Ed: Y. Kapulnik y D. D. Douds, Jr. Kluwer Academic Publisher, 2000. 372 p.
17. Klironomos, J. N. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology*, 2003, vol. 84, p. 2292-2301.
18. Gupta, S. Chemotactic response of plant-growth-promoting bacteria towards roots of vesicular-arbuscular mycorrhizal tomato plants. *FEMS Microbiology Ecology*, 2003, vol. 45, p. 219-227.
19. Lee, T. D. y Bazzaz, F. A. Regulation of fruit maturation pattern in annual legumes *Cassia fasciculata*. *Ecology*, 1982, vol. 63, p. 1374-1388.
20. Parrish, J. A. D. y Bazzaz, F. A. Nutrient content of *Abutilon theophrasti* seed and the competitive ability of the resulting plants. *Oecologia*, 1985, vol. 65, p. 247-251.
21. Kapoor, R.; Giri, B. y Mukerji, K. G. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, 2004, vol. 93, p. 307-311.

Recibido: 14 de julio de 2006

Aceptado: 11 de mayo de 2007

## *Cursos de Verano*

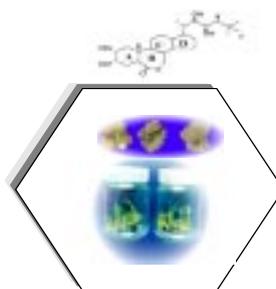
Precio: 320 CUC

### *Brasinoesteroides: nuevos biorreguladores de amplia perspectiva para la agricultura*

*Coordinador: Dra.C. Miriam de la C. Núñez Vázquez*

*Fecha: Julio*

*Duración: 40 horas*



#### SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval  
Dirección de Educación, Servicios Informativos  
y Relaciones Públicas  
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)  
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,  
La Habana, Cuba. CP 32700  
Telef: (53) (47) 86-3773  
Fax: (53) (47) 86-3867  
E.mail: posgrado@inca.edu.cu