

# Uso de abono orgánico y micorriza arbuscular en la producción de repollo

## Organic manure and arbuscular mycorrhizal use on cabbage production

Arturo Díaz-Franco, Manuel Alvarado-Carrillo, Florencia Alejandro-Allende, Flor Elena Ortiz-Chairez\*

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo. Carretera Matamoros-Reynosa, kmk 61, C. P. 88900, Río Bravo, Tamaulipas, México.

\*Autor para correspondencia: ortiz.flor@inifap.gob.mx

### Resumen

La utilización de bioinoculantes e insumos naturales es una alternativa viable en la producción de cultivos. El propósito del estudio consistió en comparar el 100 % de fertilización convencional (100N-40P-00K, testigo) con el efecto de gallinaza, la inoculación del hongo micorrízico arbuscular (HMA) *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) y 50 % de fertilización química, independientes o en combinación sobre variables de planta, macollo y rendimiento de repollo (*Brassica oleracea* var *capitata*, cv. 'Copenhagen Market'). En semillero se comparó la emergencia de plántulas crecidas en sustrato con y sin HMA. En campo se evaluó clorofila, diámetro de planta, diámetro y peso de macollo y rendimiento. Además, el beneficio-costo (b/c) fue estimado para cada tratamiento. La inoculación micorrízica incrementó significativamente en 19 % la emergencia de plántulas en comparación con las no inoculadas. El crecimiento y rendimiento mostraron diferencias no significativas entre los tratamientos. Los resultados indicaron la factibilidad de restringir 50 % o sustituir la fertilización sintética convencional mediante el uso de gallinaza y micorriza arbuscular en la producción de repollo. El tratamiento más rentable (b/c= 4.7) fue el de inoculación micorrízica en almácigo y la adición del 50 % de la fertilización química (50N-20P-00K).

**Palabras clave:** Gallinaza, fertilización inorgánica, rentabilidad, beneficio-costo.

### Abstract

The use of bioinoculants and natural inputs is a viable alternative in crop production. The purpose of the study was to compare 100 % of conventional synthetic fertilization (100N-40P-00K, control) with the effect of poultry manure, inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) *Rhizophagus intraradices* (mycorrhiza INIFAP) and 50 % of chemical fertilization alone or in combination on plant, culm, cabbage (*Brassica oleracea* var *capitata*, cv. Copenhagen Market) yield. In nursery, comparison of seedlings emergence was performed taking into account both types of seeds inoculated or not with AMF. In field, comparison of chlorophyll index, diameter of plant, diameter and weight of culms and yield were performed taking into account the different treatments. In addition, the benefit-cost of production was estimated for each treatment. Inoculation with AMF increased significantly by 19 % the emergence of seedlings in comparison with seedlings without AMF. In addition, the benefit-cost (b/c) was estimated for each treatment. Mycorrhizal inoculation significantly increased seedling emergence by 19% compared to uninoculated. Plant growth and yield showed no significant differences between treatments. Results showed the feasibility of restricting in 50 % or replace the conventional synthetic fertilization by poultry manure and arbuscular mycorrhiza in the production of cabbage. The best benefit-cost (b/c=4.7) corresponds to the inoculation with mycorrhizal in seedbed and 50 % of chemical fertilizer (50N-20P-00K).

### Keywords:

Poultry manure, inorganic fertilization, profitability, cost-benefit.

Cite este artículo como (APA 6): Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., & Ortiz-Chairez, F. E. (2017). Uso de abono orgánico y micorriza arbuscular en la producción de repollo, Mexico. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 16(1), 15-21. doi: 10.5154/r.rchsza.2017.02.003

## Introducción

El mercado globalizado, el impacto del cambio climático, la presión demográfica y la degradación del ambiente han hecho reconsiderar el estado actual de los sistemas de producción agrícolas. El uso continuo de fertilizantes químicos para mejorar la productividad agrícola ha tenido repercusiones económicas y ambientales negativas debido a los altos precios y como contaminantes de los agro-ecosistemas. La fertilización biológica se basa en el uso de insumos naturales (abonos orgánicos, compostas, biosólidos y microorganismos como hongos y bacterias) para mejorar la absorción de nutrimentos, producir estimulantes de crecimiento para las plantas, mejorar la estabilidad del suelo, biodegradar sustancias, reciclar nutrimentos y favorecer sinergias microbianas, entre otros aspectos. Además, el uso de dichos insumos permite mejorar la productividad por área cultivada en corto tiempo, usar cantidades menores de energía, mitigar la contaminación del suelo y el agua, incrementar la fertilidad del suelo y favorecer el control biológico de fitopatógenos (Bouajila & Sanaa, 2011; Carvajal & Mera, 2010). Los abonos orgánicos tienen el potencial de ser una fuente de nutrimentos económica y de gran eficacia en la nutrición de los cultivos. Dentro de los estiércoles, la gallinaza y la porqueraza son los más ricos desde el punto nutricional y de mayor liberación de nutrimentos en el primer año (Eghball, Wienhold, Guillery, & Eigenberg, 2002; Hue & Silva, 2000).

La bioinoculación a través del empleo de microorganismos benéficos, representa una alternativa técnica importante con potencial para coadyuvar en la productividad en los sistemas agrícolas. En la actualidad, los inoculantes microbianos poseen gran preponderancia ecológica y económica en la agricultura. El papel de los microorganismos se ha incrementado de manera prominente para la conservación y fertilidad de los suelos (Adesemoye & Kloepper, 2009; Hungria, Rubens, Souza, & Pedrosa, 2010). Es por eso que reviste gran importancia la preparación de bioinoculantes que tengan efectividad en los cultivos y la agroecología, aunque particularmente aquellos con viabilidad económica. La mayoría de las especies de la familia *Brassicaceae* no forman asociación micorrízica, aunque para el caso particular del repollo (*Brassica oleracea* var *capitata*) la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) no solo exhibe colonización, sino que además la simbiosis es efectiva (Bhuiyan, 2012; Nelson & Achar, 2001).

No obstante, la influencia que pudieran tener los abonos orgánicos y la bioinoculación en los cultivos es poco conocida. Los microorganismos con características simbióticas como las bacterias promotoras de crecimiento vegetal y los HMA que han demostrado la importancia en las interacciones entre las asociaciones planta-microorganismo, con capacidad

de obtener beneficios agronómicos eficientes, son varios (Adesemoye & Kloepper, 2009). El efecto benéfico de la fertilización biológica posee además repercusiones favorables al reducir las necesidades de fertilizantes sintéticos; por lo tanto, conocer los efectos comparativos en los cultivos es importante (Rojas & Ortuño, 2007; Xiang, Zhao, Xu, Qin, & Yu, 2012). Los HMA y los abonos orgánicos pueden ser componentes promisorios dentro de un sistema de manejo integral de la fertilidad del suelo. Por lo anterior, el propósito del presente estudio consistió en comparar los efectos del 100 % de la fertilización sintética convencional con el efecto del abono orgánico (gallinaza), la inoculación del HMA *Rhizophagus intraradices* y el 50 % de fertilización sintética, independientes o en combinación, sobre el índice de clorofila, crecimiento de planta, rendimiento y rentabilidad de la producción de repollo.

## Materiales y métodos

### Localidad

El experimento se estableció en el Campo Experimental Río Bravo (CERIB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), municipio de Río Bravo, Tamaulipas (25° 57' N 98° 01' O; 25 msnm). En la región, el clima es cálido subtropical con veranos húmedos y calurosos e inviernos secos (Silva et al., 2007).

### Manejo de plántula en almácigo

El manejo de plántula fue en condiciones de invernadero. La variedad usada fue 'Copenhagen Market'® (Crown Seed, Co). La siembra se realizó el 8 de octubre de 2013 en charolas de plástico de 128 cavidades con sustrato Sun Shine®. Para ello fueron requeridas ocho charolas con sustrato inoculado con el HMA micorriza INIFAP (*Rhizophagus intraradices*), mezcla hecha con 22 kg de sustrato y 1 kg del HMA, así como otras ocho charolas con sustrato sin el inoculante (testigo). Después de la siembra, las charolas se regaron por absorción al sumergirlas en un contenedor con agua. Para favorecer la germinación, las charolas se estibarón y se cubrieron con plástico negro. La fecha del inicio de emergencia fue el 12 de octubre, después las charolas se colocaron sobre mesas en el semillero. El 27 de octubre se realizó el conteo de plántulas emergidas con o sin HMA. El 29 de octubre se adicionó 1 g·L<sup>-1</sup> de la fórmula 19N-19P-19K al agua. Las plántulas se mantuvieron un mes antes del trasplante.

### Manejo experimental en campo

Previo al trasplante, se hicieron muestreos de suelo a la profundidad 0-30 cm para determinar las propiedades químicas y físicas (Cuadro 1). Los análisis de suelo se realizaron en el Laboratorio de Agua-Suelo y Planta

**Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo previas al trasplante en el CERIB.**

pH	C.E. (dS·m <sup>-1</sup> )	M.O. (%)	NO <sub>3</sub> -N (mg·kg <sup>-1</sup> )	P (mg·kg <sup>-1</sup> )	K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Textura
8.3	1.7	1.4	24	26	1433	Franco-arcillosa

del CERIB. El pH se determinó en solución acuosa (1:2); la conductividad eléctrica (C.E.) se determinó con potenciómetro al usar extracto de saturación; la materia orgánica (M.O.) se midió con dicromato de potasio; el NO<sub>3</sub>-N se determinó mediante ácido salicílico; el P disponible se midió con el método de Olsen; y el K intercambiable fue determinado con acetato de amonio (Plenecassagne, Romero, & López, 1999).

Los tratamientos fueron: a) testigo, 100 % de fertilización sintética convencional (100N-40P-00K; 100 %-FQ) (Ramírez, 2001); b) *R. intraradices*, Micorriza INIFAP + 50 %-FQ; c) gallinaza + 50 %-FQ; d) Micorriza INIFAP + gallinaza + 50 %-FQ; y e) Micorriza INIFAP + gallinaza. La gallinaza procesada y deshidratada usada fue de la marca Meyfer® (4.64 % N total, 5.42 % P, 3.13 % K, 338 mg·kg<sup>-1</sup> Cu, 6588 mg·kg<sup>-1</sup> Fe, 799 mg·kg<sup>-1</sup> Mn, 568 mg·kg<sup>-1</sup> Zn, 42.1 % M.O.). La gallinaza se aplicó a razón de 3 t·ha<sup>-1</sup> el 15 de octubre. El 4 de noviembre se adicionó la mitad de nitrógeno (50 kg·ha<sup>-1</sup>) y todo el fósforo (40 kg·ha<sup>-1</sup>); las fuentes fueron urea y fosfato mono amónico; la otra mitad del nitrógeno se aplicó a los 50 días después del trasplante. El 8 de noviembre se realizó el trasplante a densidad de 40,000 plantas·ha<sup>-1</sup>, en unidades experimentales conformadas en camas a doble hilera de 1.6 x 5 m. La distribución de los tratamientos fue con base en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

El agua se aplicó mediante un sistema de riego por goteo operado con bomba hidráulica de 2 HP conectada a una pileta. Para humedecer el suelo antes del trasplante se aplicaron riegos dos días consecutivos, mediante la instalación de una cintilla calibre 8,000 en el centro de las camas, con goteros espaciados cada 30 cm (gasto de 1 L·h<sup>-1</sup>) con una presión de operación de 15 lb·pulg<sup>-1</sup>; tres riegos se aplicaron cada semana. De la estación climatológica del CERIB se obtuvieron datos de temperatura y precipitación durante el desarrollo del cultivo.

La variable índice de clorofila (Minolta SPAD®; n=40) se registró los días 9 de enero y 5 de febrero de 2014; el diámetro de planta se midió el 5 de febrero; diámetro y peso de macollo cosechado (n=48) y el rendimiento total de macollos se estimaron en cuatro fechas de corte (10, 17 y 24 de febrero y 5 de marzo).

### Análisis de la información

Las variables se sometieron a análisis de varianza. En almácigo, el porcentaje de emergencia de las plántulas

con o sin inoculación del HMA fue mediante diseño completamente al azar y las medias se compararon a través de la diferencia mínima significativa (DMS;  $\alpha=0.05$ ). Los valores de las variables en el experimento de campo se analizaron con distribución en diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Además, la rentabilidad se estimó con base en la teoría económica (Samuelson & Nordhaus, 2009):  $CT=P_x X$ , donde CT son los costos totales de producción,  $P_x$  es el precio del insumo o actividad y X la actividad o insumo;  $IT=P_y Y$ , donde IT son los ingresos totales,  $P_y$  es el precio del producto y Y el rendimiento del cultivo. La utilidad bruta es la diferencia entre los ingresos totales y los costos totales de producción. Como indicador económico de rentabilidad se utilizó el beneficio-costo, el cual indica los beneficios obtenidos por cada peso invertido en la producción mediante la expresión:  $B/C=IT/CT$  (Terrones & Sánchez, 2011; Ugalde, Tosquy, López, & Francisco, 2011).

## Resultados y discusión

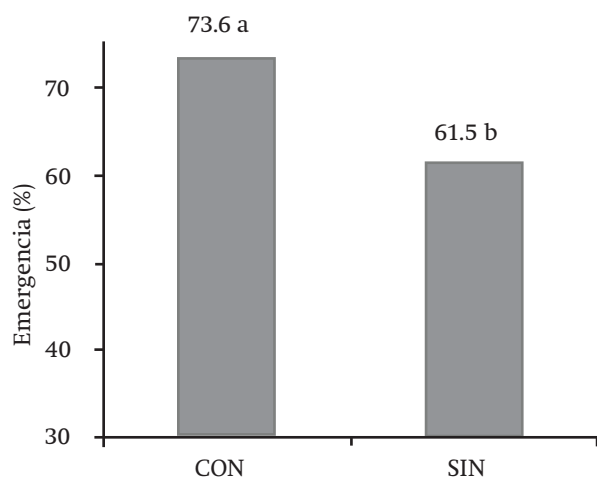
### Plántulas en almácigo

El porcentaje de emergencia en sustrato con charolas en almácigo mostró diferencias significativas ( $P=0.001$ ) entre tratamientos. La emergencia en sustrato inoculado con el HMA *R. intraradices* fue 19 % mayor que la emergencia en sustrato no inoculado (Figura 1). Esqueda, Carrillo, Sosa, Melgosa, y Jiménez, (2002) concluyeron que la emergencia de diferentes gramíneas se incrementó con la inoculación de *R. fasciculatus* (Sin. *G. fasciculatum*). De manera similar, Noda & Castañeda (2012) determinaron que la mayor emergencia de *Jatropha curcas* fue con bioinoculante con base en el consorcio micorrícico Ecomic®. Esta respuesta puede estar relacionada a que los hongos micorrícicos inducen mayor capacidad en la absorción de nutrientes disponibles para la planta, además, los hongos producen fitohormonas como ácido abscísico, giberelinas, auxinas y citoquininas, las cuales influyen en la promoción del crecimiento vegetal (Smith & Read, 2008). En plántulas de repollo, Bhuiyan (2012) determinó una colonización micorrícica de 40 % a los 30 días después de la siembra.

### Respuesta en campo

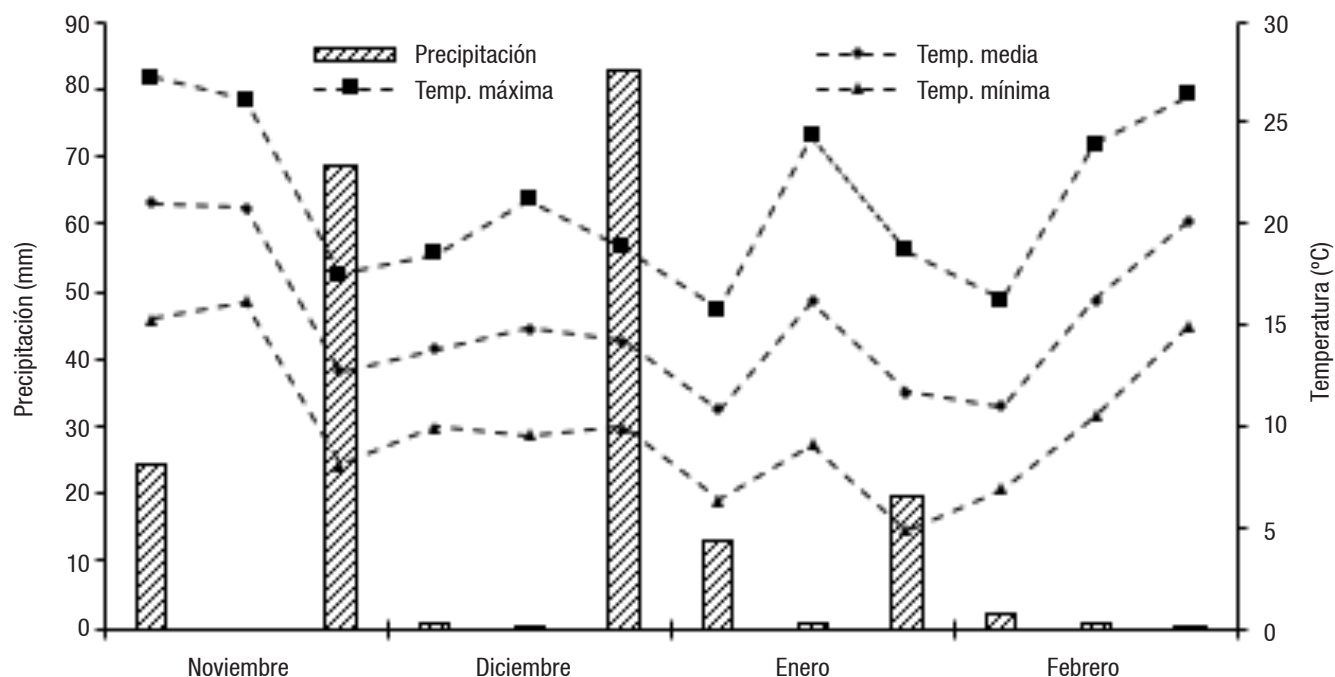
Durante el desarrollo del cultivo ocurrió un total de 212.2 mm de precipitación y, en general, la temperatura media fluctuó entre 10 y 15 °C (Figura 2). Los

tratamientos no influyeron en las variables evaluadas, las cuales promediaron 42.0 SPAD, 35.5 cm de diámetro de planta, 15.5 cm de diámetro de macollo, 1.330 kg de peso de macollo y 55.6 t·ha<sup>-1</sup> de rendimiento (Cuadro 2). La cantidad de pigmentos fotosintéticos refleja el estado nutricional de la planta (Piekielek & Fox, 1992). Nelson y Achar (2001) registraron el mayor contenido de clorofila en plantas de repollo inoculadas con *G. fasciculatum*, *G. aggregatum* y *G. mosseae*. Los rendimientos obtenidos (55.6 t·ha<sup>-1</sup>) son mayores a los registrados por Ramírez (2001) en el sur de Tamaulipas, los cuales oscilan



**Figura 1. Porcentaje de emergencia de plántulas de repollo 'Copenhagen Market' en almácigos con o sin inoculación del HMA *R. intraradices*. Barras con literales diferentes son estadísticamente diferentes (DMS,  $\alpha=0.05$ ).**

entre 20-30 t·ha<sup>-1</sup>, así como el rendimiento promedio nacional que es de 34.2 t·ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2016). La respuesta de la planta indica que la inoculación micorrícica en combinación con gallinaza o con la mitad de la fertilización sintética iguala al efecto del tratamiento con fertilización convencional (100N-40P-00K). Esto indica que las necesidades nutrimentales del cultivo para su crecimiento y producción fueron cubiertas con cualquiera de los tratamientos evaluados, aunque desde el punto de vista agroecológico la combinación micorriza-gallinaza representa el manejo más eficiente. En pepino (*Cucumis sativus*) desarrollado en agricultura protegida (Vásquez et al., 2014), los valores de área foliar, índice de clorofila SPAD y biomasa foliar fueron similares por efectos de la fertilización sintética al 100 % (200N-200P-100K) y la mitad del fertilizante más la bioinoculación (complejo de bacterias promotoras de crecimiento y *R. intraradices*). Otros estudios también apuntan a la supresión de la fertilización sintética a través de la fertilización biológica. Dasgan y Bozkoylu (2007) determinaron que las concentraciones foliares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu en calabacita (*Cucurbita pepo*) fueron semejantes o con diferencias pequeñas entre plantas cultivadas con base en fertilización orgánica y sintética. Resultados semejantes se han obtenido en otros cultivos. Sharma, Reddy, y Adholeya (2011) informaron que en trigo (*Triticum aestivum*) la respuesta más eficiente fue con la inoculación de *R. intraradices* y el 75 % de N-P-K que con la fertilización convencional (120N-60P-50K). Carpio, Davies, y Arnol (2005) indicaron que las mejores características de planta para el mercado de gloria de la mañana (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*), así como la mayor absorción de N,



**Figura 2. Precipitación promedio y temperaturas máxima y mínima decenales registradas en el Campo Experimental Río Bravo, INIFAP, Río Bravo, Tamps, en el periodo de noviembre a marzo de 2013-2014.**

**Cuadro 2. Características de planta y productividad del repollo con adición de gallinaza, micorriza arbuscular y la mitad de la fertilización química.**

Tratamiento	SPAD		Planta	Macollo		Rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> )
	09-ene	05-feb	Diámetro (cm)	Peso (kg)	Diámetro (cm)	
100-40-00 (FQ100 %)	41.17	35.40	35.40	1.344	15.45	55.4
HMA + FQ50 %	41.33	34.78	34.78	1.344	15.58	56.7
Gallinaza + FQ50 %	43.33	35.58	35.58	1.381	15.43	57.1
HMA + gallinaza + FQ50 %	41.93	35.35	35.35	1.298	15.43	55.3
HMA + gallinaza	42.33	36.75	36.75	1.286	15.73	53.9
Significancia F	0.115	0.085	0.087	0.606	0.857	0.622
CV	2.7	2.8	2.5	6.9	2.9	6.0

P y K ocurrieron tanto con el inoculante BioterraPlus® y la adición de 50 % de N-P-K en el suelo, como con la fertilización al 100 % (18N-7P-10K). Rose et al. (2014) realizaron un estudio en diferentes agroambientes y determinaron que la fertilización nitrogenada en arroz (*Oryza sativa*) se redujo hasta 52 % mediante la aplicación del biofertilizante BioGro®.

Los hongos micorrícicos juegan un papel importante en la fertilidad ya que modifican las características químicas del suelo, las cuales están sujetas a las interacciones particulares entre suelo-planta-microorganismos (Baera, 1991; Mader, Endenhofer, Boller, Wienken, & Niggli, 2000; Sharma, Gupta, Dugar & Srivastava, 2012). En la simbiosis HMA-hospedero se facilita que la planta absorba nutrientes mediante el sistema de hifas (Al-Karaki, Hammad, & Rusan, 2001; Smith & Read, 2008). La respuesta del repollo a la inoculación con los HMA *Glomus aggregatum*, *G. fasciculatum* y *G. mosseae* fue variable, aunque mayor a la de plantas no inoculadas; los valores mayores de biomasa seca, colonización micorrícica, N y P foliar se asociaron con *G. fasciculatum*, mientras que los contenidos mayores de clorofila y proteína se relacionaron con *G. fasciculatum* y *G. mosseae* (Nelson & Achar, 2001). La inoculación con un complejo de HMA en repollo incrementó, con respecto a las plantas testigo, la absorción de N, P, K,

Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn y Zn (Bhuiyan, 2012). También en otros cultivos, Carpio, Davies y Arnol (2005) y Díaz, Alvarado, Ortiz y Grageda (2013) demostraron que las plantas micorrizadas de gloria de la mañana y pimiento (*Capsicum annuum*) tuvieron valores mayores de contenido de clorofila y absorción de N, P, K, Fe y Zn que plantas no micorrizadas.

La información sobre el efecto interrelacionado entre micorriza arbuscular y la adición de abonos orgánicos es escasa. En este caso, una influencia sinérgica al combinar HMA y gallinaza no se observó (Cuadro 2). De igual forma, en calabacita se demostró una respuesta semejante en cuanto a la absorción de P, Cu, Zn, Mn, Fe, Ca y Mg, crecimiento de planta y rendimiento, con la inoculación de *R. intraradices* o la incorporación de gallinaza, independientes o combinados (Díaz, Alvarado, Alejandro, & Ortiz, 2016). Por otro lado, la capacidad de competitividad productiva que ofrecieron la inoculación micorrícica y la gallinaza respecto a la fertilización convencional, demuestra la posibilidad de considerarse como prácticas potenciales que pueden ser integradas en la producción orgánica de repollo.

El análisis económico indicó que el manejo con la mayor rentabilidad corresponde a la inoculación con *R. intraradices* (micorriza INIFAP) y la adición del 50 %

**Cuadro 3. Análisis económico de la producción de repollo\* en función de diversos tratamientos.**

Parámetro	100-40-00 (FQ100 %)	HMA + FQ50 %	Gallinaza + FQ50 %	HMA + gallinaza + FQ50 %	HMA + gallinaza
Rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> )	55.4	56.7	57.1	55.3	53.9
Costo de producción (\$)	40,746.50	40,232.75	44,000.75	44,532.75	43,337.00
Precio medio rural (\$·t <sup>-1</sup> )	3,300.00	3,300.00	3,300.00	3,300.00	3,300.00
Ingresos totales (\$)	182,820.00	187,110.00	188,430.00	182,490.00	177,870.00
Utilidad bruta (\$)	142,073.50	146,877.25	144,429.25	137,957.25	134,533.00
Beneficio/Costo	4.5	4.7	4.3	4.1	4.1

\*HMA, \$532.00 ha; 100-40-00, \$2,091.50; gallinaza 3 t·ha<sup>-1</sup> + incorporación, \$4,300.00

de la fertilización sintética, tratamiento que alcanzó un beneficio-costo de 4.7 (Cuadro 3). Esta práctica demostró ser rentable debido al menor costo por insumos, además de ser más amigable con el ambiente que la fertilización convencional.

La mayoría de los cultivos manifiestan una clara respuesta a la aplicación de abonos orgánicos, en particular en suelos sometidos a cultivos de forma consistente, debido a que aportan casi todos los nutrimentos que las plantas necesitan, aunque contienen menores cantidades de nutrimentos que con la fertilización sintética. La ventaja es que la disponibilidad de los nutrimentos es constante para la planta por la mineralización como un factor gradual a que están sometidos (Bouajila & Sanaa, 2011; Carvajal & Meras, 2010), por lo que su manejo aporta y mantiene su componente orgánico, las propiedades físicas, químicas y biológicas (Cooperband, 2002; Hue & Silva, 2000). No obstante, el uso de los abonos orgánicos puede impactar negativamente en el ambiente. Ese impacto incluye contaminación de aguas subterráneas por lixiviación de los elementos contenidos en los abonos orgánicos; por las emisiones de dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno que emiten a la atmósfera influyen con efecto invernadero; pueden incrementar las poblaciones de malezas en los cultivos; y, con el uso continuo ocasionan la acumulación de sales (Na) y metales pesados en el suelo (Bouajila & Sanaa, 2011). De aquí la conveniencia de utilizar preferentemente cantidades reducidas de abonos orgánicos.

Diferentes estudios indican que los inoculantes microbianos pueden ser capaces de sustituir o disminuir la fertilización inorgánica en los cultivos ya que promueven el crecimiento de las plantas, mejoran la disponibilidad y la absorción de nutrimentos, así como la sanidad de las plantas (Adesemoye & Kloepper, 2009; Hamel & Strullu, 2006; Nadeemm, Ahmad, Zahir, Javaid, & Ashraf, 2014). Otro aspecto importante a considerar con el uso de bioinoculantes en los cultivos es el hecho de que se pueden reducir las emisiones de  $N_2O$  asociadas con la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Calvo, Watts, Ames, Kloepper, & Torbert, 2013).

Los resultados obtenidos en este estudio indicaron la factibilidad de restringir o sustituir la dosis convencional de fertilización sintética, mediante el uso de gallinaza y la inoculación micorrícica arbuscular en la producción de repollo, tratamientos que tienen viabilidad económica, pero particularmente repercuten con un impacto menor en el ambiente.

## Conclusiones

Los resultados indicaron que, con manejo alternativo, es posible reducir o sustituir la fertilización convencional en el cultivo de repollo. La práctica más rentable

(b/c = 4.7) consistió en la inoculación micorrícica en almácigo y la adición del 50 % de la fertilización sintética (50N-20P-00K). La combinación de inoculación micorrícica y gallinaza podría representar una práctica con factibilidad para la producción orgánica.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo de la Fundación Produce Tamaulipas, A.C., a través del proyecto No. 18224118380. A Raúl Ortiz y Juan Olvera por la colaboración en los trabajos de campo.

## Referencias

- Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009). Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 85, 1-12.
- Al-Karaki, G. N., Hammad, R., & Rusan, M. (2001). Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. *Mycorrhiza*, 11, 43-47.
- Baera, J. M. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Adv. Soil Sci.* 15, 1-40.
- Bhuiyan, M. H. (2012). Effect of rate of arbuscular mycorrhizal inoculum for cabbage seedling production. *Bull. Inst. Trop. Agr.*, 35, 69-76.
- Bouajila, K., & Sanaa, M. (2011). Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological properties. *J. Mater Environ. Sci.*, 2, 485-490.
- Calvo, P., Watts, D. B., Ames, R. N., Kloepper, J. W., & Torbert, H. A. (2013). Microbial-based inoculants impact nitrous oxide emissions from an incubated soil medium containing urea fertilizers. *J. Environ. Qual.*, 42, 704-712.
- Carpio, A. L., Davies, T. F., & Arnold, A. M. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: Effect on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 130, 131-139.
- Carvajal, M. J., & Mera, B. A. (2010). Fertilización biológica: técnica de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción*, 5, 78-96.
- Cooperband, L. (2002). Building soil organic matter with organic amendments. University of Wisconsin-Madison, Wisconsin, USA, 13 pp.
- Dasgan, H. Y., & Bozkoylu, A. (2007). Comparison of organic and synthetic-inorganic nutrition of soilless grown summer squash. *Acta Hort.*, 247, 523-528.
- Díaz, F. A., Alvarado, C. M., Alejandro, A. F., & Ortiz, C. F. (2016). Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con fertilización biológica y mineral. *Rev. Int. Cont. Ambiental*, 32, 445-453.
- Díaz, F. A., Alvarado, C. M., Ortiz, C. F., & Grageda, C. O. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 315-321.

- Eghball, B., Wienhold, B. J., Guillery, J. E., & Eigenberg, R. A. (2002). Mineralization of manure nutrients. *J. Soil Water Conserv.*, 57, 470-473.
- Esqueda, M., Carrillo, R. R., Sosa, C. M., Melgosa, C. A., & Jiménez, C. J. (2002). Emergencia y sobrevivencia de gramíneas inoculadas con biofertilizantes en invernadero. *Téc. Pec. Méx.*, 42, 459-475.
- Hamel, C., & Strullu, D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi in field crop production: Potential and new direction. *Can. J. Plant Sci.*, 86, 941-950.
- Hue, N. V., & Silva, J. A. (2000). Organic soil amendments for sustainable agriculture. pp. 133-144. In: Silva, J. A., & Uchida, R. (eds.). *Plant Nutrient Management*. University of Hawaii.
- Hungria, M., Rubens, C., Souza, E., & Pedrosa, F. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yield of maize and wheat in Brazil. *Plant Soil*, 331, 413-425.
- Mader, P., Endenhofer, S., Boller, T., Wienken, A., & Niggli, U. (2000). Arbuscular mycorrhizae in long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biol. Fert. Soils*, 31, 150-156.
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, A., Javaid, A., & Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnol. Adv.*, 32, 429-448.
- Nelson, R., & Achar, P. N. (2001). Stimulation of growth and nutrient uptake by VAM fungi in *Brassica oleracea* var. *capitata*. *Biol. Plantarum*, 44, 277-281.
- Noda, Y., & Castañeda, L. (2012). Efecto del EcoMic® en la emergencia de plántulas de *Jatropha curcas*. *Pastos y Forrajes*, 35, 401-406.
- Piekielek, W. P., & Fox, R. H. (1992). Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.*, 84, 59-65.
- Plenecassagne, A., Romero, F. E., & López, B. C. (1999). *Manual de Laboratorio: Análisis de Suelo, Planta, y Agua*. INIFAP-ORSTOM. México. 173 p.
- Ramírez, M. M. (2001). *Manual para la producción de hortalizas menores en el sur de Tamaulipas*. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, INIFAP. Folleto No. 1. Cuauhtémoc, Tamaulipas, México. 48 p.
- Rojas, R. K., & Ortuño, N. (2007). Micorriza arbuscular en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola. *Acta Nova*, 3, 697-719.
- Rose, M., Lan, P., Khan, D., Thi, C., Thanh, H., & Kennedy, I. (2014). Up to 52 % N fertilizer replaced by biofertilizer in lowland rice via farmer participatory research. *Agron. Sustain. Dev.*, 34, 857-868.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2009). *Economía*, 19 Ed. McGraw-Hill. Madrid.
- Sharma, M., Reddy, U., & Adholeya, A. (2011). Response of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (*Triticum aestivum*) grown conventionally and on beads in sandy loam soil. *Indian J. Microbiol.*, 3, 384-389.
- Sharma, S., Gupta, R., Dugar, G., & Srivastava, A. (2012). Impact of application of biofertilizers on soil structure and resident microbial community structure and function. En: Maheshwari, D. K. (ed.). *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics*. Hauz Khas, Nueva Delhi, India, pp. 65-79.
- Silva, S. M., Medina, G. G., Ruiz, C. J., Serrano, A. V., Díaz, P. G., & Cano, G. M. (2007). *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Tamaulipas (periodo 1961-2003)*. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Libro Técnico No. 2. Río Bravo, Tam., México. 316 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). SAGARPA. [www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/](http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/) (consulta, 23/11/16).
- Smith, G. S., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd ed. Academic Press. London. 750 p.
- Terrones, C. A., & Sánchez, T. Y. (2011). Análisis de rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero Enacaxochitlán, Hidalgo. *Rev. Mex. Agronegocios*, 15, 752-761.
- Ugalde, A. F., Tosquy, V. O., López, S. E., & Francisco, N. N. (2011). Productividad y rentabilidad del cultivo de frijol con fertirriego en Veracruz, México. *Agr. Mesoamer.*, 22, 29-36.
- Vásquez, S. E., Lira, S. R., Valdez, A. L., Cárdenas, F. A., Ibarra, J. L., & González, D. (2014). Respuesta de pepino a la fertilización biológica y mineral con y sin acolchado plástico en condiciones de casa sombra. *Rev. Inter. Inv. Innov. Tecnol.*, 10, 1-11.
- Xiang, W., Zhao, L., Xu, X., Qin, Y., & Yu, G. (2012). Mutual information flow between beneficial microorganisms and the roots of host plants determined the bio-functions of biofertilizers. *Amer. J. Plant Sci.*, 3, 1115-1120.