

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

F. Fernández[✉], J. M. Dell'Amico, Kalyanne Fernández, I. de la Providencia y Yakelín Rodríguez

ABSTRACT. This experiment was designed to define the mycorrhizal functioning of LicoMic[®], a liquid biofertilizer with the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Glomus* sp₁ (INCAM-4) under saline flooding soil conditions. A completely randomized design was done, where seed of rice (*Oryza sativa*) var J-104 was treated with a dose of 20 spores.seed⁻¹ of liquid suspension of LicoMic[®] and a control treatment without it. Growth dynamics during 90 days and mycorrhizal functioning were determined as well as the calculation of external mycelium: arbuscular endophyte ratio (EM:AE), as an indicator of mycorrhizal behavior. Up to 18 days, the highest values of morphological measures were recorded in the control treatment; however, that situation changed, starting by the highest increments in the inoculated treatment. On the other hand, mycorrhizal variables had a typical microbial behavior. When analyzing visual density and arbuscular endophyte functioning, a very well latent phase was defined, where the fungus slowly colonized the inner root from 0 up to 20 days, starting an exponential growth up to 40 days; after this time, a stabilized phase to the final crop was observed. On the contrary to external mycelium, an initial concentration increase was also observed, following a stationary-diminishing phase to the final crop. According to EM:AE, two mycorrhizal association phases could be appreciated, an initial-transition up to 25 days and another one starting by this moment, both concurrent with plant growth dynamics. The highest yield increments were found in the mycorrhizal treatment, which demonstrates the good adaptability of this kind of mycorrhizal species to such salinity conditions.

Key words: arbuscular mycorrhizae, biofertilizers, *Glomus* sp₁, saline soil, rice

RESUMEN. El trabajo tuvo como objetivo definir el funcionamiento micorrízico del biofertilizante líquido LicoMic[®] a base del hongo micorrízico arbuscular (HMA) *Glomus* sp₁ (INCAM-4), en condiciones de suelo salino anegado, en plantas de arroz (*Oryza sativa*), variedad J-104 sometidas a dos tratamientos: uno con inoculante micorrizógeno y el control sin micorrizar. En el tratamiento micorrizado se aplicó LicoMic[®] a razón de 20 esporas de *Glomus* sp₁.semilla⁻¹. Se realizó una dinámica del crecimiento durante 90 días, se midieron el rendimiento y sus componentes; además, se determinó el funcionamiento micorrízico durante el desarrollo del cultivo, así como se calculó la relación entre el micelio externo y endófito arbuscular (MEA:EA). Los mayores valores en la altura y profundidad del sistema radical se obtuvieron en el tratamiento control hasta los 18 días, momento a partir del cual se produce un cambio en el comportamiento, registrándose los mayores incrementos en el tratamiento inoculado. Las variables micorrízicas tuvieron un comportamiento típico microbiano, en el caso de la densidad visual y el endófito arbuscular, una fase de latencia muy bien definida, en donde el hongo colonizó lentamente el interior radical desde 0 hasta 20 días y a partir de entonces un desarrollo exponencial hasta los 40 días, momento en el cual alcanzó la fase estacionaria hasta el final del cultivo. En el caso del micelio fue todo lo contrario, un aumento inicial de la concentración de este propágulo, relacionado con una franca fase parasítica; a partir de los 30 días una disminución gradual con cierta estabilidad hacia el final del cultivo. Mediante la relación MEA:EA se definieron dos fases en la asociación simbiótica: una inicial de transición, hasta los 20-25 días y una mutualista a partir de este momento, coincidentes ambas con el crecimiento vegetal. Los mayores incrementos en el rendimiento se encontraron en el tratamiento inoculado, poniendo de manifiesto la adaptabilidad de esta especie de HMA en condiciones de salinidad.

Palabras clave: micorrizas arbusculares, biofertilizantes, *Glomus* sp₁, suelo salino, arroz

Dr.C. F. Fernández, Investigador Auxiliar; Ms.C. Kalyanne Fernández y Ms.C. I. de la Providencia, Investigadores y Ms.C. Yakelín Rodríguez, Investigadora Agregada 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 32 700.

✉ felixfm@inca.edu.cu, felinfmar@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

Los suelos afectados por la salinidad ocupan el 70 % de la superficie de la tierra y representan el mayor factor limitante en la producción vegetal (1). El aumento de la tolerancia de las plantas al estrés salino es muy importante en la agricultura.

La tolerancia a la salinidad varía ampliamente entre especies y genotipos. Las plantas se adaptan a la salinidad, ya sea tolerándola o evitándola; en el primer caso por ajustes osmóticos, absorbiendo los iones de la solución del suelo en las vacuolas o síntesis de solutos compatibles en el citoplasma. En el caso de evitar la sal, se realiza a través de: exclusión pasiva, extrusión activa y dilución de la sal en la planta (2).

El desarrollo de cultivos tolerantes a la sal o la desalinización del suelo a través de lavados sucesivos, no resulta económico para una agricultura sostenible (3, 4). En este sentido, pudiera resultar una buena opción la aplicación de micorrizas, para aliviar el estrés causado por la salinidad y el uso de especies de plantas tolerantes a la sal (5, 6).

Se conoce que existe una amplia distribución de la asociación de las plantas con los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en suelos afectados por la salinidad (7). Algunos estudios han demostrado que el uso eficiente de este fenómeno mejora el crecimiento de las plantas en una variedad de condiciones de estrés de salinidad (8, 9, 10, 11, 12).

Aunque las asociaciones simbióticas micorrízicas arbusculares son poco específicas, algunos trabajos han confirmado que existen diferencias fisiológicas y/o morfológicas dentro de cada especie y más aún dentro de ecotipos de una misma especie de hongo Glomales (13, 14, 15, 16).

En los últimos años están atrayendo mucha atención las diferencias en el comportamiento micorrízico de las especies, con el objetivo de mejorar la selección eficiente o conocer mejor la diversa funcionalidad o plasticidad ecológica de estos hongos (17, 18, 19).

Muchos cultivos en suelos anegados no establecen la simbiosis micorrízica. Estos hongos requieren de oxígeno para su metabolismo, compuesto usualmente muy deficiente en suelos saturados de agua; sin embargo, muchas especies de plantas revelaron un sorpresivo y elevado nivel de colonización micorrízica (20). En cultivos tales como el arroz, existen informes de la presencia de micorrizas (21, 22). Muchas plantas acuáticas tienen tejido con canales de aire en sus tallos y raíces, llamado aerenquima, el cual apoya la simbiosis micorrízica.

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 hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (23, 24), quienes juegan un importantísimo rol en la nutrición de la gran mayoría de los cultivos y contribuyen a la supervivencia y el crecimiento de las plantas, al reducir el estrés asociado con la nutrición, las relaciones con el agua, la estruc-

tura del suelo, el pH, las sales, los metales tóxicos y los patógenos (25, 26).

Por todo lo anterior, el objetivo principal de este trabajo es definir el funcionamiento micorrízico del biofertilizante líquido LicoMic® a base de la especie *Glomus* sp₁ (INCAM-4), en condiciones de suelo salino anegado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de dar respuesta al objetivo propuesto, se realizó un experimento en condiciones controladas en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas. El ensayo se realizó con plantas de arroz (*Oryza sativa*), variedad J-104, sometidas a dos tratamientos con inoculante micorrizógeno y el correspondiente control sin micorrizar. En el tratamiento micorrizado se aplicó LicoMic® a razón de 20 esporas de *Glomus* sp₁.semilla⁻¹.

Una vez asegurada la inoculación en cajuelas individuales, a los 15 días después de germinadas, las plantas fueron transplantadas a razón de 10 plantas por canaleta de hormigón, de 2 m² de área superficial, utilizando como sustrato en ambos contenedores, un suelo Hidromórfico Gley Nodular salinizado (27), cuyas principales características se presentan en la Tabla I. Se realizaron las labores propias del cultivo y se colocó en todos los tratamientos una lámina de agua a partir de los 18 días de sembradas las semillas.

Características del LicoMic®. Descripción. El inoculante micorrizógeno líquido LicoMic, con patente solicitada en 2004 para algunos países, contiene la especie fúngica INCAM-4, *Glomus* sp₁, formadora de micorrizas arbusculares, perteneciente a la familia *Glomaceae*, cuya efectividad en la agricultura ha sido probada en numerosas ocasiones. LicoMic® se elabora a diferentes concentraciones, de acuerdo con los cultivos y sistemas de aplicación de productos; en estos trabajos se obtuvo un producto con una concentración de 1x10⁶ esporas.L⁻¹.

La cepa utilizada se somete a un minucioso procedimiento de propagación en un determinado sustrato con una planta hospedera. Posteriormente, se extraen los componentes fúngicos y tras la correspondiente desinfección superficial, se incluyen en un medio líquido específico en estos momentos bajo solicitud de patente (28). **Determinaciones realizadas.** Se realizó una dinámica del crecimiento durante 90 días después del transplante (ddt), en donde se midieron la altura y profundidad del sistema radical; además, se evaluó en la cosecha el rendimiento y algunos componentes.

Tabla I. Algunas características químicas y número de esporas.50 g suelo⁻¹ del suelo Hidromórfico Gley Nodular salinizado utilizado en el experimento

MO (%)	pH	P (cmol.kg ⁻¹)	Ca	Mg (cmol.kg ⁻¹)	K	Na	C.E (µS.cm ⁻¹)	No esporas.50 g suelo ⁻¹
2.3	7.5	13.2	10.2	5.6	0.9	2.2	876	1.2

Por otra parte, se estableció el funcionamiento micorrízico durante el desarrollo del cultivo, para lo cual se realizaron evaluaciones de porcentaje de colonización (%), densidad visual (%), micelio extramático arbuscular y endófito arbuscular, empleando un estereomicroscopio (*Zeiss, West Germany-5-*) y un microscopio compuesto Axiostar (*Zeiss, West Germany*). Se calculó la relación entre el micelio externo y endófito arbuscular (MEA:EA).

Para realizar la evaluación micorrízica de las muestras, se empleó la técnica de tinción de raíces (29) y se evaluó el porcentaje de colonización a través del método de los interceptos (30), el cálculo matemático de la densidad visual, el endófito arbuscular y el funcionamiento micorrízico según los protocolos propuestos (31, 32). Además, se determinaron las poblaciones de esporas totales.g suelo⁻¹.

Análisis estadístico. Para el procesamiento estadístico de los resultados, se realizaron análisis de varianza de clasificación simple y se empleó la prueba de Tukey, cuando existieron diferencias significativas entre las medias, auxiliados del programa *Statgraphics® Plus*, 4.1. Se utilizó el programa para construcción de gráficos, *SigmaPlot 4*.

Los valores del porcentaje perteneciente a la variable micorrízica colonización, fueron transformados según la expresión $2\arcsen\sqrt{x}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se presentan algunas de las características químicas del suelo empleado en el experimento. Este presentó un pH ligeramente alcalino, niveles medios de materia orgánica, P, así como valores de Ca²⁺ del orden de 10 cmol.kg⁻¹. En cuanto a las características salinas, se puede afirmar que contiene elevados tenores de Na y una conductividad eléctrica alta, lo que demuestra características fuertemente salinas, no obstante presentar una fertilidad aceptable para el desarrollo del cultivo de arroz.

Por otra parte, el número de esporas encontrado en este sustrato fue muy bajo, lo cual es característico de los suelos agrícolas con una fuerte explotación, en don-

de disminuye la diversidad e intensidad de los HMA, dado entre otros factores por el laboreo intensivo, sobreexplotación y procesos típicos de quimización-salinización de los suelos (12).

El análisis de la dinámica del crecimiento de las plantas de arroz en estas condiciones arrojó un comportamiento diferenciado en los tratamientos y en las variables estudiadas. La altura de las plantas se desarrolló de forma constante, acelerando su velocidad de crecimiento a partir del día 27 (Tabla II).

En ambos tratamientos se aprecian diferencias significativas durante el desarrollo de la altura. Los mayores valores se obtuvieron en el tratamiento control hasta los 18 días, momento a partir del cual se produce un cambio en el comportamiento, logrando entonces el tratamiento inoculado con el hongo micorrizógeno arbuscular eficiente los mayores incrementos en altura de las plantas.

Este efecto de la micorrización sobre la altura de las plantas ha sido informado anteriormente (22, 23, 33, 34, 35). Las plantas que mantienen una simbiosis en sus raíces necesitan una gran cantidad de energía metabólica, para lograr un armónico desarrollo aéreo y a la vez mantener un organismo simbiótico en sus raíces. Este fenómeno representa un elevado flujo de carbono derivado del proceso fotosintético en etapas muy tempranas, que se traduce en un retardamiento del crecimiento vegetal; por lo tanto, la planta necesita crecer y lograr una tasa fotosintética adecuada para mantener funcionando la simbiosis.

Un comportamiento similar a la variable altura se observó en la dinámica de la profundidad del sistema radical, que fue superior al control a partir de los 32 ddt. En este caso se acentúa este comportamiento, debido a que es la parte del vegetal en donde se establece el hongo.

Este proceso representa un drenaje de fotosintatos desde la parte aérea hasta la zona radical. De la parte que toma el simbionte, la mayoría se utiliza para producir energía metabólica, asegurando a través de esta vía su mantenimiento y desarrollo, y el resto se moviliza en forma de azúcares y lípidos de masa fúngica intra y extrarradical (36, 37).

Tabla II. Dinámica del crecimiento de plántulas de arroz y colonización micorrízica durante 90 ddt en condiciones de suelo salino

ddt	1	7	10	13	18	20	23	27	32	39	60	90
Altura.cm												
G. sp ₁	10.5 b	10.5 b	10.9 b	12.4 b	13.0 b	17.1 a	17.0 a	19.8	23.8 a	32.8 a	63.5 a	74.1 a
Control	11.1 a	11.2 a	12.2 a	14.4 a	15.6 a	15.6 b	16.7 b	18.9	20.7 b	25.7 b	58.6 b	68.1 b
Es x	0.2***	0.12***	0.1***	0.2***	0.3***	0.2***	0.4***	0.9 ns	0.1***	0.2***	0.6***	0.2***
PSR												
G. sp ₁	0	0.6	1.4 b	2.6	4.3	6.18	6.48	6.82	7.9 a	7.08	13.9 a	16.9 a
Control	0	0.6	2.1 a	2.1	4.7	6.29	6.32	6.4	6.4 b	7.23	10.4 b	13.1 b
Es x	0.0 ns	0.3 ns	0.2***	0.6 ns	0.8 ns	0.3 ns	0.5 ns	0.4 ns	0.2***	0.3 ns	0.1***	0.2***
% Col.												
G. sp ₁	2 a	6 a	13 a	14 a	14 a	17 a	18 a	24 a	35 a	38 a	38 a	41 a
Control	0 b	3 b	3 b	6 b	10 b	12 b	13 b	15 b	20 b	21 b	19 b	22 b
Es x	0.3***	0.2**	0.13***	0.4***	0.6***	0.1***	0.2***	0.1***	0.2***	0.3***	0.2***	0.4***

PSR: Profundidad del sistema radical (cm) G.sp₁: *Glomus* sp₁ (INCAM 4) % Col.: Porcentaje de colonización micorrízica

Letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para P≤0.05

El estudio de la colonización micorrízica evidenció un comportamiento diferente al encontrado en las variables antes analizadas. En este caso y en ambos tratamientos, el desarrollo de la colonización fue progresivo y siempre se alcanzaron los mayores valores en el tratamiento inoculado con la especie *Glomus* sp₁ en comparación con el tratamiento control, que si bien no está inoculado, se presentaron valores de colonización micorrízica natural, hecho típico de experimentos en condiciones naturales.

El desarrollo fue bien marcado en el caso del tratamiento inoculado con HMA, alcanzando valores altos si tenemos en cuenta que el experimento se ejecutó en condiciones de inundación o con lámina de agua a partir de los 20 días. Al final del cultivo se apreció un valor de 44 %, lo que se considera alto comparado con otros trabajos de micorrizas en arroz, donde los máximos de colonización no superan el 25 % de colonización radical, con inoculantes sobre base sólida, como el MicoFert y EcoMic (22).

Este efecto de aumento en la presencia de la micorrización con el inoculante líquido de micorrizas había sido observado en el cultivo de tomate, lechuga y maíz en condiciones de suelos neutros, salinos y con buena aireación (28, 38).

La Figura 1 muestra el desarrollo de dos variables fúngicas muy importantes en el funcionamiento micorrízico del tratamiento inoculado con LicoMic®, la población de esporas y ocupación fúngica, expresada a través del porcentaje de densidad visual, que no es más que la intensidad con que el miceto coloniza el interior radical.

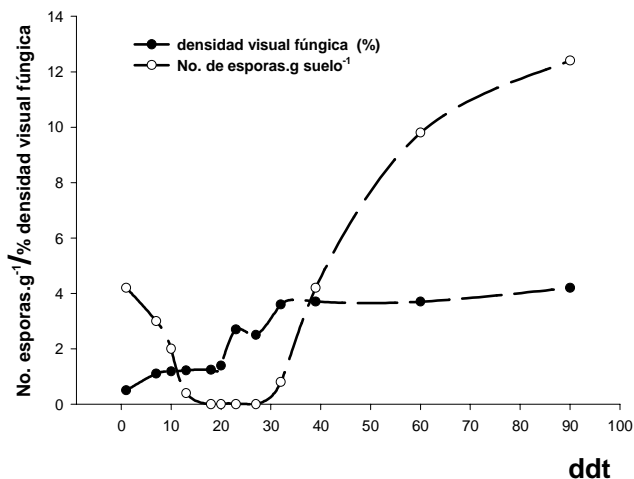


Figura 1. Dinámica de la producción de esporas y la ocupación fúngica, expresada a través de la densidad visual (%), en el tratamiento inoculado con el inoculante líquido

Como se pudo apreciar, la densidad visual tuvo un comportamiento típico microbiano, con una fase de latencia muy bien definida, en donde el hongo colonizó lentamente el interior radical desde 0 hasta 20 días y a partir de entonces un desarrollo exponencial hasta los

40 días, momento en el cual alcanzó la fase estacionaria hasta el final del cultivo.

En el caso de la población de esporas, en los primeros días aparecen valores en el suelo, derivadas de la inoculación (en las cajuelas hasta los 15 días), las cuales van a ir desapareciendo paulatinamente con el decursar de los días, producto de la germinación en condiciones favorables de humedad y alta temperatura, hasta caer su población en el suelo. A partir de los 30 días, comienza la producción de nuevas esporas, derivada del propio desarrollo de la biomasa fúngica externa y la simbiosis en la planta; en este caso, se mantiene creciendo la población hasta valores cercanos a las 12 esporas.g⁻¹ de suelo.

Este comportamiento en la producción de esporas ha sido bien documentado en la literatura, derivado del propio desarrollo de la asociación micorrízica y del completamiento del ciclo de vida del hongo. En condiciones de producción de inoculantes micorrízicos utilizando plantas trampa, los valores de esporas pueden duplicarse, una vez muerto el tejido vegetal y comenzada la traslocación de nutrientes desde las raíces hacia las hifas y estas a su vez formar nuevas esporas, alcanzando valores de hasta 200 esporas.g⁻¹ (39).

El análisis de las variables micelio externo arbuscular y endófito arbuscular (Figura 2) es muy interesante, pues indica cómo ocurren los comportamientos internos y externos del simbionte micorrízico, a medida que se desarrolla la simbiosis en cultivos de ciclo anuales.

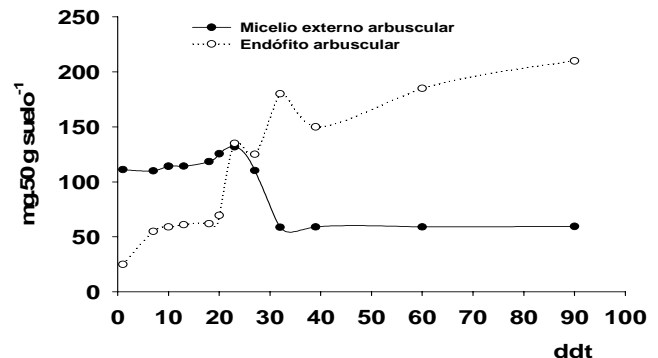


Figura 2. Comportamiento del micelio externo arbuscular y el endófito arbuscular en el tratamiento inoculado con el inoculante líquido

En este caso, se pueden apreciar altos valores de micelio externo durante los primeros estadios de desarrollo de la simbiosis, provocados por la capacidad de crecimiento fúngica a expensas de la planta (13), como un franco proceso parasítico, derivado del crecimiento exuberante del micelio en etapas tempranas de la colonización micorrízica en las plantas (horas), con una tasa fotosintética baja y a un costo metabólico elevado. En sentido contrario se desarrolla el endófito arbuscular, el cual logra muy bajos valores durante los primeros días,

no alcanzando un crecimiento importante hasta pasados los 25 días del cultivo, etapa considerada de transición en la simbiosis micorrízica arbuscular.

Después de los 30 días, ocurre una disminución y estabilización del micelio externo y un incremento gradual del endófito, relacionado con el crecimiento de la planta y desarrollo de la simbiosis.

La Figura 3 muestra la relación que se establece entre los componentes micorrízicos en el cultivo del arroz. Esta correspondencia entre los dos componentes principales de la simbiosis, el micelio externo y el endófito, expresa el funcionamiento de esta asociación, la cual pasaba por distintas fases de desarrollo (40).

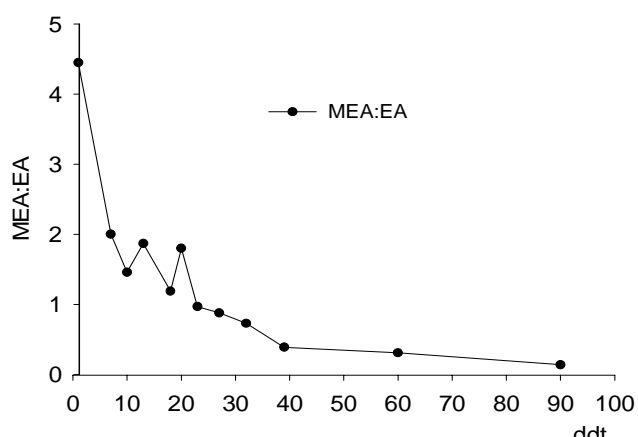


Figura 3. Relación entre el micelio externo arbuscular y el endófito arbuscular en el tratamiento inoculado con el inoculante líquido

Una inicial, en donde se presentaron altos valores de micelio externo en correspondencia con valores muy bajos de endófito, lo cual propició un franco parasitismo, expresado no solo por estas variables, sino por una disminución del crecimiento vegetal en relación con el control sin inocular o ineficientemente micorrizado, que no provoca cambios sustanciales en el desarrollo vegetal (Tabla II).

Una fase intermedia o de transición, en donde se comienzan a equilibrar ambas partes y una fase mutualista de intercambio, cuando se equilibran los componentes con valor de 1 e incluso menores, de manera que ocurre un incremento notable en el interior radical, que garantiza el adecuado intercambio de nutrientes a nivel de arbusculos en el interior celular.

Para este cultivo, en particular, se pueden definir bien dos fases: una inicial-transición, hasta los 20-25 días y una mutualista a partir de este momento. Paralelo a ello, un análisis de la altura de las plantas evidencia un despegue en el crecimiento vegetal en relación con el control sin inocular a partir de los 27 días de sembrado, lo cual es coincidente con la etapa de mutualismo de la simbiosis micorrízica en estas condiciones de salinidad.

En la Foto 1 se presenta una vista del desarrollo de las plantas tratadas con el biofertilizante líquido y el tratamiento control sin inocular. En este caso, se pueden apreciar las notables diferencias visuales entre las plan-

tas al inicio del experimento; nótese en el caso de las plantas tratadas, un amarillamiento del tejido foliar, presumiblemente consecuencia de un menor desarrollo foliar en esa etapa, provocado por la formación de una asociación simbiótica eficiente. A medida que crece el cultivo, el aspecto de este tratamiento va mejorando, alcanzando un mayor desarrollo foliar hacia los 60 días en relación con las plantas control.

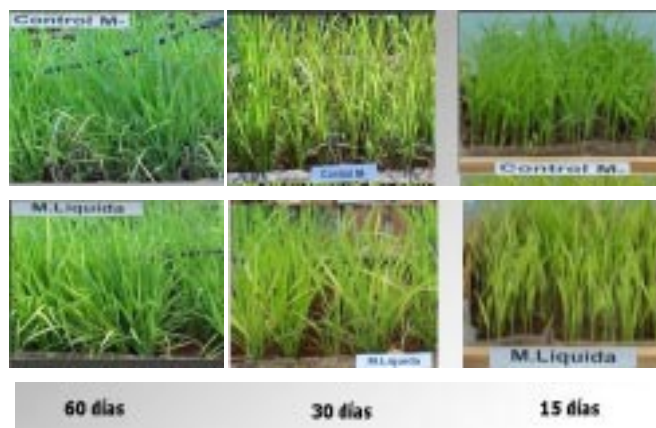


Foto 1. Aspecto de las plantas de arroz cultivadas sobre suelo salino, tratadas con LicoMic® y sin inocular (control)

Este efecto pudo ser comprobado posteriormente en el análisis del rendimiento y sus componentes (Tabla III).

Tabla III. Algunos componentes del rendimiento de plantas de arroz, tratadas con LicoMic® y sin inocular (control) en suelo salino

Tratamientos	No. de panículas.planta ⁻¹	Peso de panículas (g)	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento (g.planta ⁻¹)
<i>Glomus</i> sp ₁	8.33 a	2.70 a	3.69 a	21.66 a
Sin inocular	5.40 b	1.87 b	2.70 b	15.40 b
Es x	0.12 ***	0.05***	0.001***	1.34***
CV (%)	11.2	9.2	6.5	14.6

Letras iguales en la misma columna no difieren significativamente entre sí para P≤0.05

Se pudo apreciar un incremento en todas las variables del rendimiento evaluadas en las plantas tratadas con el biofertilizante líquido, en relación con las plantas control sin inocular, cuestión esta sumamente interesante en las condiciones de salinidad en que se trabajó.

Este efecto no solo se encontró en el rendimiento vegetal, sino que se pudo apreciar una colonización e intensidad micorrízica superior en presencia de la cepa *Glomus* sp₁, lo cual es contradictorio con otros resultados (12, 40), que han demostrado que la salinidad puede reducir la colonización micorrízica y la inhibición de la germinación de las esporas, así como del crecimiento hifal en el suelo, el esparcimiento del micelio después de la colonización inicial (41) y la reducción del número de arbusculos (42).

Sin embargo, se ha planteado una fuerte dependencia de plantas de maíz y algodón a especies de *Glomus mosseae* en condiciones de salinidad fuertes, lo cual pue-

de tener una importancia ecológica muy interesante, relacionada con la posibilidad de adaptación de especies de HMA a condiciones salinas fuertes (43, 44).

Es bueno destacar que la especie de hongo formador de micorrizas con que se hizo este trabajo, fue aislada originalmente de un suelo salino con tenores muy elevados de Na y una alta concentración de sales.

Datos no publicados acerca de esta especie en condiciones de la sabana boliviana del Chaco, aseveran una alta producción de micelio y 100 esporas.g⁻¹ en el cultivo del *Sorghum vulgare* y *Brachiaria decumbens* en condiciones de suelos con conductividad eléctrica de 1315 uS.cm⁻¹ y tenores de Na del orden de 3.52 cmol.kg⁻¹ de suelo, es decir, un ambiente mucho más salino que el que se trata en este estudio, por lo que no es difícil esperar resultados positivos en su efectividad y efecto agrobiológico.

Todo parece indicar que el funcionamiento de una determinada especie de HMA en condiciones de fuerte salinidad depende, en gran medida, no solo de la adaptabilidad al nicho ecológico-funcional en que se desarrollan las plantas, sino también del lugar y las condiciones en que fueron aisladas las especies fúngicas y en los sustratos en que han sido conservadas, de manera que estas logren mantener sus memorias funcionales en lo referente a su capacidad simbiótica, en condiciones similares a las que fueron aisladas originalmente.

Por otra parte, se ha encontrado una baja especificidad cepa eficiente HMA-cultivo (23, 45, 46, 47, 48), de forma tal que en una determinada condición edáfica, las cepas eficientes de HMA se asocian con los diferentes cultivos de manera efectiva. Por supuesto, esto no significa que todos los cultivos presentan el mismo grado de respuesta a la inoculación o de dependencia micorrízica, sino que todos se asocian efectivamente con las cepas que resultan eficientes para dicha condición edáfica.

A modo de conclusión, se puede aseverar que el uso de esta especie de hongo micorrízico fue efectivo para estas condiciones de suelo, lo cual resulta muy interesante, como alternativa viable y sostenible frente a las condiciones adversas provocadas por el estrés de salinidad.

REFERENCIAS

- Jain, P. K.; Paliwal, K.; Dixon, R. K. y Gjerstad, D. H. Improving productivity of multipurpose tree on substandard soil in India. *J. For.*, 1989, vol. 87, p. 38-42.
- Gorham, J. Mechanisms of salt tolerance of halophytes. En: *Halophytes and Biosaline Agriculture*. New York : Marcel Dekker, 1996, p. 31-53.
- Hamdy, A. Management practices under saline water irrigation. *Acta Hort.*, 1990, vol. 278, p. 745-754.
- Cantrell, I. C. y Linderman, R. G. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. *Plant Soil*, 2001, vol. 233, p. 269-281.
- Hartmond, U.; Schaesberg, N. V.; Graham, J. H. y Syvertsen, J. P. Salinity and flooding stress effects on mycorrhizal and non mycorrhizal citrus rootstock seedlings. *Plant Soil*, 1987, vol. 104, p. 37-43.
- Dixon, R. K.; Garg, V. K. y Rao, M. V. Inoculation of *Leucaena* and *Prosopis* seedlings with *Glomus* and *Rhizobium* species in saline soil: rhizosphere relations and seedlings growth. *Arid Soil Res Rehabil.*, 1993, vol. 7, p. 133-144.
- Juniper, S. y Abbott, L. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity. *Mycorrhiza*, 1993, vol. 4, no. 4, p. 45-57.
- Ruiz-Lozano, J. M.; Azcon, R. y Gomez, M. Alleviation of salt stress by arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species in *Lactuca sativa* plants. *Physiol. Plant*, 1996, vol. 98, p. 767-772.
- Al-Karaki, G. N.; Hammad, R. y Rusan, M. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. *Mycorrhiza*, 2001, vol. 11, p. 41-47.
- Azcón-Aguilar, C. y Barea, J. M. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Sci Horticult.*, 1997, vol. 68, p. 1-24.
- Singh, R. P.; Choudhary, A.; Gulati, A.; Dahiya, H. C.; Jaiwal, P. K. y Sengar, R. S. Response of plants to salinity in interaction with other abiotic factors. En: *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants*. Science Publishers, Enfield, USA, 1997, p. 25-39.
- Rao, D. L. N. Biological amelioration of salt-affected soils. En: *Microbial Interactions in Agriculture and Forestry*. USA:Enfield, 1998, p. 21-238.
- Bethlenfalvay, G. J.; Brown, M. S.; Franson, R. L. y Mihara, K. L. The glycine-glomus-bradyrhizobium symbiosis. IX. Nutritional, morphological and physiological response of nodulated soybean to geographic isolates of the mycorrhizal fungus of *Glomus mosseae*. *Physiol. Plant.*, 1989, vol. 76, p. 226-232.
- Bago, B.; Azcón-Aguilar, C.; Goulet, A. y Piche, Y. Branched absorbing structures (BAS): a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.*, 1998, vol. 139, p. 382-388.
- Bentivenga, S. P.; Bever, J. D. y Morton, J. B. Genetic variation of morphological characters within a single isolate of the endomycorrhizal fungus *Glomus clarum* (*Glomaceae*). *Am. J. Bot.*, 1997, vol. 84, p. 1211-1216.
- Smith, F. A. y Smith, S. E. Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytol.*, 1997, vol. 137, p. 380-388.
- Camprubi, A. y Calvet, C. Isolation and screening of mycorrhizal fungi from citrus nurseries and orchards and inoculation studies. *HortScience*, 1996, vol. 31, p. 363-369.
- Johnson, N. C.; Graham, J. H. y Smith, F. A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytol.*, 1997, vol. 135, p. 574-586.
- Douds Jr.; D. D. y Millner, P. D. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 1999, vol. 74, p. 183-193.
- Stenlund, D. L. y Charvat, I. D. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in floating wetland mat communities dominated by *Typha*. *Mycorrhiza*, 1994, vol. 4, p. 131-137.

21. Secilia, J. y Bagyaraj, D. J.. Selection of efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for wetland rice. *Biol. Fert. Soils*. 1992, vol. 13, p. 108-111.
22. Fernández, F.; Ortiz, R.; Martínez, M. A.; Costales, A. y Llonín, D. The effect of commercial arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculants on rice (*Oryza sativa*) in different types of soils. *Cultivos Tropicales*, 1997, vol. 18, no. 1, p. 5-9.
23. Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de postura de cafeto (*C. arabica*.L. var. Catuaí) en algunos tipos de suelos, [Tesis de grado], INCA, 1999, 128 p.
24. Fernández, F. *et al.*. Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y diferentes relaciones suelo: humus de lombriz sobre el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica*. L) var. Catuaí bajo la etapa de vivero en Cuba. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 2005.
25. Vosatka, M.; Jansa, J.; Regver, M.; Sramek, F. y Malcoma, R. Inoculation of mycorrhizal fungi - a feasible biotechnology for horticulture. *Plant. Annu. Rev. Bot.*, 1999, vol. 39, p. 219-224.
26. Rai, M. K. Current advances in mycorrhization in micropropagation. *In vitro Cell. Dev. Biol.-Plant*, 2001, vol. 37, p. 158-167.
27. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana : AGRINFOR, 1999. 64 p.
28. Fernández, F.; Dell'Amico, J. M. y Pérez, Y. Producto Inoculante Micorrizógeno Líquido. Patente OCPI. (Solicitada), 2004.
29. 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.
30. Giovannetti, M. y Mosse, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytology*, 1980, vol. 84, p. 489-500.
31. Trouvelot, A.; Kough, J. y Gianinazzi-Pearson, V. 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 (1986 jul. 1-5:Dijón), 1986. p. 217-222.
32. Herrera-Peraza, R.; Furrázola, E.; Ferrer, R. L.; Fernández, R. y Torres, Y. Funcional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 2004, vol. 35, no. 2.
33. Bethenfalvay, G. J. y Linderman, J. A. Mycorrhizae and crop productivity. *Hort. Crops Research Laboratory*, 1992, p. 1-27.
34. Terry, E.; Pino, M. A. y Medina, N. Efectividad agronómica de Azofert y Ecomic en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 1998, vol. 19, no. 3, p. 33-37.
35. Llonín, D. y Medina, N. Nutrición mineral con N, P y K en la simbiosis hongos micorrizógenos-tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en Ferralsol. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 4, p. 83-88.
36. Bowen, G. D. The biology and physiology of infection and its development. En: *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants*. Boca Ratón : CRC Press. 1987. p 27-57.
37. Bonfante-Fassolo, P. y Perotto, S. Plants and endomycorrhizal fungi: The cellular and molecular basis of their interaction. En: *Molecular signals in plant-microbe communications*. Boca Ratón : CRC press. 1992, p. 445-470.
38. 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.
39. 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. La Habana : MINREX, 2003. p. 144-166.
40. Hirrel, M. C. The effect of sodium and chloride salts on the germination of *Gigaspora margarita*. *Mycology*, 1981, vol. 43, p. 610-617.
41. McMillen, B. G.; Juniper, S. y Abbott, L. K. Inhibition of hyphal growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus in soil containing sodium chloride limits the spread of infection from spores. *Soil Biol. Biochem.*, 1998, vol. 30, p. 1639-1646.
42. Pfeiffer, C. M. y Bloss, H. E. Growth and nutrition of guayule (*Parthenium argentatum*) in a saline soil as influenced by vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization. *New Phytol.*, 1988, vol. 108, p. 315-321.
43. Feng, G.; Zhang, F. S.; Li, X. L.; Tian, C. Y.; Tang, C. y Rengel, Z. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, 2002, vol. 12, p. 185-190.
44. Tian, C.; Feng, G.; Li b., X. L. y Zhang, F. S. Different effects of arbuscular mycorrhizal fungal isolates from saline or non-saline soil on salinity tolerance of plants. *Applied Soil Ecology*, 2004, vol. 26, p. 143-148.
45. Fernández, F.; Rivera, R. A.; Providencia, I.; Fernández, K. y Rodríguez, Y. Effectiveness of mycorrhizal inoculation by seed dressing. fungal functioning and agrobiological effect. En: "Avances en el conocimiento de la biología de las micorrizas". Guanajuato: Universidad de Guanajuato, 2004. p. 252-267.
46. Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en especies vegetales de raíces y tubérculos en suelos pardos con carbonatos y Ferralíticos Rojos de la región central de Cuba. [Tesis de doctorado]; INCA, 2001, 117 p.
47. Sánchez, C. Uso y manejo de los hongos micorrizógenos y abonos verdes en la producción de posturas de cafeto en algunos suelos del macizo Guamuhaya". [Tesis de grado]; INCA, 2001. 105 p.
48. Rivera, R. A. y Fernández, F. Inoculation and management of mycorrhizal fungi within tropical agroecosystems. En: *Biological approaches to sustainable soil systems*. New York : Cornell University, 2005.

Recibido: 29 de septiembre de 2005

Aceptado: 20 de marzo de 2006