

INFLUENCIA DE *Rhizophagus intraradices* (Schenck & Sm.) Walker & Schüßler EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ

Juan Francisco Aguirre-Medina, Jorge Cadena Iñiguez, María Eugenia Velazco Zebadúa y Carlos Hugo Avendaño Arrazate

RESUMEN

Con la finalidad de identificar la influencia de *Rhizophagus intraradices* en rendimiento, contenido de N y P en tejido vegetal y grano del maíz H-560 en interacción con dosis de fertilización bajo riego, se estableció el presente estudio en un suelo de mediana fertilidad con textura migajón-arenosa. Cinco tratamientos fueron aplicados: testigo, R. intraradices, 120_N-60_P, R. intraradices + 120_N-60_P, R. intraradices + 80_N-40_P y R. intraradices + 40_N-40_P, en diseño de bloque al azar con cuatro repeticiones. R. intraradices fue adherido a la semilla con carboximetil celulosa a una concentración de 40 esporas/g de suelo y 95% de colonización en la planta huésped. El nitrógeno se aplicó el 50% a la siembra y el resto veinte días después, y el fósforo todo a la siembra. La unidad

experimental fueron seis surcos a 0,90m de ancho por 5m de largo. Se regó por gravedad cada diez días, durante el invierno 2014. Se determinaron variables morfológicas y fisiológicas del rendimiento: porcentaje de colonización radical cada 14 días y contenido de N y P a los 42 días en hoja bandera y en grano a cosecha. Los resultados indican que R. intraradices coloniza ampliamente el sistema radical del maíz desde las etapas iniciales de su desarrollo y promueve mayor crecimiento y rendimiento en interacción con las dosis de fertilización química, permitiendo, además, disminuirlas sin detrimento del rendimiento. La simbiosis entre R. intraradices y maíz incrementó la concentración de N y P en el tejido vegetal y en el grano.

Introducción

Los hongos micorrízico-arbusculares interactúan simbióticamente en más del 80% de las plantas terrestres (Gianinazzi *et al.*, 2010), en una de las simbiosis considerada como más antiguas, con importantes contribuciones en los ecosistemas (Wang y Qiu, 2006). La micorrización representa un importante mecanismo para el desarrollo vegetal y reproductivo de los cultivos y en la actualidad las micorrizas son consideradas microorganismos esenciales para el manejo sustentable de la agricultura. Su capacidad para transportar nutrientes y agua a la planta hospedante más allá de la zona de agotamiento alrededor de la raíz (Wright *et al.*,

2005) es un atributo que mejora el aprovechamiento de los fertilizantes químicos y la productividad del cultivo, como ha sucedido en frijol (Aguirre-Medina *et al.*, 2017). El maíz ha sido biofertilizado con *R. intraradices* y establecido en condiciones de temporal, y se documentan importantes aumentos en rendimiento en diferentes ecosistemas y sistemas de producción en México (Aguirre-Medina *et al.*, 2012). Sin embargo, al considerar que el grano de maíz es el principal componente de la dieta de los mexicanos, se especula si al disminuir las cantidades de fertilizantes químicos se merman, en la planta y el grano, los nutrientes principales que transportan los hongos micorrízico

arbusculares, como el P, además del N.

Aunado a lo anterior, la disminución de la dosis de fertilizantes químicos genera economía al productor, al considerar que en México se siembran ~6,6×10⁶ ha/año (INEGI, 2014), además de que reduciría la contaminación del ambiente. Al respecto SAGARPA (2016) conlleva a un impulso a los biofertilizantes se dejaron de utilizar 69.589t de fertilizantes de origen químicos, y se logró reducir 22,7t de CO₂ con un aumento en el rendimiento de 15%. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue identificar la influencia de *Rhizophagus intraradices* en el rendimiento del maíz H-560 en interacción con

diferentes dosis de fertilización en condiciones de riego y determinar el contenido de N y P en el tejido vegetal y el grano.

Materiales y Métodos

Área de estudio y material biológico

El experimento se desarrolló en campo durante el ciclo otoño/invierno 2014 en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas Campus IV de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), localizado entre 15°00'26" y 15°00'34"N y entre 92°23'04" y 92°24'44"O, a una altura de 35msnm. El clima corresponde al tipo Am (w) i g (García, 1973) con 2000-2500mm de lluvia anual,

PALABRAS CLAVE / Componentes del Rendimiento / Fertilización Química / Rendimiento / *Rhizophagus intraradices* /

Recibido: 02/02/2018. Aceptado: 13/05/2019.

Juan Francisco Aguirre-Medina. Ingeniero Agrónomo, Universidad de Sonora, México. Maestría y Doctorado en Botánica, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), México.

Jorge Cadena Iñiguez. Ingeniero Agrónomo, UNACH, México. Maestría y Doctorado en Botánica, COLPOS, México. Profesor-Investigador, COLPOS San Luis Potosí, México.

María Eugenia Velazco Zebadúa. Química Bacterióloga y Parasitóloga, Instituto Politécnico Nacional,

México. Maestría en Edafología y Doctorado en Ganadería, COLPOS, México. Profesor-Investigador, UNACH, México.
Carlos Hugo Avendaño Arrazate (Autor de correspondencia). Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma de Chiapingo, México. Maestría y Doctorado en Genética, COLPOS, México.

Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Dirección: Campo Experimental Rosario Izapa, INIFAP. Km. 18 Carretera Tapachula-Cacaohatán, Chiapas. C.P. 30870. México. e-mail: avendano.carlos@inifap.gob.mx.

INFLUENCE OF *Rhizophagus intraradices* (Schenck & Sm.) Walker & Schüßler ON THE YIELD OF MAIZE

Juan Francisco Aguirre-Medina, Jorge Cadena Iñiguez, María Eugenia Velazco Zebadúa and Carlos Hugo Avendaño Arrazate

SUMMARY

In order to identify the influence of *Rhizophagus intraradices* in yield, content of N and P in vegetable tissue and corn H-560 grain in interaction with different rates of fertilization, the present was established in a medium fertility soil with sandy-loam texture. Five treatments were: control, R. intraradices, 120N-60P, R. intraradices + 120N-60P, R. intraradices + 80N-40P and R. intraradices + 40N-40P, in randomized block design with four repetitions. R. intraradices was adhered to the seed with carboxymethyl cellulose at a concentration of 40 spores/g of soil and 95% of colonization in the host plant. Nitrogen was applied (50%) at sowing and the rest twenty days later, and the phosphorus all at sowing. The experimental unit

consisted of six rows of 0.90m wide and 5m long. Irrigation by gravity was performed every ten days, during the winter 2014. Morphological and physiological variables of yield were determined: percentage of radical colonization every 14 days and content of N and P at 42 days in flag leaf and grain to harvest. The results indicate that R. intraradices colonizes widely the root system of the corn from the initial stages of its development and promotes greater growth and performance in interaction with the chemical fertilization, allowing, in addition, to diminish the latter without detriment of the yield. The symbiosis between R. intraradices and corn increased the concentration of N and P in plant tissue and grain.

INFLUÊNCIA DE *Rhizophagus intraradices* (Schenck & Sm.) Walker & Schüßler NO RENDIMENTO DE MILHO

Juan Francisco Aguirre-Medina, Jorge Cadena Iñiguez, María Eugenia Velazco Zebadúa e Carlos Hugo Avendaño Arrazate

RESUMO

Com a finalidade de identificar a influência de *Rhizophagus intraradices* no rendimento, conteúdo de N e P em tecido vegetal e grão de milho H-560 em interação com dose de fertilização sob risco, se estabeleceu o presente estudo em um solo de fertilidade média com textura grosseira-arenosa. Cinco tratamentos foram aplicados: testemunha, R. intraradices, 120_N-60_P, R. intraradices + 120_N-60_P, R. intraradices + 80_N-40_P e R. intraradices + 40_N-40_P, em desenho de bloco aleatório com quatro repetições. R. intraradices foi aderido à semente com carboximetilcelulose em concentração de 40 esporos/g de solo e 95% de colonização na planta hospede. Foi aplicado inicialmente 50% do nitrogênio na plantação e o restante após vinte dias, o fósforo foi aplicado em sua totalidade na plantação. A uni-

dade experimental consistiu de seis sulcos de 0,90m de largura por 5m de comprimento. Realizou-se irrigação por gravidade a cada dez dias, durante o inverno de 2014. Determinaram-se variáveis morfológicas e fisiológicas do rendimento: porcentagem de colonização radical a cada 14 dias e conteúdo de N e P aos 42 dias em folha bandeira e em grão na colheita. Os resultados indicam que R. intraradices coloniza amplamente o sistema radical do milho a partir das etapas iniciais de seu desenvolvimento e promove maior crescimento e rendimento em interação com as doses de fertilização química, além de permitir diminuí-las sem detrimento do rendimento. A simbiose entre R. intraradices e milho incrementou a concentração de N e P no tecido vegetal e no grão.

distribuida entre junio y noviembre, y una temperatura media anual de 28°C. Durante el periodo de evaluación no se registró precipitación.

El suelo de 0-30cm es de textura migajón-arenosa (70,48% arena; 21,36% limo y 8,16% arcilla), con pH ácido (4,09) y contenido de nitrógeno 0,10%, fósforo 12,20mg·l⁻¹ y 1,02% de materia orgánica, según análisis realizados en el Laboratorio de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Ciencias Agrícolas, UNACH. Se utilizó el maíz híbrido H-560 y como biofertilizante se empleó Micorriza INIFAP® conteniendo *Rhizophagus intraradices* (Schenck & Sm.) Walker & Schuessler con 40 esporos/g de suelo estéril y raíces de *Brachiaria*

decumbens L con 95% de colonización radical.

Manejo agronómico y riego

Una vez preparado el terreno, para el control de maleza se utilizó Atrazina a razón de 11·ha⁻¹, una escarda a los 20 días; 10 días después se aplicó herbicida del grupo Picloram y, al final, una limpia manual. Se presentó mosca blanca y gusano cogollero y fueron controlados con cipermetrina a razón de 250ml·ha⁻¹. El riego fue por gravedad, cada 10 días.

Siembra y tamaño de la parcela

La siembra se realizó el 28/11/2014 de forma manual y a chorrillo, a una profundidad de 4-5cm. Después de la

emergencia se ajustó la población entre plantas a 0,20m equivalentes a una densidad de 55.500 plantas/ha. Entre surcos la distancia fue de 0,90m. La unidad experimental estuvo constituida por seis surcos de 5m de largo, siendo útil los cuatro surcos centrales con una longitud de 4m.

Aplicación de tratamientos y diseño experimental

Se aplicaron seis tratamientos: el testigo absoluto, *Rhizophagus intraradices*, 120_N-60_P (dosis recomendada en la región), R. intraradices + 120_N-60_P, R. intraradices + 80_N-40_P y R. intraradices + 40_N-40_P. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar en el terreno con cuatro

repeticiones. El tratamiento con R. intraradices se aplicó a la semilla antes de la siembra con carboximetil celulosa. La fuente de nitrógeno fue urea (46% N) y se aplicó el 50% a la siembra y el 50% restante a los 20 días posteriores a ésta. La fuente de fósforo fue el superfosfato de calcio triple (46% P₂O₅) y se aplicó al momento de la siembra.

Variables respuesta

Las variables de la planta se registraron mediante muestreos destructivos para determinar la asignación de materia seca por componentes del rendimiento, así como la colonización micorrizica cada 14 días y el contenido de N y P a los 42 y 84 días después de la siembra (dds) en la hoja bandera y a los

125 dds en el grano, además del rendimiento de grano al momento de la cosecha.

Asignación de materia seca

La biomasa se obtuvo mediante el peso de los componentes fisiológicos de las plantas, determinados en báscula semianalítica (Ohaus, Adventurer Pro, EEUU) después de haberlos secado en estufa de aire forzado (Sheldon, VWR 1390FM, EEUU) a 75-80°C hasta peso constante.

Rendimiento

Al grano cosechado le fue medido el contenido de humedad con un determinador de humedad (Stenlite, mod. 55250, EEUU) y se ajustó a 14% de humedad para estimar el rendimiento por tratamiento.

Colonización micorrízica y contenido de nutrientes

Mediante la técnica de tinción y clareo de Phillips y Hayman (1970) se prepararon 100 segmentos de raíz con longitud de 1,5-1,6cm de cada muestreo y se observaron al microscopio óptico con objetivo de inmersión (100 X). Los resultados se expresaron en porcentaje de colonización micorrízica.

Finalmente, los contenidos de N (micro-Kjeldahl) y P se cuantificaron en un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific, mod. 400¼).

Análisis estadístico

Para determinar los efectos entre tratamientos se realizó un análisis de varianza para cada variable con el procedimiento PROC ANOVA. Posteriormente se aplicó una comparación de medias (Tukey, $p \leq 0,05$) utilizando el programa computacional Statistical Analysis System (SAS 1999-2000, versión 8.1).

Resultados y Discusión

Componentes del rendimiento

Durante el primer muestreo, a los 14 días después de la

siembra (dds), se presentaron diferencias estadísticas solamente en el tallo ($P \leq 0,05$) y el valor más alto se encontró en el tratamiento con la menor dosis de fertilización más *R. intraradices* (Tabla I). En raíz y hoja se muestran diferencias

numéricas entre tratamientos, pero sin significación estadística, posiblemente influenciada por la alta variación entre ellos. Resultados similares citan Aguirre-Medina y Kohashi (2002) en frijol biofertilizado con *G. macrocarpum*, donde

encontraron menor producción de biomasa al inicio del crecimiento, entre los 10 y 20 dds. En las etapas iniciales de colonización micorrízica se demandan más fotosintatos a la raíz, requeridos por el hongo. Al respecto, Wright *et al.* (2005)

TABLA I
PESO SECO DE RAÍZ, TALLO, HOJA, FLOR MASCULINA Y MAZORCA DE PLANTAS DE MAÍZ BIOFERTILIZADAS CON *R. intraradices* Y DOSIS DE FERTILIZACIÓN BAJO RIEGO EN SUELO FLUVISOL-EÚTRICO (SOCONUSCO, CHIAPAS, MÉXICO)

Días	Tratamiento	Peso seco (g/planta)				
		Raíz	Tallo	Hoja	Flor ♂	Mazorca
14	Testigo	0,186 a	0,147 b	0,350 a		
	<i>R. intraradices</i>	0,169 a	0,177 b	0,452 a		
	120 _N -60 _P	0,196 a	0,197 ab	0,476 a		
	<i>R. intraradices</i> + 120 _N -60 _P	0,157 a	0,179 ab	0,400 a		
	<i>R. intraradices</i> + 80 _N -40 _P	0,163 a	0,179 ab	0,382 a		
	<i>R. intraradices</i> + 40 _N -40 _P	0,208 a	0,243 a	0,497 a		
		CV= 17,9	CV= 15,1	CV= 16,9		
28	Testigo	1,200 c	2,577 c	5,549 c		
	<i>R. intraradices</i>	1,490 b	3,832 ab	7,474 ab		
	120 _N -60 _P	2,213 a	4,417 a	8,655 a		
	<i>R. intraradices</i> + 120 _N -60 _P	1,779 ab	4,106 a	8,751 a		
	<i>R. intraradices</i> + 80 _N -40 _P	1,385 b	2,852 b	6,190 b		
	<i>R. intraradices</i> + 40 _N -40 _P	2,163 a	3,974 a	7,748 ab		
		CV= 11,1	CV= 13,3	CV= 9,8		
42	Testigo	4,886 c	12,522 e	16,938 e		
	<i>R. intraradices</i>	5,149 c	17,175 d	21,314 d		
	120 _N -60 _P	12,828 a	30,660 a	34,884 a		
	<i>R. intraradices</i> + 120 _N -60 _P	9,594 b	22,890 c	30,328 b		
	<i>R. intraradices</i> + 80 _N -40 _P	9,941 b	27,619 ab	33,184 ab		
	<i>R. intraradices</i> + 40 _N -40 _P	8,566 b	24,196 bc	28,650 bc		
		CV= 9,1	CV= 7,0	CV= 6,22		
56	Testigo	9,406 d	35,211 e	19,117 e	4,323 c	2,907 b
	<i>R. intraradices</i>	11,188 d	43,161 d	23,355 d	5,428 bc	6,653 ab
	120 _N -60 _P	16,217 c	62,567 c	31,091 c	6,207 b	11,299 ab
	<i>R. intraradices</i> + 120 _N -60 _P	21,544 b	70,021 b	36,763 b	8,082 a	14,509 ab
	<i>R. intraradices</i> + 80 _N -40 _P	27,399 a	82,161 a	44,737 a	9,019 a	18,053 a
	<i>R. intraradices</i> + 40 _N -40 _P	15,559 c	64,886 bc	33,269 bc	5,929 bc	16,935 ab
		CV= 7,4	CV= 4,7	CV= 5,6	CV=12,1	CV= 53,8
70	Testigo	9,427 d	33,320 c	18,033 d	2,575 c	21,325 a
	<i>R. intraradices</i>	11,261 d	63,275 c	25,024 c	3,346bc	35,280 a
	120 _N -60 _P	27,327 ab	88,211 a	37,765 a	5,250 a	62,102 a
	<i>R. intraradices</i> + 120 _N -60 _P	29,160 a	87,902 a	42,162 a	5,058 a	64,546 a
	<i>R. intraradices</i> + 80 _N -40 _P	23,726 b	77,966 ab	36,448 ab	5,298 a	71,373 a
	<i>R. intraradices</i> + 40 _N -40 _P	18,332 c	64,453 b	30,837 b	4,428 ab	54,948 a
		CV= 8,6	CV= 13,7	CV= 7,9	CV= 2,3	CV= 43,2
84	Testigo	8,348 c	35,218 b	22,060 c	2,944 b	72,59 a
	<i>R. intraradices</i>	12,207 c	44,578 b	24,282 b	3,172 b	76,51 a
	120 _N -60 _P	23,73 ab	62,081 a	37,794 a	4,237 ab	111,31 a
	<i>R. intraradices</i> + 120 _N -60 _P	28,255 a	76,042 a	36,370 a	5,134 a	120,09 a
	<i>R. intraradices</i> + 80 _N -40 _P	21,642 b	72,942 a	38,669 a	5,307 a	116,21 a
	<i>R. intraradices</i> + 40 _N -40 _P	19,470 b	69,031 a	38,903 a	5,840 a	125,06 a
		CV= 14,2	CV= 11,9	CV= 8,6	CV= 17,4	CV= 31,4

CV: Coeficiente de variación (%).

* Valores con la misma letra dentro de cada columna y edad de la planta son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey con $P \leq 0,05$.

confirman la presencia de mayor concentración de carbohidratos solubles en las raíces micorrizadas de maíz y, después de este periodo, normalmente se incrementa el mecanismo de transporte de nutrientes a la planta y el concomitante incremento en biomasa. El incremento inicial en la biomasa del tallo puede deberse a la respuesta diferencial de *R. intraradices* en la demanda de mayor cantidad de fotosintatos en el sistema radical y la menor asignación para formar biomasa en la parte aérea.

El porcentaje de colonización micorrizica a los 14 dds fue de 69, 81 y 82%. El valor inferior se presentó con el tratamiento *R. intraradices* + la dosis de fertilización 80_N-40_P, y el más alto cuando se biofertilizó solamente con *R. intraradices* y en el testigo, respectivamente. Wright *et al.* (2005) citan colonizaciones radicales entre 76 y 94% en dos variedades de maíz con el mismo hongo micorrizico, en África. La disminución de 11% en la colonización micorrizica del tratamiento *R. intraradices* más 80_N-40_P en comparación al tratamiento solo micorrizado, según Ngwene *et al.* (2010), puede relacionarse con la incorporación de nitrato.

La presencia de hongos micorrizicos en el sistema radical del testigo confirma su generalizada presencia en los suelos agrícolas y en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Jaizme-Vega y Rodríguez-Romero, 2008). La interacción de los hongos nativos con el maíz, no representó un efecto notable en la promoción del crecimiento. En diversas plantas hospedantes de hongos micorrizicos se presentan respuestas diferentes (Cuenca *et al.*, 2007).

Las diferencias en los componentes del rendimiento se presentaron más claramente a partir de los 28 dds en todos los tratamientos. Los valores en los componentes raíz, tallo y hoja, se incrementaron con el tratamiento 120_N-60_P (P≤0,05), y al aplicar *R. intraradices* + 40_N-40_P se acumuló menor cantidad de

biomasa, ubicándose en el último grupo estadístico.

A los 42 dds el tratamiento con la dosis más alta de fertilizante químico indujo mayor biomasa en raíz, tallo y hojas en comparación con el resto de los tratamientos. La falta de respuesta en el crecimiento del maíz biofertilizado es probable que coincida con la fase inicial o lenta de la colonización que presentan los hongos micorrizicos después de la etapa inicial de la colonización.

A los 56 dds todos los componentes del rendimiento se incrementaron con el tratamiento *R. intraradices* más la aplicación de dos tercios de la dosis de fertilizante químico. En el caso de la flor masculina también se incrementa con el tratamiento biofertilizado con el hongo micorrizico y la dosis completa del fertilizante químico. A este tiempo, la extensión del micelio debe ser amplia para facilitar que la micorriza tome los nutrientes y los transporte a la planta huésped, especialmente el fósforo y nitrógeno (Hodge *et al.*, 2001; Roveda y Polo, 2007).

A los 70 dds, la diferencia en la acumulación de biomasa se incrementó en el tratamiento con la dosis más alta de fertilización química (120_N-60_P) y con los tratamientos biofertilizados más las dosis 120_N-60_P y 80_N-40_P.

A los 84 dds, los tratamientos biofertilizados con *R. intraradices* más la dosis de fertilización y el tratamiento solo fertilizado con 120_N-60_P incrementaron notablemente la acumulación de biomasa en los diferentes componentes del rendimiento. Diversos autores consignan incrementos en biomasa del maíz con la inoculación de hongos micorrizicos (Kaeppeler *et al.*, 2000; Kelly *et al.*, 2001).

La disminución de la dosis de fertilización química a uno o dos tercios más la inoculación de *R. intraradices* expresaron diferencias estadísticas significativas en los diferentes componentes de la planta a partir de los 56 y hasta los 84 dds. El incremento en la acumulación de biomasa coincidió

con el amplio establecimiento de *R. intraradices* en simbiosis con el maíz, lo que facilita no solo el transporte de los nutrientes externos que se aplicaron, sino también los disponibles en el suelo, alrededor de la raíz, o más allá de la rizosfera a través del micelio (Leigh *et al.*, 2009).

Al disminuir las cantidades de P y N en la dosis de fertilización, de los 56 a los 84 dds, disminuyó ligeramente la producción de biomasa. Este comportamiento confirma la eficiencia de *R. intraradices* en transportar los nutrientes disponibles en el suelo de mediana fertilidad hacia la planta. Resultados semejantes citan Roveda y Polo (2007), quienes encontraron relación importante entre el mayor contenido de fósforo y el incremento en biomasa radical y aérea, así mismo en el área foliar del maíz. En ausencia de *R. intraradices*, el crecimiento del maíz fue promovido por la suplementación externa de los fertilizantes químicos. Estos resultados establecen la aportación sustantiva de los hongos micorrizicos a la nutrición y el desarrollo del maíz evaluado.

Rendimiento

El incremento en el rendimiento del maíz se presentó con los tratamientos inoculados con *R. intraradices* en

interacción con las dosis de fertilización 120_N-60_P y 80_N-40_P y el rendimiento más bajo se presentó en el testigo (Figura 1). La disminución de 40 unidades de N₂ y 20 de P₂O₅ en interacción con *R. intraradices* promovió el mayor rendimiento de toda la evaluación, aun cuando, con el tratamiento micorrizado más la dosis completa, estadísticamente fueron iguales.

En el caso del tratamiento con la dosis más alta de fertilización (120_N-60_P), el rendimiento fue 12% inferior en comparación con el mismo tratamiento más la biofertilización de *R. intraradices*. El incremento refleja el atributo de *R. intraradices* para abastecer nutrientes y agua a la planta, sobre todo el nitrógeno durante los primeros 42 dds, que es cuando se encontró la concentración más alta en la hoja del maíz (Figura 2). Lo anterior coincide con el incremento de la colonización micorrizica encontrada a ésta fecha, de 79%.

La dosis más baja de fertilización (40_N-40_P) más *R. intraradices* presentó disminución en rendimiento de 36% en comparación con la dosis 80_N-40_P + *R. intraradices*. En este caso, se mejoró ligeramente el rendimiento entre este tratamiento en comparación a la biofertilización de *R. intraradices*. En suelos de baja

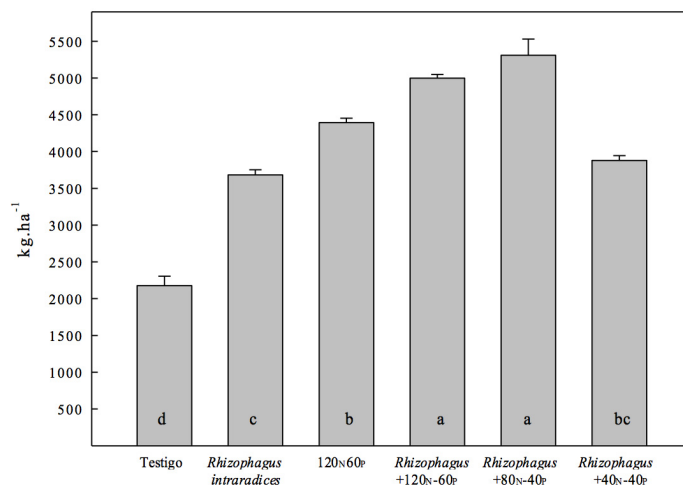


Figura 1. Rendimiento de maíz biofertilizado con *Rhizophagus intraradices* y diferentes dosis de fertilización y riego en la Costa de Chiapas. La línea vertical indica ±error estándar. Las columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (P≤0,05). CV= 5,94%.

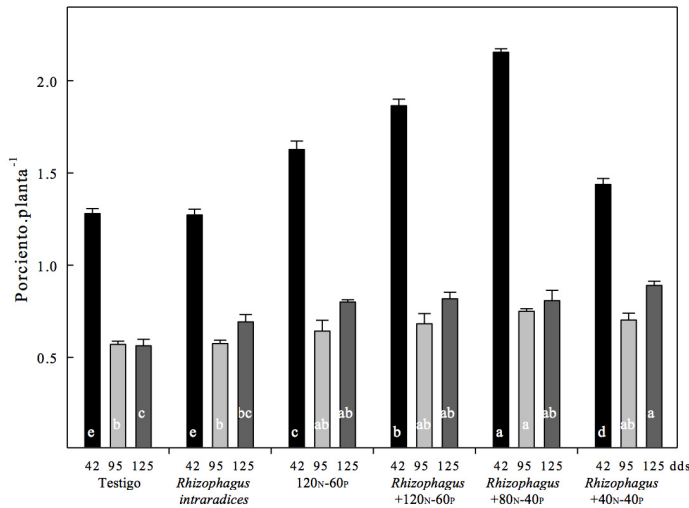


Figura 2. Contenido de nitrógeno en la hoja bandera (49 y 95 dds) y el grano (125 dds) de maíz biofertilizado con *Rhizophagus intraradices* y diferentes dosis de fertilización en campo. La línea vertical indica \pm error estándar. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($P \leq 0,05$).

fertilidad, la colonización micorrizica puede afectar la productividad del cultivo huésped cuando el costo del carbono asociado a la colonización excede a la producción de carbono de la fotosíntesis (Ryan y Graham, 2002).

En México, existen evidencias de la bondad de *R. intraradices* en incrementar el rendimiento del maíz criollo en 22% en comparación al testigo micorrizado en 29 parcelas de validación en diferentes regiones temporales de México (Aguirre-Medina, 2006). Diferencias del 27% en rendimiento entre el testigo y la aplicación de *R. intraradices* se citan en Veracruz (Román-Reyes, 2010), 21% en Chiapas (Cruz-Chávez, 2007) y 8% en Guanajuato con riego (Grageda-Cabrera, 2008). En general, se ha demostrado que se incrementa la productividad del maíz con la simbiosis micorrizica sin fertilización química (Sylvia *et al.*, 1993).

Al aplicar la dosis de fertilización 90_N-60_P más *R. intraradices*, en el estado de Guerrero, se incrementó en 11,5% el rendimiento de maíz (González-Camarillo, 2010).

El incremento en rendimiento del maíz con la disminución de la dosis de fertilización, alrededor de 100 unidades de N y 40 de P₂O₅ más la

inoculación de *R. intraradices* parece estar relacionado con la mejora en la nutrición inducida mediante el transporte de nutrientes, especialmente fósforo, además de promover la absorción de elementos menores y agua (Smith *et al.*, 2015) mediante las hifas, que genera un sistema radical complementario que favorece el aporte de nutrientes y agua a la planta y, con ello, cambios en su fisiología (Barea *et al.*, 2002).

En otros casos, se argumenta que la toma de N por las raíces es mayor que el N suplementado por las hifas de los hongos micorrizicos, a no ser que la hifa tenga acceso a fuentes de nitrógeno que no son accesibles a la raíz (Hodge, 2003).

Cuando se favorece la nutrición de las plantas vía los hongos micorrizicos, se mejora su tasa fotosintética (Wright *et al.*, 2005). Este hecho establece una relación positiva entre el suministro de nutrientes minerales y la tasa de fotosíntesis, la cual influye en todo el complejo fotosintético (Milthorpe y Moorby, 1982). En nuestro caso, la disminución de un tercio de la dosis de fertilización indujo un ligero incremento en el rendimiento en comparación con el tratamiento biofertilizado con la dosis completa, pero sin diferencia estadística entre ellos.

En cambio, la dosis más baja presentó rendimiento semejante al tratamiento unicamente con *R. intraradices*. Resultados semejantes cita Cruz-Chávez (2010) en la Región Centro de Chiapas, pues al disminuir la aplicación del fertilizante de 100-50-00 a 50-20-00 más *R. intraradices* reporta incremento en rendimiento de 16% con el tratamiento micorrizado. En determinadas condiciones de campo, se ha estimado que es posible disminuir el fertilizante fosfatado recomendado y complementarse con la inoculación de los hongos micorrizicos.

Contenido de nitrógeno y fósforo

El contenido de nitrógeno y fósforo en la hoja bandera del maíz durante los primeros 42 dds, se incrementó al disminuir un tercio de fertilización (Figuras 2 y 3).

En estas condiciones, se esperaría que el tratamiento biofertilizado más la dosis de fertilización más alta presentara las concentraciones mayores de ambos nutrientes. Al respecto, Boomsma, y Vyn (2008) sugieren que la disminución del transporte nutrimental disminuye cuando existen altos niveles de fertilidad, o bien puede disminuir la actividad micorrizica con la suplementación de las

fuentes de nitrato (Ngwene *et al.*, 2010).

En los otros tratamientos, cuando se aplicó solo *R. intraradices* y al agregar la biofertilización más la dosis de fertilización más baja (40_N-40_P) en comparación con el testigo, presentaron concentraciones semejantes de ambos nutrientes en la hoja y fueron de los más bajos. Wright *et al.* (2005) cita resultados semejantes en dos variedades de maíz, y agrega que se presenta variación en el contenido de N en las hojas y, algunas veces, las plantas no micorrizadas presentaron mayor contenido de N. Este comportamiento puede estar relacionado con los bajos niveles de N y P presentes en el suelo.

A los 95 dds, disminuyó el contenido de ambos nutrientes en la hoja y se presentó en el grano. Las concentraciones más altas de N se presentaron con el tratamiento *R. intraradices* + 80_N-40_P y una tendencia semejante se presentó con el contenido de nitrógeno en el grano a los 125 dds (Figura 2).

En el caso del fósforo, a los 95 dds el na hoja y en el grano a los 125 dds se presentó incremento con el tratamiento solo biofertilizado con *R. intraradices*. (Figura 3). Las aplicaciones de N y P influyeron solamente en las concentraciones de estos nutrientes en la

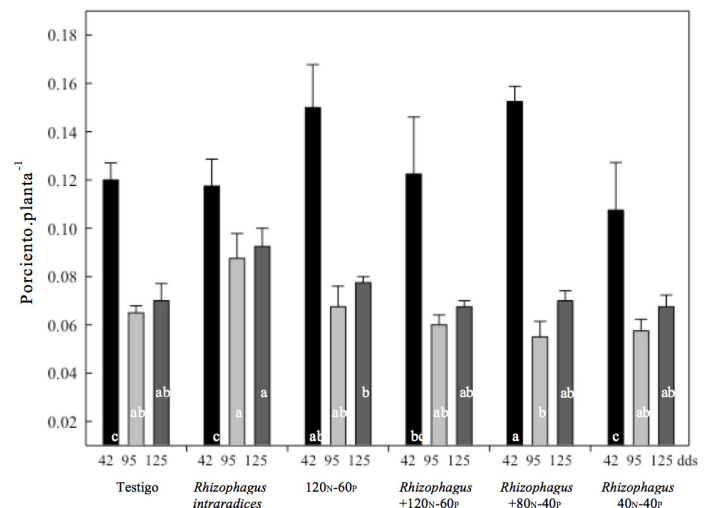


Figura 3. Contenido de fósforo en la hoja bandera (49 y 95 dds) y el grano (125 dds) de maíz biofertilizado con *Rhizophagus intraradices* y diferentes dosis de fertilización en campo. La línea vertical indica \pm error estándar. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($P \leq 0,05$).

hoja a los 42 dds. En los muestreos siguientes, no influyeron en el contenido a esta edad de la planta, más bien, se establece el mayor incremento con el tratamiento solo micorrizado. Las altas concentraciones de P en maíces micorrizados en campo han sido consignadas (Wright *et al.*, 2005) como consecuencia en la nutrición atribuida a la habilidad de las hifas para transportar los nutrientes a la planta huésped. La habilidad en el transporte de P de los hongos micorrízicos se ha demostrado (Kanno *et al.*, 2006; Aguirre-Medina *et al.*, 2011), con énfasis en suelos de baja fertilidad. Las altas concentraciones de N y P en el grano del maíz inoculado con *R. intraradices* sugieren la importancia nutrimental para las regiones rurales, donde el maíz es la principal fuente de alimentación, además de considerar que la disminución en las aplicaciones de fertilizantes químicos tiene impactos económicos y ambientales.

Conclusiones

R. intraradices coloniza ampliamente el sistema radical del maíz desde las etapas iniciales de su desarrollo y promueve un mayor crecimiento y rendimiento en interacción con las dosis de fertilización química, permitiendo, además, disminuir la dosis del fertilizante químico sin detrimento del rendimiento.

La simbiosis *R. intraradices*-maíz incrementó la concentración de N y P en el tejido vegetal y en el grano del maíz.

REFERENCIAS

- Aguirre-Medina JF, Kohashi-Shibata J (2002) Dinámica de la colonización micorrízica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y el contenido de fósforo en frijol común. *Agr. Téc. Méx.* 28:23-33.
- Aguirre-Medina JF (2006) *Biofertilizantes microbianos: Experiencias Agronómicas del Programa Nacional del INIFAP en México*. Libro Técnico No. 2. Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 201 pp.
- Aguirre-Medina JF, Moroyoqui-Ovilla DM, Mendoza-López A, Cadena-Iñiguez J, Avendaño-Arrazate CH, Aguirre-Cadena, JF (2011) Aplicación de *A. brasilense* y *G. intraradices* a *Coffea arabica* en vivero. *Agron. Mesoamer.* 22: 1-10.
- Aguirre-Medina JF, Aguirre-Cadena JF, Cadena-Iñiguez J, Avendaño-Arrazate CH (2012) *Biofertilización en Plantas de la Selva Húmeda Tropical*. Colegio de Postgraduados. México. 99 pp.
- Aguirre-Medina JF, Aguirre-Cadena, JF, Cadena-Iñiguez J, Arevalo-Galarza L, Rosas-Quijano R, Galvez-Lopez, D (2017) Influence of *Rhizophagus intraradices* and phosphorus fertilization on growth, yield and N P content in grain of *Phaseolus vulgaris*. *Legume Res.* 40: 735-740.
- Barea JM, Azcón R, Azcón-Aguilar C (2002) Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Ant. V. Leeuwenhoek* 81: 343-351.
- Boomsma CR, Vyn TJ (2008) Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhiza symbioses? *Field Crop Res.* 108: 14-31.
- Cruz-Chávez FJ (2010) *Informe del Proyecto Transferencia de Tecnología en Biofertilizantes-SAGARPA-FIRCO*. Centro de Investigación Regional de Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarias. México. 19 pp.
- Cuenca R, Cáceres A, Oirdobro R, Hasmy Z, Urdaneta C (2007) Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia* 32: 23-29.
- García E (1973) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana)*. 2ª ed. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 246 pp.
- Gianinazzi S, Gollotte A, Binet MN, Van Tuinen D, Redecker D, Wipf D (2010) Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20: 519-530.
- González-Camarillo M (2010) *Informe del Proyecto Transferencia de Tecnología en Biofertilizantes-SAGARPA-FIRCO*. Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur. Campo Experimental Iguala. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarias. México. 10 pp.
- Grageda-Cabrera O (2008) *Desarrollo de Manejo de Suelo y Prácticas de Conservación para la Producción Agrícola Sostenible y Protección del Ambiente. Informe Anual de Labores del Programa de Biofertilizantes*. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 23 pp.
- Hodge A, Campbell CD, Fitter AH (2001) An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature* 413: 297-299.
- Hodge A (2003) Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. *New Phytol.* 157: 303-314.
- INEGI (2014) *Estadísticas por Tema. Agropecuario. Superficie Cultivada y Producción de Cultivos Anuales, por Cultivo y Entidad Federativa*. (Cons. 19/12/2017). <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>
- Jaizme-Vega MC, Rodríguez-Romero AS (2008) Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrízicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias, *Agroecología* 3: 33-39.
- Jeffries P (1987) Use of mycorrhizae in agriculture. *Crit. Rev. Biothechnol.* 5: 319-357.
- Kaeppeler SM, Parke JL, Mueller SM, Senior L, Stuber C, Tracy WF (2000) Variation among maize inbred lines and detection of quantitative trait loci for growth at low phosphorus and responsiveness to arbuscular mycorrhizal colonization. *Crop Sci.* 40: 358-364.
- Kanno T, Saito M, Ando Y, Macedo MCM, Nakamura T, Miranda CHB (2006) Importance of indigenous arbuscular mycorrhiza for growth and phosphorus uptake in tropical forage grasses growing on an acid, infertile soil from the Brazilian savannas. *Trop. Grassl.* 40: 94-101.
- Kelly RM, Edwards DG, Thompson JP, Magarey RC (2001) Responses of sugarcane, maize and soybean to phosphorus and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Austr. J. Agric. Res.* 52: 731-743.
- Leigh J, Hodge A, Fitter AH (2009) Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phytol.* 181: 199-207.
- Milthorpe FL, Moorby J (1982) *Introducción a la Fisiología de los Cultivos*. Hemisferio Sur. Argentina. pp. 188-192.
- Ngwene B, George E, Claussen W, Neumann E (2010) Phosphorus uptake by cowpea plants from sparingly available or soluble sources as affected by N-form and arbuscular-mycorrhiza-fungal inoculation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173: 353-359.
- Phillips JM, Hayman DJ (1970) Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Román-Reyes J (2010) *Informe Final del Proyecto Validación de Productos Orgánicos en Módulos en la Región Sur Sureste de México*. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Rosario Cotaxtla. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 90 pp.
- Roveda R, Polo C (2007) Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Rhizophagus* spp. en suelos con bajo fósforo disponible. *Agron. Colomb.* 25: 349-356.
- Ryan MH, Graham JH (2002) Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? *Plant Soil* 244: 263-271.
- SAGARPA (2016) Nota de prensa No. 270, 14/06/2016. *Trabaja SAGARPA para Mitigar Efectos del Cambio Climático en México*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/trabaja-sagarpa-para-mitigar-efectos-del-cambio-climatico-en-mexico> (Cons. 13/10/2016).
- SAS (1999-2000) *Statistical Analysis System. SAS/STAT user's Guide: Ver 8.1*. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU.
- Smith S, Anderson I, Smith F (2015) Mycorrhizal associations and phosphorus acquisition: from cells to ecosystems. *Annu. Plants Rev.* 48: 409-440.
- Sylvia DE, Hammond LC, Bennet JM, Hass JH, Linda SB (1993) Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agron. J.* 85: 193-198.
- Wang B, Qiu YL (2006) Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16: 299-363.
- Wright DP, Scholes JD, Read DJ, Rolfe SA (2005) European and African maize cultivars differ in their physiological and molecular responses to mycorrhizal infection. *New Phytol.* 167: 881-896.