



CRECIMIENTO, RELACIONES HÍDRICAS Y APROVECHAMIENTO NUTRICIONAL EN EL TOMATE INOCULADO CON UN INOCULANTE MICORRÍZICO EN SOPORTE LÍQUIDO

Growth, water relations and efficiency in nutrients utilization by tomato plants inoculated with a mycorrhizal inoculant in liquid support

José M. Dell'Amico^{1✉}, Félix Fernández², Emilio Nicolás Nicolás³ y María de J. Sánchez-Blanco³

ABSTRACT. The work was performed in order to know the effects of different doses of a mycorrhizal inoculant in liquid support in growth variables, water relations and efficiency in the use tomato plants nutrients. For its realization, tomato plants INCA 9 [1] were grown in pots and placed in a polycarbonate greenhouse. Three doses were studied (D1, D2 and D3) 75 (D1), 150 (D2) and 300 spores plant⁻¹, applied in seeding through injection by irrigation system and a non-inoculated control. At 25 and 40 days after germination (DDG) evaluation of fungal variables, growth on dry biomass, leaf water potential and its components, stomatic conductance the concentration of foliar nutrients and efficiency use of these. The results showed that with any of the applied doses important benefits are achieved by symbiosis with increases of fungal variables, the content of dry biomass, water relations and the best efficiency in the use of nutrients. However, in general only with the application of the D1 dose, these benefits were obtained, resulting in this work the most appropriate and economic dose.

RESUMEN. El trabajo se realizó con el objetivo de conocer los efectos de diferentes dosis de un inoculante micorrizógeno en soporte líquido en variables del crecimiento, las relaciones hídricas y la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes de plantas de tomate. Para su realización, se cultivaron en macetas plantas de tomate del cultivar INCA 9 [1] colocadas en un invernadero de policarbonato. Se estudiaron tres dosis (D1, D2 y D3) 75 (D1), 150 (D2) y 300 esporas planta⁻¹ (D3), aplicadas en la siembra mediante su inyección por el sistema de fertirriego y un tratamiento control, sin inocular. A los 25 y 40 días después de la germinación (DDG) se realizaron evaluaciones de variables fúngicas, de crecimiento en biomasa seca, del potencial hídrico foliar y sus componentes, la conductancia estomática y a los 40 DDG se realizó un análisis foliar para evaluar la concentración foliar de nutrientes y la eficiencia de utilización de estos. Los resultados mostraron, que con cualquiera de las dosis aplicadas se alcanzan beneficios importantes de la simbiosis, con incrementos en las variables fúngicas, el contenido de biomasa seca, las relaciones hídricas y la mejor eficiencia en la utilización de los nutrientes. Sin embargo, en general, solo con la aplicación de la dosis D1 se obtuvieron estos beneficios, resultando en este trabajo la dosis más adecuada y rentable.

Key words: tomato, soil fungi, growth, plant water relations, nutrition

Palabras clave: tomate, hongos del suelo, crecimiento, relaciones planta agua, nutrición

INTRODUCCIÓN

El interés fundamental que ha despertado la asociación de las plantas con los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), se debe a su universalidad entre las familias de plantas vasculares, su inespecificidad aparente al inocularlas y a evidencias numerosas de su influencia en el crecimiento de las plantas mediante una incorporación mayor de nutrientes y la mejora de sus relaciones hídricas (1, 2).

¹ Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32700.

² Empresa SYMBORG, Campus de Espinardo 7 edif. CEEIM CP 30100, Murcia, España.

³ Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Murcia, España.

✉ amico@inca.edu.cu

En los ecosistemas naturales y semi-naturales, los HMA son el grupo más abundante y funcionalmente los más importantes en el suelo y responsables de la dependencia micotrófica del 90 % de las plantas terrestres (3).

Es debido, a sus efectos benéficos en las plantas que son aplicados en la práctica agrícola como biofertilizantes. Además, su empleo reduce considerablemente el impacto ambiental en las zonas agrícolas (4, 5).

Estos productos, generalmente son elaborados en soporte sólido y en Cuba, en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) a partir del año 2000 se obtuvo un inoculante en soporte líquido, LicoMic (6) lo que permite su empleo a través de sistemas de riego y así diversificar las vías de aplicación de estos hongos con mayor eficiencia en dosis adecuadas y rentables.

Por lo antes expuesto, se realizó el siguiente trabajo con el objetivo fundamental de conocer los efectos de diferentes dosis de un inoculante micorrizógeno en soporte líquido en variables del crecimiento, las relaciones hídricas y la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes de plantas de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la finca experimental del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), en la localidad de Santomera-Murcia, España.

Semillas de *Solanum lycopersicon* L. variedad INCA9 [1] de crecimiento determinado, correspondiente al programa de mejoramiento genético del tomate del INCA-MES, 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. Las características del suelo utilizado aparecen en la Tabla I.

Tabla I. Características del suelo empleado.

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 100 g ⁻¹
Sulfatos	0,29 meq 100 g ⁻¹
Hierro asimilable	8,51 ppm
Cobre asimilable	1,60 ppm
Manganeso asimilable	42,01 ppm

TRATAMIENTOS

Se estudiaron cuatro tratamientos: tres dosis (D1, D2 y D3) de un inoculante micorrizógeno en soporte líquido a base de *Glomus fasciculatum* actualmente *Glomus cubensis* (7), 75 (D1), 150 (D2) y 300 esporas planta⁻¹ (D3), aplicadas en la siembra. Estas dosis se compararon frente a un tratamiento Control, sin inoculación. A cada tratamiento correspondieron 25 macetas distribuidas siguiendo un diseño completamente aleatorizado y fueron colocadas en un invernadero de policarbonato equipado con un sistema de refrigeración tipo *cooling*.

La inoculación se realizó por el sistema de riego, empleando una bomba inyectora con caudal de 30 L h⁻¹. Para la aplicación de las diferentes dosis se insertaron válvulas en las líneas de riego que permitieron independizar cada tratamiento (dosis) y poder realizar una inoculación correcta.

El riego se llevó a cabo mediante un sistema de fertirriego y a cada recipiente (maceta) se le colocó un emisor (gotero) de 2 L h⁻¹ de entrega y un dispositivo para la distribución uniforme del agua en la superficie del sustrato.

A partir de la siembra hasta el inicio de la germinación el riego fue con agua solamente a razón de 0,5 L aplicado dos veces por día a cada recipiente para asegurar una buena germinación. Después de germinadas las plantas, estas recibieron 0,40 L dos veces por semana hasta 12 días después de la siembra. A partir de esta fecha se inició la fertirrigación, adicionando a un tanque de 2000 L los siguientes fertilizantes:

NH ₄ NO ₃	(96 %)	86 g
KNO ₃	(99,8 %)	1430 g
Ca (NO ₃) ₂	(91 %)	828 g
H ₃ PO ₄	(72 %)	408 g
HNO ₃	(54 %)	352 g

Al inicio el fertirriego se aplicó a razón de 0,40 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.

Los resultados del análisis del agua utilizada para el riego del experimento se muestran a continuación:

PH	7,90
C.E.	1,166 mmhos cm ⁻¹
S.T.D.	0,830 g L ⁻¹

Estos valores demuestran que el agua utilizada fue de buena calidad.

EVALUACIONES REALIZADAS

Variables fúngicas

- ♦ Colonización radical: método de Azul de Tripán (8).
- ♦ Ocupación porcentual fúngica (9).
- ♦ Dependencia Micorrízica (DM) en base a la producción de masa seca total y mediante la fórmula:

DM= Masa seca de plantas con HMA- Masa seca de plantas sin HMA (10).
Masa seca de plantas con HMA

Las evaluaciones fueron realizadas en raicillas de tres plantas por tratamiento y en dos momentos de muestreos, a los 25 y 40 días de germinadas (DDG). Para la colonización y la ocupación porcentual las muestras fueron observadas en un estéreomicroscopio y microscopio Olympus.

Potencial hídrico foliar (Ψ_f) (Mpa) y sus componentes. Se midió en cinco plantas por tratamiento a los 25 y 40 DDG. 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). Para el potencial osmótico actual foliar (ΨO act. foliar) inmediatamente después de evaluar el Ψ_f las hojas se cubrieron con papel aluminio y se congelaron en nitrógeno líquido y para la determinación del potencial osmótico saturado foliar (ΨO sat foliar) se tomaron hojas aledañas a las seleccionadas para la medida de Ψ_f y se colocaron en cámaras de hidratación con agua destilada, a la oscuridad y entre 6 y 8 °C durante 24 horas. Inmediatamente después se envolvieron con papel aluminio para su congelación en nitrógeno líquido y se almacenaron en congelador a - 80 °C.

Posteriormente se descongelaron a temperatura ambiente, se colocaron en Ependorf con pequeños orificios en su base, estos se colocaron dentro de otro similar sin perforar y por centrifugación durante tres minutos a 3 000 rpm se extrajo el jugo celular. A partir de alícuotas de 100 μ L, se determinó el potencial osmótico actual (ΨO act. foliar) y el potencial osmótico saturado foliar (ΨO sat foliar) con un osmómetro de presión de vapor Wescor 5500.

El potencial de presión (Ψp) se calculó a partir de la diferencia entre el potencial hídrico foliar y el potencial osmótico foliar actual, mediante la siguiente ecuación:

$$\Psi p = \Psi_f - \Psi O \text{ act. foliar} \quad (\text{Mpa}).$$

Conductancia estomática (gs). Estas evaluaciones se realizaron en tres plantas por tratamiento a los 25 y 40 DDG. En todos los casos las evaluaciones se comenzaron a las 10:30 a.m. utilizando un porómetro de difusión *steady state* (LICOR-1600, LICOR, Reino Unido). Para las evaluaciones correspondientes al potencial hídrico foliar y conductancia estomática se tomaron hojas del tercio superior de las plantas y bien expuestas al sol.

Masa seca de raíz y parte aérea. Estas variables se evaluaron en dos momentos del ciclo vegetativo de las plantas, a los 25 y 40 DDG. Para ello se tomaron 10 plantas por tratamiento y fueron separadas en raíz y parte aérea y secados en estufa de tiro forzado a 75 °C hasta peso constante.

Análisis mineral. A los 40 DDG se realizó un análisis foliar con el objetivo de conocer los efectos de los tratamientos en las concentraciones (%) de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Para ello, se tomaron cinco muestras por tratamiento, compuestas por 15 hojas totalmente desarrolladas y tomadas al azar.

Las determinaciones minerales se realizaron en un laboratorio especializado en este tipo de análisis. Los porcentajes de N y P se determinaron por el método del reactivo de Nessler y por espectrometría y las concentraciones de K, Ca y Mg mediante un espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-680 (Shimadzu Co. Ltd. Kyoto, Jp.). La eficiencia de la utilización de los nutrientes fue definida como la cantidad de biomasa producida por unidad de nutriente en los tejidos y fue calculada por la relación:

$$\frac{\text{Producción de biomasa aérea (g)}}{\text{Concentración de nutrientes (\%)}} \quad (10)$$

Los datos del porcentaje de colonización micorrízica fueron transformados por la función $2\arcsen\sqrt{x}$. Esta variable, al igual que los otros indicadores evaluados fue sometida a un análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA). Para el procesamiento de los datos y la comparación de medias, se utilizó el programa estadístico SPSS 10.0 para Windows y las medias con diferencias significativas se compararon según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar el comportamiento de la colonización micorrízica (Tabla II), se encontró que tanto a los 25, como a los 40 DDG no se encontraron diferencias significativas en las plantas inoculadas con las diferentes dosis estudiadas y los porcentajes de colonización más altos se presentaron a los 40 DDG, correspondiendo con la etapa de fructificación del tomate y en las plantas inoculadas. Cabe señalar que las plantas del tratamiento control presentaron, en ambos momentos, valores de infección mínimos, mientras que las correspondientes a los tratamientos inoculados presentaron valores relativamente altos en comparación con lo informado por otros investigadores trabajando en este cultivo (11).

El hecho de no existir diferencias significativas en los porcentajes de colonización entre las dosis estudiadas de este inoculante en formulación líquida, corroboró la eficacia de la inoculación con este producto, comportamiento que ha sido señalado con anterioridad^A.

^A Fernández, F.; Dell'Amico, J.; Pérez, Y.; Morte, A.; Honrubia, M. y Providencia, I. "Viabilidad y capacidad de colonización de hongos micorrízicos arbusculares en medio líquido (LicoMic)", eds. Frías-Hernández, J.T., Olalde-Portugal, V., y Ferrera-Cerrato, R., *Avances en el conocimiento de la biología de las Micorrizas*, edit. Universidad de Guanajuato, México, 2004, pp. 237-251.

Tabla II. Porcentajes de colonización, ocupación fúngica y dependencia micorrízica de plantas de tomate inoculadas con diferentes dosis de un inoculante micorrízico en formulación líquida a base de *G. cubensis*.

Tratamiento	Colonización %	Ocupación fúngica %	Dependencia micorrízica (en base a masa seca total) %
25 DDG			
Control	11,13 b	0,14 c	0
D1	63,37 a	3,37 b	54,37 a
D2	49,27 a	6,65 a	49,50 a
D3	54,73 a	1,91 b	39,75 a
E. est. X	2,1003 *	1,5011 *	5,8729 *
40 DDG			
Tratamiento			
Control	20,79 b	1,53 b	0
D1	83,14 a	17,49 a	37,10 ab
D2	75,26 a	13,73 a	49,01 a
D3	76,58 a	10,70 a	31,99 b
E. est. X	5,2112 *	3,7004 *	4,5514 *

* Diferencia estadísticamente significativa.

Por otra parte, los porcentajes de ocupación fúngica, que representan la intensidad de la colonización micorrízica, aumentaron considerablemente con el desarrollo del cultivo. A los 25 DDG los valores de esta variable fueron significativamente mayores en las plantas inoculadas con la dosis (D2) y a los 40 DDG no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes dosis. El hecho de existir una ocupación fúngica mayor a los 40 DDG justifica una eficiencia simbiótica mayor, al existir más estructuras fúngicas en el interior de las células radicales, y por tanto, un intercambio hongo-hospedera mayor, independientemente de la dosis empleada.

En cuanto a la dependencia micorrízica (DM), a los 25 DDG se encontró un comportamiento similar al del porcentaje de colonización y a los 40 DDG, la mayor dependencia micorrízica correspondió a las plantas inoculadas con D2, seguidas por las plantas de los tratamientos D1 y D3, respectivamente. Resulta oportuno señalar que a los 40 DDG la DM disminuyó en las plantas inoculadas con D1 y D3, con respecto a los 25 DDG, mientras que los valores en las inoculadas con D2 se mantuvieron similares.

Es de destacar que en esta variable no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las plantas inoculadas con D1 y D2 en los momentos evaluados, lo que sugiere que la simbiosis fue efectiva independientemente del número de esporas aplicado y las plantas inoculadas alcanzaron un crecimiento de la biomasa total entre un 40 y 54 % mayor que las no inoculadas a los 25 DDG.

En este sentido, en el cultivo del olivo (*Olea europaea*) se encontraron valores de DM entre 39 y 62 %, en dependencia de la cepa de *Glomus* empleada (10). En la especie *Oyedaea verbesinoides* (12) inoculando con la cepa *Glomus manihotis* han informado valores elevados de DM.

Otros investigadores señalan que las especies leñosas presentan una dependencia micorrízica mayor que las herbáceas, lo que al parecer está asociado a la carencia de pelos absorbentes. Por otra parte, existen evidencias de que las plantas con raíces ramificadas son más dependientes de las asociaciones micorrízicas que las no ramificadas. Otros estudios sugieren además, que las raíces fibrosas de especies tropicales son colonizadas rápidamente con una respuesta mayor en el crecimiento como resultado de la simbiosis (13).

En la Tabla III se presentan los valores de Ψ_f y sus componentes $\Psi O_{act. foliar}$ y Ψp , así como del $\Psi O_{sat foliar}$ donde se encontró, que a los 25 DDG las plantas inoculadas con la dosis D1 presentaron los valores más altos de Ψ_f con diferencias significativas con el resto de los tratamientos, de igual forma ocurrió con los valores de Ψp , aunque en este caso no hubo diferencias significativas con respecto a las otras dosis empleadas y sí con las plantas control. En cuanto al $\Psi O_{act. foliar}$, esta variable fue igual en todos los tratamientos y en el $\Psi O_{sat foliar}$ los valores más negativos correspondieron a las plantas inoculadas con las dosis D3 y D1, respectivamente, sin que se apreciaran diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

A los 40 DDG no existieron diferencias significativas entre las variables Ψ_f y su componente $\Psi O_{act. foliar}$ entre las plantas de los tratamientos en estudio, aunque los valores menos negativos correspondieron a las plantas de los tratamientos D1 y D3, con valores muy similares. En cuanto al Ψp , no se encontraron diferencias entre las plantas inoculadas con las tres dosis aplicadas, pero sí de estas con las del tratamiento control.

Tabla III. Comportamiento del potencial hídrico foliar (Ψ_f) y sus componentes osmótico ($\Psi_{Oact. foliar}$) y de presión (Ψ_p) y el potencial osmótico saturado ($\Psi_{Osat. foliar}$) en plantas jóvenes de tomate inoculadas con tres dosis de *G. cubensis* en formulación líquida.

Potencial hídrico foliar y sus componentes (MPa)				
Tratamiento	Potencial hídrico foliar	Potencial osmótico	Potencial de presión	Potencial osmótico saturado
25 DDG (9:00 a.m.)				
Control	- 0,47 c	- 0,91	0,44 b	- 0,66 a
D1	- 0,26 a	- 0,85	0,59 a	- 0,74 ab
D2	- 0,36 b	- 0,89	0,53 a	- 0,69 a
D3	-0,37 b	- 0,88	0,51 ab	- 0,81 b
E. est. X	0,0223	0,0098	0,0186	0,022
	*	n.s.	*	*
40 DDG (6:00 a.m.)				
Control	-0,37	- 0,80	0,43 b	- 0,90 c
D1	-0,31	-0,80	0,49 ab	-0,84 bc
D2	-0,34	-0,84	0,50 ab	-0,78 ab
D3	-0,32	-0,84	0,52 a	- 0,70 a
E. est. X	0,0102	0,0099	0,0186	0,0241
	n.s.	n.s.	*	*

* Diferencia estadísticamente significativa.

En el caso del $\Psi_{Osat. foliar}$ aun cuando las plantas del tratamiento control presentaron los valores más negativos, seguidas por las inoculadas con D1, no se evidenció la ocurrencia del proceso de ajuste osmótico, teniendo en cuenta los valores de Ψ_p alcanzado por las plantas de estos tratamientos.

En general, la inoculación micorrízica con cualquiera de las dosis empleadas favoreció las relaciones hídricas de las plantas en ambos momentos evaluados, aunque atendiendo a los valores del Ψ_f no se manifestaron síntomas de deficiencia hídrica en las plantas de ninguno de los tratamientos, indicando que el riego fue efectivo y aplicado uniformemente a todas las plantas.

Los beneficios de esta simbiosis mutualista en las relaciones hídricas de diferentes variedades de tomate han sido informados anteriormente con distintas cepas, dosis, tipos de inoculantes y formas de inoculación (14, 15).

Estos resultados también coinciden con quienes informan que la extensa red de hifas del micelio extramatricial producida por la simbiosis micorrízica actúa como una extensión de la raíz en el suelo (16), por lo que la planta obtiene una disponibilidad adicional de absorción de nutrientes, principalmente N, P y agua en el suelo (17). Por otra parte otros señalan que los HMA previenen la formación de espacios grandes entre las raíces y el suelo, lo que facilita la continuidad del agua a través de la interfase suelo-raíz (18).

Además de los efectos beneficiosos de los hongos micorrízicos arbusculares en la fisiología de las plantas, se le han atribuido beneficios en otros procesos ecológicos, incluyendo sus contribuciones a la estructura del suelo (19) lo que reviste una importancia vital para la sostenibilidad de los agroecosistemas. También, se ha señalado que tienen una influencia marcada en la formación de los agregados del suelo a través de procesos bioquímicos, biofísicos y biológicos, los cuales incluyen las acciones mecánicas de las hifas, la excreción de glicoproteínas y otros compuestos extracelulares y las interacciones con la biota del suelo (1). Estos aspectos, sin lugar a dudas, favorecen las relaciones hídricas del suelo y por consiguiente incrementan la disponibilidad del agua para las plantas.

En la Tabla IV se representan los resultados de las evaluaciones de conductancia estomática (gs) de las plantas.

A los 25 DDG los valores más altos de esta variable correspondieron a las plantas inoculadas con D1, presentando diferencias estadísticamente significativas con las plantas de los tres tratamientos restantes. Por otra parte, los valores más bajos se produjeron en las plantas del tratamiento control, mientras que a los 40 DDG no se presentaron diferencias significativas en las plantas de los tratamientos estudiados.

Tabla IV. Valores de conductancia estomática de plantas de tomate inoculadas con diferentes dosis de un inoculante micorrizico en formulación líquida.

Tratamientos	Conductancia estomática (mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹)
25 DDG	
Control	152 c
D1	180 a
D2	166 b
D3	168 b
E. est. X	4,0685 *
40 DDG	
Control	173
D1	135
D2	158
D3	175
E. est. X	8,3005 n.s.

* Diferencia estadísticamente significativa.

Estos resultados indican, que tanto en la gs, como en el Ψ_f los efectos beneficiosos de la inoculación fueron menos evidentes en la medida que se desarrolló el cultivo (40 DDG), incluso en el caso de gs los valores de esta variable en las plantas inoculadas con D1 y D2 fueron los más bajos. También, hay que tener en cuenta que estas variables dependen en gran medida de las condiciones ambientales reinantes en el momento de la medida y responden además, a muchas perturbaciones vinculadas al continuo hidráulico suelo-planta-atmósfera.

El efecto de los tratamientos de inoculación en la acumulación de biomasa seca de las plantas se presentan en la Tabla V, donde se encontró que tanto a los 25, como a los 40 DDG existió un efecto beneficioso notorio de la inoculación con HMA en la masa seca de raíz, aérea y total, destacándose generalmente en ese sentido las plantas inoculadas con las dosis D1 y D2. Sin embargo, en la relación masa seca de raíz/parte aérea solamente se presentaron diferencias estadísticamente significativas a los 40 DDG a favor de las plantas inoculadas con D2, mientras que las correspondientes al tratamiento control presentaron los valores más pequeños.

Es de señalar que existe un gran número de evidencias acerca de los beneficios de la micorrización en el crecimiento de las plantas, en tomate (20), en tabaco *Nicotiana tabacum* (21), en pimiento *Capsicum annum* (22), en arroz *Oryza sativa*, (16, 23, 24) en trigo duro *Triticum durum* (25) en sorgo *Sorghum vulgare* (26), entre otros, debido fundamentalmente a una absorción de nutrientes mayor, principalmente de fósforo (27). Además, se ha demostrado que estos hongos de forma natural se asocian con otros microorganismos que también contribuyen de forma positiva al crecimiento de las plantas.

Por otra parte, tanto en el cultivo del tomate, como en el trigo, se ha comprobado que la inoculación micorrizica en formulación líquida resultó más efectiva que en soporte sólido (EcoMic) debido, fundamentalmente, a algunas propiedades que le confiere el medio líquido a las esporas, que favorecen la germinación y la capacidad infectiva de estas.

Tabla V. Efecto de diferentes dosis del inoculante micorrizico líquido en variables del crecimiento del tomate.

Variables del crecimiento de las plantas				
Tratamiento	Masa seca de raíz (g)	Masa seca parte aérea (g)	Masa seca de total (g)	Relación masa seca raíz/parte aérea
25 DDG				
Control	0,050 b	0,200 c	0,250 c	0,26
D1	0,106 a	0,443 a	0,549 a	0,24
D2	0,118 a	0,363 ab	0,481 ab	0,33
D3	0,103 a	0,302 b	0,405 b	0,35
E. est. X	0,0076 *	0,0232 *	0,0288 *	0,0178 n.s.
40 DDG				
Control	0,452 b	2,473 b	2,925 c	0,19 b
D1	1,308 b	3,320 a	4,629 b	0,40 b
D2	2,413 a	3,676 a	6,088 a	0,67 a
D3	0,729 b	3,331 a	4,059 bc	0,22 b
E. est. X	0,2114 *	0,1571 *	0,3120 *	0,0577 *

* Diferencia estadísticamente significativa.

Al analizar los resultados en cuanto a la concentración foliar de nutrientes (Tabla VI A) se encontró, que no se presentaron diferencias significativas entre las plantas de los diferentes tratamientos, en relación con las concentraciones foliares de N, Ca y Mg y solo estas diferencias se presentaron en las concentraciones de P y K, sin que se apreciara un efecto sólido de los tratamientos de inoculación ya que en el caso del P, así como en el resto de los nutrientes, generalmente las concentraciones mayores correspondieron a las plantas del tratamiento control y las inoculadas con D2 y en el caso específico del K, la concentración mayor correspondió a las plantas inoculadas con D3 y D2 y los valores más bajos se presentaron en las inoculadas con D1. Por otra parte, se observó que los valores más bajos de concentración se presentaron en el P y el Mg. Estos resultados, al parecer, están asociados a que el mayor crecimiento aumentó la demanda de nutrientes, principalmente de P y esto provocó una disminución de las concentraciones de nutrientes en la biomasa de las plantas inoculadas. Este comportamiento fue observado con anterioridad por investigadores que trabajan con diferentes especies de pastos (28, 29).

Sin embargo, la inoculación micorrizica favoreció considerablemente la eficiencia en la utilización de los nutrientes (Tabla VI B) y en todos los casos la eficiencia resultó mayor en las plantas de los tratamientos de inoculación, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

Es de destacar, que la magnitud mayor de eficiencia de utilización se presentó en el P y el Mg, contrario a lo observado en su concentración y las más bajas correspondieron al N y al Ca.

Estos resultados indican, que las plantas inoculadas con cualquiera de las dosis estudiadas emplearon con mayor eficiencia los nutrientes del suelo en la producción de biomasa aérea que las del tratamiento control. Resultados similares fueron encontrados cuando se trabajó con posturas de tabaco en semilleros tecnificados (21). Por otra parte, (Roberts 2006) citado por (Stewart 2007) sugirió muy acertadamente que mejorar la eficiencia del uso de los nutrientes es un reto importante que debe enfrentar la agricultura en general, existen las herramientas para lograr este objetivo, siendo el empleo de este tipo de biofertilizantes un elemento de suma importancia (30). Sin embargo, se debe evitar que estas mejoras se realicen en perjuicio de los productores o del medio ambiente, es decir, evitar la disminución de los rendimientos y disminuir el empleo de los fertilizantes químicos.

CONCLUSIONES

Por los resultados alcanzados en cada una de las variables analizadas y el efecto beneficioso producido en ellas por el empleo de las dosis aplicadas de LicoMic, resulta evidente recomendar la aplicación de la dosis D1 como adecuada y económicamente rentable, independientemente de continuar los estudios en el empleo de dosis menores y en otros aspectos relacionados con la absorción de nutrientes.

Tabla VI. Concentración foliar de N, P, K, Ca y Mg (A) y eficiencia en la utilización de nutrientes (B) de plantas de tomate inoculadas con diferentes dosis de un inoculante micorrizico en formulación líquida.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg
A concentración (%)					
Control	5,20	0,48 a	2,93 b	4,67	0,92
D1	4,97	0,45 b	2,79 c	4,40	0,87
D2	5,07	0,48 a	2,97 ab	4,49	0,93
D3	4,97	0,42 b	3,05 a	4,63	0,92
Est. X	0,0502 n.s.	0,0078 *	0,0288 *	0,0750 n.s.	0,0164 n. s.
B (eficiencia de la utilización) Concentración (%)					
Control	0,48 b	5,15 b	0,84 b	0,53 b	2,70 b
D1	0,67 a	7,47 a	1,19 a	0,76 a	3,83 a
D2	0,73 a	7,65 a	1,24 a	0,83 a	3,99 a
D3	0,67 a	7,88 a	1,09 a	0,72 a	3,61 a
Est. X	0,0122 *	0,3599 *	0,0496 *	0,0354 *	0,1659 *

* Diferencia estadísticamente significativa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Harris-Valle, C.; Esqueda, M.; Valenzuela-Soto, E.M. y Castellanos, A.E. "Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología", *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 32, no. 4, 2009, pp. 265–271, ISSN 0187-7380.
2. Pérez-Moreno, J. y Negreros-Castillo, P. "Los hongos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas", *Interciencia*, vol. 36, no. 8, 2011, pp. 564–569, ISSN 0378-1844.
3. Smith, S.E. y Read, D.J. *Mycorrhizal Symbiosis*, edit. Academic Press, 25 de octubre de 1996, p. 621, ISBN 978-0-08-053719-1.
4. Miransari, M. "Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress", *Plant Biology*, vol. 12, no. 4, 1 de julio de 2010, pp. 563-569, ISSN 1438-8677, DOI 10.1111/j.1438-8677.2009.00308.x.
5. Pérez, A.; Rojas, S.J. y Montes, V.D. "Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el Caribe colombiano", *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, vol. 3, no. 2, 2011, pp. 366-385, ISSN 2027-4297.
6. Fernández, F.; Dell'Amico, J.M. y Pérez, Y. *Inoculante micorrizógeno líquido*, no. WO 2006/060968 A1, pp. 1-15.
7. Rodríguez, Y.; Dalpé, Y.; Séguin, S.; Fernández, K.; Fernández, F. y Rivera, R.A. "*Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba", *Mycotaxon*, vol. 118, no. 1, 5 de enero de 2012, pp. 337-347, DOI 10.5248/118.337.
8. Phillips, J.M. y Hayman, D.S. "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection", *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 55, no. 1, agosto de 1970, pp. 158-181, ISSN 0007-1536, DOI 10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
9. Giovannetti, M. y Mosse, B. "An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots", *New Phytologist*, vol. 84, no. 3, 1 de marzo de 1980, pp. 489-500, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x.
10. Porras-Soriano, A.; Soriano-Martín, M.L.; Porras-Piedra, A. y Azcón, R. "Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions", *Journal of Plant Physiology*, vol. 166, no. 13, 1 de septiembre de 2009, pp. 1350-1359, ISSN 0176-1617, DOI 10.1016/j.jplph.2009.02.010.
11. Fundora, L.R.; Mena, A.; Rodríguez, Y.; González, P.J.; Rodríguez, P. y González-Peña, D. "Estabilidad de la eficiencia de la cepa *Glomus mosseae* en la respuesta del tomate a condiciones de estrés hídrico fuera de su periodo óptimo", *Cultivos Tropicales*, vol. 29, no. 4, diciembre de 2008, pp. 47-53, ISSN 0258-5936.
12. Flores, C. y Cuenca, G. "Crecimiento y dependencia micorrízica de la especie pionera y polenectarífera *Oyeda verbesinoides* (tara amarilla), asteraceae", *Interciencia*, vol. 29, no. 11, noviembre de 2004, pp. 632-637, ISSN 0378-1844.
13. Zangaro, W.; Nishidate, F.R.; Camargo, F.R.S.; Romagnoli, G.G. y Vandressen, J. "Relationships among arbuscular mycorrhizas, root morphology and seedling growth of tropical native woody species in southern Brazil", *Journal of Tropical Ecology*, vol. 21, no. 05, septiembre de 2005, pp. 529–540, ISSN 1469-7831, DOI 10.1017/S0266467405002555.
14. 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*, vol. 138, 2002, pp. 387-393, ISSN 0021-8596.
15. Dell'Amico, J.M.; Fernández, F.; Nicolás, E.; López, L.F. y Sánchez-Blanco, M.J. "Respuesta fisiológica del tomate a la aplicación de dos inoculantes a base de *Glomus* sp. (*INCAM 4*) por dos vías de inoculación diferentes", *Cultivos Tropicales*, vol. 28, no. 2, 2012, pp. 51–58, ISSN 0258-5936.
16. Mena Echevarría, A.; Fernández Suárez, K.; Jerez Mompie, E.; Olalde Portugal, V. y Serrato, R. "Influencia de la inoculación con *Glomus Hoi-Like* y un conglomerado de especies de HMA en el crecimiento de plantas de sorgo sometidas o no a estrés hídrico", *Cultivos Tropicales*, vol. 32, no. 1, marzo de 2011, pp. 16-27, ISSN 0258-5936.
17. Ruiz Sánchez, M.; Ruiz - Lozano, J.M. y Muñoz Hernández, Y. "Las acuaporinas, su relación con los hongos micorrízicos arbusculares y el transporte de agua en las plantas", *Cultivos Tropicales*, vol. 32, no. 3, septiembre de 2011, pp. 18-26, ISSN 0258-5936.
18. Augé, R.M. "Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations", *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 84, no. 4, 1 de noviembre de 2004, pp. 373-381, ISSN 0008-4271, DOI 10.4141/S04-002.
19. Rillig, M.C. y Mummey, D.L. "Mycorrhizas and soil structure", *New Phytologist*, vol. 171, no. 1, 1 de julio de 2006, pp. 41-53, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x.
20. Mujica Pérez, Y. y Batlle Sales, J. "Funcionamiento de la inoculación líquida con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)", *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 4, diciembre de 2013, pp. 5-8, ISSN 0258-5936.
21. Cruz Hernández, Y.; García Rubido, M.; Hernández Martínez, J.M. y León González, Y. "Influencia de las micorrizas arbusculares en combinación con diferentes dosis de fertilizante mineral en algunas características morfológicas de las plántulas de tabaco", *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 3, septiembre de 2012, pp. 23-26, ISSN 0258-5936.
22. Montero, L.; Duarte, C.; Cun, R. y Cabrera, J.A. "Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L. var. Verano 1) cultivado EN diferentes condiciones de humedad del sustrato", *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 3, septiembre de 2010, pp. 00-00, ISSN 0258-5936.
23. Fernández, F.; Dell'Amico, J.M.; Angoa, M.V. y de la Providencia, I.E. "Use of a liquid inoculum of the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus hoi* in rice plants cultivated in a saline Gleysol: A new alternative to inoculate", *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, vol. 3, no. 2, 2011, pp. 24–33, ISSN 2006-9758.

24. Ruiz Sánchez, M.; Polón Pérez, R.; Vázquez Del Llano, B.; Muñoz Hernández, Y.; Cuéllar Olivero, N. y Ruiz-Lozano, J.M. "La simbiosis micorrizica arbuscular en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) sometidas a estrés hídrico: Parte I. Mejora la respuesta fisiológica", *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 4, diciembre de 2012, pp. 47-52, ISSN 0258-5936.
25. Ruiz-Sánchez, M.; Aroca, R.; Muñoz, Y.; Polón, R. y Ruiz-Lozano, J.M. "The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress", *Journal of Plant Physiology*, vol. 167, no. 11, 15 de julio de 2010, pp. 862-869, ISSN 0176-1617, DOI 10.1016/j.jplph.2010.01.018.
26. Plana, R.; González, P.J.; Fernández, F.; Calderón, A.; Marrero, Y. y DellAmico, J.M. "Efecto de dos inoculantes micorrizicos arbusculares (base líquida y sólida) en el cultivo del trigo duro (*Triticum durum*)", *Cultivos Tropicales*, vol. 29, no. 4, diciembre de 2008, pp. 35-40, ISSN 0258-5936.
27. Andrade, S. a. L.; Mazzafera, P.; Schiavinato, M.A. y Silveira, A.P.D. "Arbuscular mycorrhizal association in coffee", *The Journal of Agricultural Science*, vol. 147, no. 02, abril de 2009, pp. 105-115, ISSN 1469-5146, DOI 10.1017/S0021859608008344.
28. Johnson, N.C.; Rowland, D.L.; Corkidi, L. y Allen, E.B. "Plant winners and losers during grassland n-eutrophication differ in biomass allocation and mycorrhizas", *Ecology*, vol. 89, no. 10, 1 de octubre de 2008, pp. 2868-2878, ISSN 0012-9658, DOI 10.1890/07-1394.1.
29. Costa, K.A. de P.; Faquin, V.; Oliveira, I.P. de.; Severiano, E. da C.; Simon, G.A. y Carrijo, M.S. "Extração de nutrientes pela fitomassa do capim-marandu sob doses e fontes de nitrogênio", *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, vol. 10, no. 4, 16 de diciembre de 2009, ISSN 1519-9940, [Consultado: 19 de junio de 2015], Disponible en: <<http://www.rbspa.ufba.br/index.php/rbspa/article/view/1410>>.
30. Stewart, W.M. "Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes", *Informaciones Agronómicas*, vol. 67, 2007, pp. 1-7, ISSN 2222-0178.

Recibido: 31 de octubre de 2014

Aceptado: 14 de enero de 2015

¿Cómo citar?

Dell' Amico, J. M.; Fernández, F.; Nicolás Nicolás, E. y Sánchez-Blanco, M. de J. "Crecimiento, relaciones hídricas y aprovechamiento nutricional en el tomate inoculado con un inoculante micorrizico en soporte líquido" [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. 4, pp. 77-85. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <-----/>.