

EFECTO DE DOS INOCULANTES MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (BASE LÍQUIDA Y SÓLIDA) EN EL CULTIVO DEL TRIGO DURO (*Triticum durum*)

R. Plana[✉], P. J. González, J. M. Dell'Amico, F. Fernández, A. Calderón y Y. Marrero

ABSTRACT. A field research was conducted at the National Institute of Agricultural Sciences (INCA), with the objective of testing the effectiveness of two mycorrhizal inoculants, LicoMic® and EcoMic®, compared to the standard fertilization dose as well as a control without biofertilizers or mineral fertilization in hard wheat on a Rhodic Nitisol soil. The mycorrhizal variables: % colonization, % visual density, endophyte weight (mg.g⁻¹), total (glomalin) glycoprotein (mg.g⁻¹ soil) and leaf analysis (% N, P and K) were performed, besides yield (t.ha⁻¹) and its components: grain number.spike⁻¹, spike number.m⁻² and 1000-grain weight (g). The experimental work was developed on a randomized block two-way classification design with five treatments: 1. absolute control; 2. LicoMic®-recovered seed+50 % N; 3. LicoMic®-sprayed seed+50 kg.ha⁻¹ N; 4. Production control (100 kg.ha⁻¹ N, 54 kg.ha⁻¹ P and 70 kg.ha⁻¹ K); 5. EcoMic®+50 kg.ha⁻¹ N. Results proved the positive action of biofertilizers on mycorrhizal variables, standing out LicoMic®. On the other hand, wheat crop showed an adequate nutritional level on N, P and K macroelement leaf analyses. Yield and its components achieved better results when applying liquid and solid mycorrhizal inoculants followed by mineral fertilization.

Key words: inoculation, arbuscular mycorrhizae, NPK fertilizers, hard wheat

RESUMEN. En el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) se realizó un experimento de campo, con el objetivo de probar la efectividad de dos inoculantes micorrízicos, líquido (LicoMic®) y sólido (EcoMic®), en comparación con la dosis de fertilización estándar, así como un testigo sin biofertilizantes ni fertilización mineral en el cultivo de trigo duro sobre un suelo Nitisol Ródico. Se analizaron las variables micorrízicas: porcentaje de colonización y densidad visual, masa del endófito (mg.g⁻¹), glicoproteína (glomalina) total (mg.g⁻¹ suelo), análisis foliar (% N, P y K), además del rendimiento (t.ha⁻¹) y sus componentes: número de granos.espiga⁻¹; número de espigas.m⁻² y masa de 1000 granos (g). El trabajo experimental se desarrolló sobre un diseño de clasificación doble en bloques al azar con cinco tratamientos: 1. testigo absoluto; 2. LicoMic® recubriendo la semilla+50 % N; 3. LicoMic® asperjado a la semilla+50 kg.ha⁻¹ N; 4. testigo de producción 100 kg.ha⁻¹ N, 54 kg.ha⁻¹ P y 70 kg.ha⁻¹ K; 5. EcoMic®+50 kg.ha⁻¹ N. Los resultados demostraron la acción positiva de los biofertilizantes sobre las variables micorrízicas, destacándose el LicoMic®. Por otra parte, el cultivo del trigo mostró un nivel nutricional adecuado en el resultado del análisis foliar de los macroelementos N, P y K. El rendimiento y sus componentes fueron mejores con el uso de los inoculantes micorrízicos líquido y sólido seguido de la fertilización mineral.

Palabras clave: inoculación, micorrizas arbusculares, abonos NPK, trigo duro

INTRODUCCIÓN

El trigo es una especie que tiene un amplio rango de adaptación, crece y se desarrolla en ambientes muy diversos, y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera, lo que unido a su gran consumo ha permitido que se extienda a muchas partes del mundo.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se utilizan como biofertilizantes, es decir, insumos microbiológicos que favorecen el desarrollo de una agricultura sostenible, su papel en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencial como fertilizante biológico son quizás motivos para considerarla como uno de los componentes importantes de la diversidad biológica del suelo (1).

Por otra parte, el sistema de inoculación y manejo cultural de los HMA resultan ser tecnologías ecológicamente racionales y aparecen como prácticas de base biológica más promisorias para la producción agraria (2).

Además, el cultivo de trigo asociado a los HMA permite proveer desde el primer momento los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo del cultivo (3).

Dr.C. R. Plana, Investigador Titular, Ms.C. P. J. González y Dr.C. F. Fernández, Investigadores Auxiliares, Ms.C. A. Calderón, Investigador Agregado y Y. Marrero, Investigador del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas; Dr.C. J. M. Dell'Amico, Investigador Titular del departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32700.

✉ plana@inca.edu.cu

En Cuba y otros países latinoamericanos, se han dado pasos acelerados para poner en práctica el uso de los biofertilizantes, entre los que se encuentran los HMA, que juegan un rol importantísimo en la nutrición de la mayoría de los cultivos, y contribuyen a la supervivencia y el crecimiento de las plantas (4, 5). Sus ventajas no se limitan solo al ámbito de la nutrición mineral sino que las plantas reciben beneficios adicionales, tales como la resistencia a estrés hídrico, exclusión de patógenos radicales y tolerancias a metales pesados. De hecho, se prefiere ver esta simbiosis como una adaptación multifuncional, cuyo rol va más allá del que normalmente se le asigna (3).

Debido a lo anteriormente expuesto, el siguiente trabajo tuvo como objetivo comprobar la efectividad de dos inoculantes a base HMA (uno de base líquida y otro de base sólida), con respecto a la fertilización mineral sobre el rendimiento agrícola y sus componentes, así como al funcionamiento micorrízico en un cultivo de trigo duro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el departamento de Servicios Agrícolas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), situado en San José de las Lajas, provincia de La Habana, en los 23° 00' de latitud norte 82° 12' longitud oeste y a 138 m snm.

El ambiente donde se desarrolló el trabajo experimental fue catalogado como ME5A, es decir, húmedo y cálido de las regiones tropical y subtropical (6). El suelo se clasifica como un Nitisol Ródico (7).

Para la caracterización química del suelo se emplearon los siguientes métodos analíticos:

- pH H₂O: Potenciometría. Relación suelo-disolución 1:2.5
- Materia orgánica (MO): Walkley y Black
- P₂O₅: Oniani
- Cationes intercambiables: extracción con NH₄ AC 1 mol.L⁻¹ a pH 7 y determinación por complexometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (Na y K).

Estos métodos están descritos en el manual de técnicas analíticas para el análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos del INCA (8).

Los resultados de las características químicas del suelo (Tabla I) muestran una fertilidad media a alta, notándose un contenido medio de materia orgánica, las cuales responden a lo descrito para este tipo de suelos (9).

Tabla I. Características químicas del suelo

Materia orgánica (%)	pH en H ₂ O	mg.kg suelo ⁻¹ P ₂ O ₅	Cationes cambiables (c.mol.kg ⁻¹)			
			K	Ca	Mg	Na
3,21	7,02	397,25	0,96	14,26	3,7	0,111

*Profundidad de suelo 0-20 cm

En los tratamientos micorrizados se aplicó el Licomic® a razón de 20 esporas de *Glomus hoi-like*.semilla⁻¹ (10) y en el caso del EcoMic® se aplicó la

técnica del recubrimiento de semilla con un título de 20 esporas.g de suelo⁻¹ (5).

Características del LicoMic®. Descripción. El inoculante micorrizógeno líquido, Licomic®, con patente solicitada en 2004 para algunos países, contiene la especie fúngica *Glomus hoi-like* (cepa INCAM4 procedente del cepario del INCA), formadora de micorrizas arbusculares, cuya efectividad en la agricultura ha sido probada en numerosas ocasiones (10). LicoMic® se elabora a diferentes concentraciones, de acuerdo con los cultivos y sistemas de aplicación de productos; en este trabajo se obtuvo un producto de 1x10⁶ esporas.L⁻¹.

La cepa utilizada se somete a un minucioso procedimiento de propagación en un determinado sustrato con componentes fúngicos y tras la correspondiente desinfección superficial, se incluyen en un medio líquido específico en estos momentos bajo solicitud de patente (10). **Características del EcoMic®. Descripción.** El inoculante micorrizógeno sólido Ecomic®, con patente no. 22641, es un producto que contiene propágulos de hongos micorrizógenos arbusculares con alto grado de pureza y estabilidad biológica, de probada efectividad y alta eficiencia (5).

La especie fúngica utilizada fue la *Glomus hoi-like*, cuya efectividad en la agricultura ha sido probada en numerosas ocasiones. Tiene una composición mínima garantizada de 20 esporas.g⁻¹ de inoculante.

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas experimentales fueron de 3 m de largo x 4,2 m de ancho para una superficie por parcela de 12,6 m².

Se aplicaron los siguientes tratamientos:

- ⇒ Testigo absoluto
- ⇒ LicoMic®recubriendo la semilla+de N. 50 kg. ha⁻¹ de N (50 % de N)
- ⇒ LicoMic®asperjado a la semilla + 50 kg.ha⁻¹ de N (50 % de N)
- ⇒ Testigo de producción 100 kg.ha⁻¹ de N, 54 kg.ha⁻¹ de P y 70 kg.ha⁻¹ de K
- ⇒ EcoMic® + 50 kg. ha⁻¹ de N (50 % de N)

La fertilización mineral de 100 kg .ha⁻¹ N aplicada al tratamiento 4 fue fraccionada en un 50 % al momento de la siembra con los demás elementos (54 kg.ha⁻¹ de P y 70 kg.ha⁻¹ de K) y el resto (50 kg.ha⁻¹ de N) a los 66 días después de germinada la semilla en el estadio 37 (hoja bandera apenas visible) de la escala de Zádocks (11). A los tratamientos 2, 3 y 5 les fueron aplicados los 50 kg.ha⁻¹ de N al momento de la siembra.

Los muestreos del cultivo se hicieron en la fase en que la vaina de la hoja bandera se abre, 4.7 de la escala de Zádocks (11) para los estadios de crecimiento de los cereales, a los 87 días después de sembrado (DDS). El experimento se sembró el 27 de diciembre del 2006. El ciclo total del cultivo fue de 102 días y se cosechó en abril del 2007.

Las variables analizadas fueron: número de esporas.g⁻¹ de HMA en el suelo rizosférico (12), porcen-

taje de colonización micorrízica mediante la técnica de tinción de las raíces (13) y porcentaje de densidad visual a través del método de los interceptos (14), así como la cantidad de glomalina (glicoproteína) total ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) obtenida mediante la extracción al suelo por la técnica de presión y calentamiento (15).

El contenido de nutrientes foliares (% de N, P y K) y porcentaje de proteína cruda se determinaron por los métodos descritos en el manual de laboratorio de técnica analíticas del INCA (8).

Para el rendimiento y sus componentes, se evaluaron el número de granos x espiga; número de espigas por m^2 ; masa de 1000 granos (g) y el rendimiento agrícola ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

A las variables porcentuales y el número de esporas. g^{-1} de suelo se le hicieron las pruebas de la normalidad y heterogeneidad de la varianza y las variables que no cumplieron con los supuestos del anova; se realizó la alternativa de transformar los datos $2\arcsen\sqrt{\%}$ para el caso de los porcentajes y $\log x+1$ para el número de esporas. g^{-1} de suelo⁻¹.

El procesamiento estadístico de los resultados experimentales se hizo mediante un análisis de varianza de clasificación doble y se empleó la dócima de Duncan (16), cuando existieron diferencias entre las medias de los tratamientos. Se utilizó el procesador estadístico SPSS 11,5 en todos los casos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las variables micorrízicas, como respuesta a los diferentes tratamientos, se aprecian en la Tabla II, en la cual el número de esporas. g^{-1} de suelo resultó superior en los tratamientos micorrizados; sin embargo, donde se aplicó el inoculante sobre base líquida LicoMic® se registró una mayor esporulación de las micorrizas arbusculares; es de señalar que el tratamiento con el inoculante sobre base sólida EcoMic® también tuvo un alto número de esporas sin diferenciarse del inoculante líquido y en los tratamientos testigos (producción y absoluto) se registraron las menores poblaciones.

Lo expuesto anteriormente puede deberse a una actividad colonizadora muy fuerte, dada por la elevada competencia excluyente de otras especies de hongos micorrízicos arbusculares.

Por otra parte, se aprecia que la colonización micorrízica resultó más efectiva con el inoculante LicoMic® al reflejar valores superiores con respecto a los demás tratamientos, sin diferenciarse estadísticamente del EcoMic®, lo cual evidencia que el inoculante de base líquida presenta una mayor eficiencia. Resultados similares al encontrado en este trabajo fueron informados al compararse diferentes tipos de inoculantes (5, 10). Debe señalarse que las cepas nativas presentes en el suelo manifestaron valores aceptables de colonización, los cuales se corresponden con la literatura entre un 20 y 45 % (17, 18). Sin embargo, el LicoMic® resultó ser superior.

Al observar los valores de la densidad visual (variable que mide la intensidad de la colonización micorrízica), se muestra que los mayores porcentajes estuvieron dados por los inoculantes líquido y sólido, lo cual pudiera estar relacionado con la posible efectividad que alcanza el sustrato líquido sobre el sólido.

Otra variable a destacar fue la mayor cantidad de glicoproteína total registrada en los tratamientos con LicoMic® y EcoMic®, que reafirma la posibilidad de una mayor simbiosis micorrízica producto de la cantidad de proteína registrada, los cuales pudieran influir en una mayor formación de agregados en el suelo, aunque esto no fue objeto de estudio de este trabajo. Por otra parte, los tratamientos donde no se aplicaron inoculantes micorrízicos tuvieron valores bajos de esta variable, lo que puede ser atribuible a las micorrizas nativas encontradas en el suelo donde se realizó el estudio. No obstante, los resultados de esta variable coinciden con otros (19), donde se demuestra que la glomalina producida por los HMA son producto de la simbiosis entre planta y microorganismo, y que además contribuye a la formación de agregados del suelo, entre otras propiedades físicas de estos.

Tabla II. Efecto de los tratamientos sobre las variables micorrízicas

Tratamientos	Variables						
	No. esporas. g^{-1} de suelo		Colonización		Densidad visual		Glomalina glicoproteína. $\text{mg}\cdot\text{suelo}^{-1}$
	Trans. $\text{Log}x+1$	#	Transf. $2\arcsen\sqrt{\%}$	%	Transf. $2\arcsen\sqrt{\%}$	%	
Testigo absoluto	2,98 c	97	0,7424 b	45,55	0,3884	1,44	2,79 b
Lic. R. + 50 % N	3,18 ab	163	0,8557 a	57,0	0,4984	2,32	8,29 a
Lic. A. + 50 % N	3,28 a	201	0,8762 a	58,8	0,4827	2,24	8,26 a
Prueba producción 100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N; 54 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P; 70 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K	3,02 bc	104	0,7543 b	46,03	0,4439	1,85	2,94 b
Ecomic + 50 % N	3,17 ab	152	0,7970 a	51,35	0,4904	2,19	2,93 b
Esx	0,0547*		0,0224*		0,0385 ns		0,2167*

*Letras diferentes en la misma columna difieren significativamente para $p=0,05$

Los contenidos de nitrógeno foliar registrados muestran que hubo un abastecimiento de este nutriente a las plantas de trigo en los tratamientos donde fueron aplicados los inoculantes; este resultado permite plantear el funcionamiento de la simbiosis de los hongos micorrízicos arbusculares en este cereal, pues resultados similares señalaron la presencia y asimilación de este nutriente con la presencia de las micorrizas arbusculares a través de la colonización de este hongo (20, 21).

Por otra parte, el tratamiento 4 (testigo de producción con aplicación de 100 kg de N.ha⁻¹) manifestó el mayor porcentaje de N, lo cual se debe a una aplicación mayor en este tratamiento, siendo a su vez más absorbido vía sistema radical y también por el funcionamiento de los hongos micorrízicos arbusculares (nativos) presentes en el suelo (Tabla II) reflejado en el porcentaje de colonización.

Debe señalarse que valores registrados (11) para esta variable (% de N foliar) en este tratamiento están por encima del índice crítico del trigo para producciones entre 4 y 5 t.ha⁻¹.

El tratamiento 5 (aplicación del inoculante sólido + suplemento de 50 kg de N.ha⁻¹) alcanzó un valor intermedio de nitrógeno foliar entre el inoculante líquido y el testigo de producción, sin diferenciarse significativamente de ambos.

Los contenidos de nitrógeno foliar registrados, donde fueron aplicados los inoculantes (tanto líquido como sólido), establecen que hubo un abastecimiento de este nutriente a las plantas de trigo superior al testigo absoluto, lo cual sugiere que hubo un funcionamiento de la simbiosis micorrízica en la nutrición de este cereal.

Resultados similares (20, 21) indican la presencia de este nutriente en el tejido foliar, debido al proceso de la simbiosis micorrízica que permite la absorción y transportación de nutrientes a través de los micelios.

El contenido de fósforo foliar no reflejó diferencias significativas para ninguno de los tratamientos, lo cual puede deberse a los contenidos de este elemento registrados por el análisis de suelo (Tabla III), que es tomado por las plantas de la solución del suelo a través de su sistema radical y en este caso en particular por la interacción tripartita planta- micorrizas arbusculares (simbiosis micorrízica) y suelo, manifestándose en valores superiores al índice crítico foliar de este nutriente en el trigo duro (11) e indicando un buen desarrollo del cultivo.

Resultados similares en trigo y maíz demuestran el efecto de la fertilización mineral sobre el porcentaje de longitud de las raíces colonizadas, al aplicar dosis bajas de fósforo, lo que permite inferir que son las que favorecen la simbiosis micorrízica en ese tipo de plantas (C₄ y C₃). Esto fundamenta la importancia y utilidad de las micorrizas arbusculares, como mecanismo biológico ideal para que las plantas de maíz y trigo aumenten la absorción de fósforo presente en la solución del suelo ante la presencia o ausencia de nitrógeno y fósforo, lo que permite minimizar las dosis de fertilizantes aplicadas (20, 21, 22).

Los contenidos foliares de potasio resultaron semejantes para los diferentes tratamientos en estudio, mostrando niveles satisfactorios para este cultivo, lo cual coincide con lo planteado para los cereales respecto a este macroelemento (11), que en general no presentan respuesta.

Por otra parte, se plantea que se encuentran altas concentraciones de este elemento, tanto en plantas micorrizadas como en las que no lo están (23, 24), lo cual puede deberse a que este se mueve con mayor facilidad en la solución del suelo. También se sabe que aún no se ha encontrado el mecanismo de transporte directo de estos iones en los hongos micorrízicos arbusculares (25).

Otra variable que resulta relevante es el contenido de proteína foliar, destacándose en su contenido el tratamiento 4 (que más nitrógeno recibió, 100 kg.ha⁻¹), seguido de los tratamientos 5, 3 y 2, que no se diferenciaron estadísticamente entre sí y, por último, el tratamiento 1 testigo absoluto, con un porcentaje significativamente menor. Además, se destaca la influencia de la simbiosis micorrízica (tratamientos 2, 3 y 5) en este resultado, dado por el aporte que hacen en los niveles de proteína con la aplicación del 50 % menos de nitrógeno en este tratamiento con respecto al testigo de producción (tratamiento 4).

Otros señalan la relación manifiesta del papel que juega el contenido de nitrógeno en la cantidad de proteína foliar del trigo (24, 25). Por otra parte, debe destacarse la importancia que ese resultado guarda en relación con la nutrición animal y humana por aportar un mayor nivel alimenticio.

Tabla III. Contenido de NPK y proteína foliar

Tratamientos	% N	% P	% K	% proteína cruda
Testigo absoluto.	1,09 c	0,26	1,10	7,05 c
LR + 50 % N	1,297 b	0,28	1,28	8,4 b
LA + 50 % N	1,235 b	0,29	1,14	8,0 b
Testigo producción 100 kg.ha ⁻¹ N; 54 kg.ha ⁻¹ de P; 70 kg.ha ⁻¹ de K	1,55 a	0,36	1,17	9,42 a
Ecomic + 50 % N	1,33 ab	0,307	1,02	8,62 b
Esx	0,02**	0,02	0,04	0,14**

*Letras diferentes en la misma columna difieren significativamente para p=0,05

Los resultados del rendimiento y sus componentes (Tabla IV) reflejan de forma general la respuesta del trigo duro a la aplicación del inoculante sólido (EcoMic®) y del tratamiento 4 con altos contenidos de N, así como a la micorrización mediante la aplicación del inoculante líquido (LicoMic®) y del tratamiento testigo absoluto, al cual no se le aplicó ningún fertilizante mineral ni tampoco inoculante micorrízico. Los tratamientos 5 y 4 registraron los mayores valores en el rendimiento, con respecto al testigo (tratamiento 1), lo cual pudiera explicarse por una mayor efectividad del inoculante sólido en la simbiosis y la aplicación de altas dosis de nitrógeno, a lo cual los cereales responden con una mayor producción, reflejada ampliamente en la literatura sobre la fertilización en granos y la aplicación de biofertilizantes a base de HMA (11, 20, 21).

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

Tratamientos	número de granos x espigas ⁻¹	Número espigas x m ⁻²	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
Testigo absoluto	25,00 c	580	29,0b	1,25c
LR + 50 % N	28,50 ab	635	32,0a	3,90b
LA + 50 % N	28,00 ab	630	31,25a	3,05b
Testigo Prod. 100kg.ha ⁻¹ N; 54 kg.ha ⁻¹ de P; 70 kg.ha ⁻¹ de K	27,00bc	631	32,0a	4,92 a
Ecomic + 50 % N	30,00 a	625	31,5a	5,12 a
Esx	0,42*	9,29 ns	0,33*	0,235*

*Letras diferentes en la misma columna difieren significativamente para p=0,05

Sin embargo, la aplicación del inoculante líquido LicoMic® (tratamientos 2 y 3) informó menores rendimientos para el cultivo (aunque estos son buenos con 3 t.ha⁻¹) que los tratamientos 4 y 5, lo cual pudiera atribuírsele a un bajo funcionamiento de la simbiosis micorrízica debido al porcentaje de colonización registrada (Tabla II) por los HMA al trigo, que no permitió mayor toma de nutrientes del suelo para las plantas; no obstante, deben continuarse estudiando los efectos de este tipo de inoculantes, por las ventajas que pudiera ofrecer su aplicación, así como por los resultados en otros cultivos (4), que reflejan un efecto positivo de este inoculante en otro cereal.

Por otra parte, al evaluarse los componentes del rendimiento, se reflejó la diferencia existente entre los que determinan una disminución del rendimiento, como es el caso del número de granos por espiga y la masa de 1000 granos, no siendo así en la variable número de espigas.m², que no reflejó diferencias significativas entre los diferentes tratamientos estudiados. Los resultados de estas variables reflejan que se debe continuar estudiando el efecto de estas en el rendimiento de los tratamientos donde se aplicó el inoculante líquido, pues no se evidencia una relación directa de los componentes con el rendimiento alcanzado, debiéndose profundizar en próximos estudios sobre este tipo de inoculante (LicoMic®).

Independientemente de lo expresado en el párrafo anterior, la respuesta alcanzada en el rendimiento y sus componentes evidencia la importancia de que la reducción de las dosis de los fertilizantes minerales es

posible en este cereal, con la aplicación de los inoculantes micorrízicos arbusculares EcoMic® y LicoMic®, logrando producciones de cereales más limpias en correspondencia con el mejoramiento de las condiciones medioambientales, así como reduciendo el costo de producción, debido al alto costo de los fertilizantes minerales.

Resultados que también manifiestan una relación positiva provocada por el funcionamiento fúngico en la respuesta productiva de cereales son reflejados también en este cultivo, destacándose que la relación entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas, es decir, la asociación simbiótica (micorriza arbuscular) favorece el desarrollo y la producción de los cereales (21, 22, 23).

Por lo que se plantea la estrategia biológica de la simbiosis con hongos micorrízicos arbusculares asociados a la adaptabilidad de los cereales, para aprovechar de forma eficiente los nutrientes suministrados en la fertilización, bajo el manejo sostenible del recurso suelo, como punto de partida para disminuir y regular el uso de fertilizantes minerales en la agricultura.

Los resultados de este trabajo muestran cómo el cultivo del trigo asociado a las micorrizas arbusculares, mediante la aplicación de los inoculantes líquido (LicoMic®) y sólido (EcoMic®), permiten alcanzar una adecuada respuesta productiva con aceptables indicadores del funcionamiento micorrízico para mejorar la actividad biológica del suelo. Por otra parte, se comprueba que con la aplicación de biofertilizantes a base de hongos micorrízicos arbusculares, se puede reducir la aplicación de fertilizantes minerales (26, 27).

REFERENCIAS

1. Guerra, B. E. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en Marcha*, 2008, vol. 21, no. 1, p. 191-201.
2. Rivera, R.; Fernández, F.; Hernández, A.; Martín, J. R. y Fernández, K. El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana. Ed. INCA. 2003. 166 p.
3. Montañón, N. M.; Quibor, V. y Cruz-Flores, G. Colonización micorrízica arbuscular y fertilización mineral de genotipos de maíz y trigo cultivados en un Andisol. *Terra*. 2001, vol. 19, no. 2.

4. Fernández, F.; Dell'Amico, J. M.; Fernández, K.; Providencia, I. de la y Rodríguez, Y. Funcionamiento de un inoculante líquido a base del hongo micorrízico arbuscular *Glomus* sp₁ (INCAM-4) en arroz *Oryza sativa* var. J-104 en suelo salino. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 2, p. 27-33.
5. Gómez, R. /et al./ Aplicación conjunta de hongos MA y bacterias rizosféricas mediante la técnica de recubrimiento de semillas. En: Informe Anual del Dpto. de Biofertilizantes. Documento interno INCA. 21 p. 1995.
6. Pingali, P. L. CIMMYT 1998-99 World wheat facts and trends. Global wheat research in a changing world: challenges and achievements. México, D.F.: CIMMYT, 1999.
7. IUSS Working Group. WRB. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports. Rome:FAO, 2006.
8. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Manual de técnicas Analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos: La Habana. 1989.
9. Hernández, A.; Morell, F.; Ascanio, M. O.; Borges, Y.; Morales, M. y Yong, A. Cambios globales de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles Ródicos Éutricos) de la provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 2, p. 41-50.
10. Fernández, F.; Dell'Amico, J. M. y Pérez, Y. Producto inoculante micorrizógeno líquido. Patente OCPI. 2004.
11. López-Bellido, L. Cultivos herbáceos. Cereales. Ed. Mundi-Prensa, 1991. p. 151-158.
12. Gederman, J. W. y Trappe, J. M. The endogonaceae in the pacific northwest. Mycologia Memoir No 5. The New York Botanic Garden. 1974, no. 5.
13. 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. *Transfer. Britanic: Mycology Society*, 1970, vol. 55, p. 158-161.
14. Giovannetti, M. y Mosse, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytology*, 1980, vol. 84, p. 489-500.
15. Wright, S. E.; Nichols, K. A. y Schmidt, W. F. Comparison of efficacy of three extractants to solubilize glomalin on hyphae and in soil. *Chemosphere*, 2006, vol. 64, no. 7, p. 1219-1224.
16. Duncan, D. B. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 1955, vol. 11, no. 1.
17. Herrera-Peraza, R.; Furrázola, E.; Ferrer, R. L.; Fernández, R. y Torres, Y. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *CENIC Ciencias Biológicas*, 2004, vol. 35, no. 2.
18. Fernández, F.; Dell'Amico, J. M. y Rodríguez, P. Efectividad de algunos tipos de inoculantes micorrízicos a base de *Glomus hoi* "like" en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) var. Amalia. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 3, p. 25-30.
19. Nichols, K. A.; Wright, S. E.; Liebig, M. A.; Pikul Jr, J. L. Functional significance of glomalin to soil fertility. p. 219-224. En: Great Plains Soil Fertility Conf. Proc. Vol. 10 Denver, CO. 2-3 March 2004. Kansas State Univ. Meeting Proceedings.
20. Cornejo, P.; Borie, F.; Rubio, R. y Azcon, R. Influence of nitrogen source on the viability, functionality and persistence of *Glomus etunicatum* fungal propagules in an Andisol. *Applied Soil Ecology*, 2007, vol. 35, no. 2, p. 423-431.
21. Echeverría, E. y Stiddert, G. A. El contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo como predictivo del incremento de proteína en el grano por aplicaciones de nitrógeno en la espigazón. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 1998, vol. 103, no. 1, p. 10.
22. Bolleta, A.; Venanzzi, V. y Krugger, H. Fertilización química y biológica en trigo. *Revista Desafío* 21, 2004, vol. 10, no. 24, p. 17-19.
23. Bolleta, A. y Krugger, H. Fertilización e inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en trigo. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2004.
24. Saleque, M. A.; Timsina, J.; Panauallah, G. M.; Ishaque, M.; Pathan, D. J.; Saha, P. K.; Quayyum, M. A.; Humphreys, E. y Meisner, C. A. Nutrient uptake and apparent balances for rice-wheat sequences. II. Phosphorus. *Journal of Plant Nutrition*, 2006, vol. 29, no. 1, p. 157-172.
25. Jeffries, P.; Gianinazzi, S.; Perotto, S.; Turnau, K. y Barea, J. M. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, vol. 37, no. 1, p. 1.
26. Rivera, R. A. /et al./ Efectividad de la simbiosis micorrízica, suministro de nutrientes y nutrición de las plantas. 2001. En: Congreso Latinoamericano y Cubano de las Ciencias del Suelo. Programa y Resúmenes. (15, V:2001:La Habana). P. 113.
27. Sánchez-Blanco, M. J.; Conejero, W.; Navarro, A.; Ortuño, M. F.; Alarcón, J. J.; Torrecillas, A.; Morte, A.; García-Mina, J. M. y López, L. F. Aplicación de un nuevo inoculante micorrízico líquido a través de riego localizado en lechuga. *Acta Agrícola Murciana*, 2005, no. 2, p. 1-8.

Recibido: 16 de octubre de 2007

Aceptado: 21 de noviembre de 2008