

Artículo original

Aplicación combinada de quitosano y HMA en el rendimiento de maíz

Yanebis Pérez-Madruga^{1*}

Pedro Rafael Rosales-Jenquis¹

Daimy Costales-Menéndez¹

Alejandro Falcón-Rodríguez¹

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

*Autor para correspondencia. yanebis@inca.edu.cu

RESUMEN

Se realizaron dos experimentos en condiciones de campo, con el objetivo de evaluar los bioestimulantes QuitoMax[®] y EcoMic[®], solos y combinados, en el rendimiento de dos variedades de maíz (*Zea mays* L.), durante los años 2015 y 2016. En ambos experimentos, los bioestimulantes fueron aplicados por imbibición de granos en soluciones de QuitoMax[®], que después fueron peletizadas con EcoMic[®], previo a la siembra y, posteriormente, las plantas fueron asperjadas en el área foliar con QuitoMax[®]. En el primer experimento, las distintas combinaciones de los bioproductos estimularon la mayoría de los componentes del rendimiento del maíz, variedad Criolla. En el segundo, el tratamiento de los granos con QuitoMax[®] y EcoMic[®] estimuló el diámetro de la mazorca, el número de hileras de granos y el rendimiento agrícola de la variedad P 7928, conjuntamente con la aspersión foliar de QuitoMax[®] en el cultivo. En la variedad Criolla, el tratamiento de los granos previo a la siembra con QuitoMax[®] y EcoMic[®] seguido de la aspersión foliar de QuitoMax[®], aumentó en 62 % el rendimiento respecto al control peletizado con EcoMic[®], mientras que en la variedad P 7928, tanto los tratamientos de cada producto solo como sus combinaciones, aumentaron el rendimiento respecto al control no tratado entre 15 y 22 %. En general, el rendimiento del maíz aumentó significativamente con el empleo de los bioestimulantes, lo que sugiere que la aplicación en el campo de EcoMic[®] y QuitoMax[®], solos y combinados, es una opción recomendable para aumentar los rendimientos del cultivo, en dependencia de la variedad.

Palabras clave: bioestimulantes, biofertilizantes, micorrizas, polímeros

Recibido: 15/11/2018

Aceptado: 08/10/2019

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal de gran importancia económica en el mundo para el consumo humano y animal ^(1,2), con una producción global de 500 millones de toneladas. Este cultivo cubre un área superior a los 120 millones de hectáreas y se cultiva en más de 70 países, aunque su zona fundamental es el continente americano. En Cuba, el maíz abarca una superficie entre 77 000 y 100 000 hectáreas, destacándose las provincias de las regiones centrales y orientales con las mayores extensiones de superficie de siembra ⁽³⁾. En el país existen 47 variedades comerciales, de las cuales sólo cuatro son tradicionales y el resto son cultivares procedentes de diferentes programas nacionales de mejoramiento genético. En la actualidad, la productividad de estos cultivares no superan las 1,44-2,35 t ha⁻¹ como promedio ⁽²⁾.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son organismos biotróficos obligatorios asociados a las raíces de plantas superiores, que reciben fuentes carbonadas provenientes de la planta, mientras que en estas se incrementa la capacidad de exploración del suelo, la absorción de nutrientes minerales y por consiguiente, el crecimiento y desarrollo ^(4,5). Por estas razones han sido utilizados como biofertilizantes para aumentar los rendimientos de diferentes cultivos entre los que se encuentra el maíz ^(6,7). En Cuba, el biofertilizante EcoMic[®] (HMA) ha sido empleado en el maíz y en otros cultivos como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), boniato (*Ipomoea batata* (L.) Lam), plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pimiento (*Capsicum annuum* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.) ^(1,4,5,8).

El quitosano es un derivado parcialmente desacetilado de la quitina, un polisacárido ampliamente distribuido en la naturaleza como componente de las estructuras de los invertebrados. El quitosano es un copolímero lineal formado por unidades de glucosamina y en menor medida de N-acetil D-glucosamina unidos por enlaces β 1-4 ⁽⁹⁻¹¹⁾. Se ha utilizado como bioestimulante por tener una amplia aplicación agrícola a partir de las potencialidades biológicas que se le han demostrado, como la promoción del crecimiento y desarrollo vegetal de varios cultivos de importancia económica ^(9,10,12) y la tolerancia al estrés abiótico ⁽⁹⁾ y

biótico ⁽¹³⁾. Es un compuesto con acción antimicrobiana por su actividad bactericida y fungicida en el crecimiento y desarrollo de hongos, bacterias y Oomicetos ^(9,12-15), además induce resistencia en las plantas contra patógenos ^(9,13,16).

En Cuba se ha utilizado el bioestimulante QuitoMax[®], que es un producto líquido cuyo principal componente activo son polímeros de quitosano. Este bioestimulante es aplicado en diferentes cultivos y estimula el desarrollo y la calidad de los mismos. La aplicación de QuitoMax[®] provoca incrementos del rendimiento desde un 20 % hasta el 55 % en los cultivos del maíz, frijol y tomate ^(2,17,18). La aplicación combinada de QuitoMax[®] con EcoMic[®] ha estimulado los rendimientos de frijol y pimiento ⁽⁸⁾.

En Cuba, a pesar de que se ha utilizado la combinación QuitoMax[®] - EcoMic[®] en presencia de la fertilización NPK en maíz ⁽⁸⁾, no se conoce la acción estimuladora de ambos bioestimulantes combinados o no, sin la aplicación de fertilizantes inorgánicos. En este sentido, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la combinación del QuitoMax[®] y el EcoMic[®] en el rendimiento de las variedades Criolla y P 7928 cuando se aplican a las semillas previo a la siembra, y la aspersion foliar de QuitoMax[®] en diferentes momentos del desarrollo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrollaron dos experimentos en la Finca “El Mulato”, ubicada a 23°00'34.6"LN y 82°08'20.5"LO, a una altura de 122 m.s.n.m., que pertenece a la CCS Orlando Cuellar del Municipio San José de las Lajas, de la provincia Mayabeque, durante los años 2015-2016 sobre un suelo ferralítico rojo lixiviado agrogénico ⁽¹⁹⁾. El primer experimento fue realizado con la variedad Criolla (mezcla de otras variedades realizadas por el productor) en el período marzo-junio de 2015, con $25,2 \pm 1,61$ °C de temperatura promedio, $77,15 \pm 5,46$ % de humedad relativa y 619,8 mm de precipitaciones acumuladas. El segundo experimento fue realizado con la variedad P 7928 ⁽²⁰⁾ en el período abril-julio de 2016, con $25,59 \pm 1,81$ °C de temperatura promedio, $77,82 \pm 6,40$ % de humedad relativa y 620,7 mm de precipitaciones acumuladas. En ninguno de estos experimentos el cultivo se regó por lo que se considera maíz de temporal.

En ambos experimentos se utilizó QuitoMax[®] (bioestimulante a base de polímeros de quitosano) a una dosis de $0,4 \text{ g ha}^{-1}$ ^(8,17,18) y EcoMic[®] (HMA) a una dosis de $1,35 \text{ Kg ha}^{-1}$ con una concentración de 20 esporas g^{-1} equivalente al 10 % del peso de las semillas ^(4,8). El QuitoMax[®], además de aplicarse por imbibición de granos (IG) previo a la siembra, se aplicó

por aspersión foliar (AF) en diferentes momentos después de la siembra (dds): en el primer experimento a los 25 y 45 dds, mientras que, en el segundo, a los 10 y 45 dds. El EcoMic[®] solo fue aplicado a los granos, luego de ser embebidos o no, con QuitoMax[®] mediante recubrimiento de los granos (RG) ⁽²¹⁾, para un total de cuatro tratamientos en el primer experimento y seis tratamientos en el segundo, como aparecen conformados a continuación.

Primer experimento

Control (EcoMic[®]) (CE)

IG con QuitoMax[®] + RG EcoMic[®] + AF con QuitoMax[®] (QEAFQ)

IG con QuitoMax[®] + RG con EcoMic[®] (QE)

RG con EcoMic[®] + AF con QuitoMax[®] (EAFQ)

Segundo experimento

Control (sin EcoMic[®]) (CSE)

RG con EcoMic[®] (CE)

IG con QuitoMax[®] + RG con EcoMic[®] (QE)

IG con QuitoMax[®] + RG con EcoMic[®] + AF con QuitoMax[®] (QEAFQ)

RG con EcoMic[®] + AF con QuitoMax[®] (EAFQ)

AF con QuitoMax[®] (AFQ)

En ambos experimentos se analizaron tres bloques de 2,7 m de ancho y 6 m de largo, para una superficie por parcela de 16,2 m² por tratamiento. La distancia de plantación del cultivo fue de 0,90 m entre hileras y 0,30 m entre plantas. En el momento de la cosecha se evaluaron las variables del rendimiento (peso (cm), longitud (cm) y diámetro (cm)) de las mazorcas, cantidad de hileras y número de granos por mazorca, el peso de 100 granos (g) y el rendimiento estimado (t ha⁻¹), a 20 y 12 plantas en el primer y segundo experimento, respectivamente.

Se realizó un diseño de bloques al azar en el primer experimento, sin embargo, en el segundo se ejecutó un diseño completamente aleatorizado con seis surcos por tratamiento. Para la toma de muestra se utilizó el método de las diagonales. A los datos obtenidos se le realizó un análisis de varianza de clasificación doble efectuándose la Prueba de Rango Múltiple de Duncan para determinar diferencias significativas entre las medias mediante el Programa estadístico InfoStat ⁽²²⁾.

RESULTADOS

En el primer experimento, las variables del rendimiento de la variedad Criolla de maíz fueron estimuladas con las distintas combinaciones de EcoMic[®] y QuitoMax[®] evaluadas, respecto al control micorrizado (CE) (Tabla 1).

Tabla 1. Comportamiento de las variables del rendimiento de la variedad Criolla de maíz con la aplicación combinada de los bioestimulantes QuitoMax[®] y EcoMic[®]

Tratamientos	Rendimiento de mazorcas de maíz (var. Criolla)						
	Peso (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Cantidad de hileras	No. Granos	P 100 granos (g)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
CE	58,81 c	12,42 b	3,90 c	13,65 b	371,53 c	15,95 c	2,15 c
QEAFQ	101,81 a	14,49 a	4,42 a	14,30 a	491,60 a	19,17 a	3,48 a
QE	80,50 b	14,06 a	4,13 b	13,63 b	437,00 b	16,95 bc	2,74 b
EAFQ	73,06 b	13,00 b	4,17 b	13,65 b	417,90 b	17,41 b	2,64 b

Letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente para $p < 0,05$, de acuerdo con la prueba de Duncan

De todas las combinaciones de los bioestimulantes evaluadas, la que más se destacó fue la imbibición de granos con QuitoMax[®], pelletizados con EcoMic[®] más la posterior aspersión foliar de QuitoMax[®] a los 25 y 45 (dds) (QEAFQ). Con este tratamiento se lograron incrementos de 62 % en el rendimiento del cultivo (Tabla 1).

La Tabla 2 muestra los resultados del rendimiento de la variedad P 7928 (segundo experimento).

Tabla 2. Comportamiento de las variables del rendimiento de la variedad P 7928 de maíz con la aplicación combinada de los bioestimulantes QuitoMax[®] y EcoMic[®]

Tratamientos	Rendimiento de mazorcas de maíz (var. P 7928)						
	Peso (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Cantidad de hileras	No. granos	P 100 granos (g)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
CSE	136,22 c	14,47 b	4,57 b	13,90 b	422,17 b	29,93 a	4,68 c
CE	149,41 b	15,97 a	4,60 b	14,07 ab	484,00 a	29,94 a	5,37 ab
QE	161,33 b	15,51 a	4,96 a	14,93 a	492,33 a	31,32 a	5,71 a
QEAFQ	195,75 a	15,53 a	4,71 b	14,33 ab	503,63 a	28,99 a	5,41 ab
EAFQ	164,68 b	16,37 a	4,69 b	14,03 ab	484,67 a	28,40 a	5,10 bc
AFQ	169,92 b	16,40 a	4,89 a	14,57 ab	503,77 a	30,51 a	5,69 a

Letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente para $p < 0,05$, de acuerdo con la prueba de Duncan

El peso de las mazorcas se comportó mejor con la imbibición de granos con QuitoMax[®] más la peletización de los mismos con EcoMic[®] y la posterior aspersion foliar de QuitoMax[®] (QEAFQ) (Tabla 2). El largo de la mazorca fue mejorado con los bioestimulantes combinados o no, con valores diferentes y superiores al control no micorrizado con EcoMic[®] (CSE). Lo mismo ocurrió con el número de granos por mazorca (Tabla 2). Sin embargo, el diámetro de las mazorcas fue mejorado solo con la aplicación de los bioproductos combinados y aplicados a los granos, previo a la siembra (QE), y por la aspersion foliar del cultivo con QuitoMax[®] a los 10 y 45 dds (AFQ), mientras que la cantidad de hileras solo fue estimulada con el primer tratamiento mencionado (QE) (Tabla 2). En cuanto al peso de los 100 granos no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Las combinaciones de los bioestimulantes que más estimularon el rendimiento del maíz fue la imbibición de granos con QuitoMax[®] y su posterior peletización con EcoMic[®] (QE) previo a la siembra con 22 % de incremento y la aspersion foliar de QuitoMax[®] (AFQ) con 21% de incremento, aunque sin diferencias significativas con la aplicación de formas combinadas de los dos tratamientos (QEAFQ) y del biofertilizante EcoMic[®] solo (CE) (Tabla 2).

DISCUSIÓN

En la variedad Criolla se obtuvo un menor rendimiento que en la variedad P 7928 de maíz (Tabla 1 y 2). La primera variedad fue obtenida por mezclas de otras variedades realizadas por el productor con el propósito de elevar la productividad del cultivo y que no se ha logrado en la actualidad. Sin embargo, con la aplicación de los bioestimulantes de forma combinada se logró aumentar el rendimiento de dicha variedad (Tabla 1). A diferencia de la variedad Criolla, la P 7928 tuvo los mayores rendimientos con todas las combinaciones de los bioestimulantes evaluadas, fundamentalmente, con la aspersion foliar del QuitoMax[®] sin combinar, aunque no tuvo diferencias significativas con respecto a los tratamientos micorrizados con EcoMic[®] (Tabla 2). Esto demuestra que es posible utilizar la aplicación individual del QuitoMax[®] para aumentar los rendimientos de la variedad.

Con anterioridad, se empleó comparativamente el QuitoMax[®] y el EcoMic[®] en dos variedades de maíz blanco (Chuco y Cariaco) que elevaron los rendimientos del cultivo, con una concentración mayor (1 g L^{-1}) de QuitoMax[®] aplicado en granos por imbibición ⁽²⁾. Empleando foliarmente otro quitosano en el maíz, se obtuvieron resultados similares por otros autores ⁽²³⁾, pero utilizando concentraciones más elevadas que las ensayadas en este estudio.

En ambas variedades de maíz, Criollo y P 7928, la combinación más efectiva fue la aplicación a granos de QuitoMax[®] por imbibición y luego la peletización con EcoMic[®] antes de la siembra, más la aspersión foliar del primero en los momentos indistintos del desarrollo del cultivo plantado (Tabla 1 y 2). Este resultado corrobora lo anteriormente obtenido con la aplicación combinada de los bioestimulantes a similares dosis, pero en presencia de la fertilización inorgánica completa de NPK ⁽⁸⁾. El rendimiento del maíz con la aplicación de EcoMic[®] más la fertilización de NPK (50 %) fue de 2,6 t ha⁻¹, mientras que con la adición de QuitoMax[®] no se supera este rendimiento y si se alcanzaron valores superiores al aplicarse solamente el 50 % NPK.

Por otra parte, el cultivo del maíz se coloniza eficientemente por los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y como ocurre en otras especies, esta interacción simbiótica aumenta significativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, el contenido de fósforo, la acumulación de masa seca y la tasa fotosintética bajo condiciones de fósforo limitadas ^(24,25). La aplicación de HMA junto a fertilización mineral en la variedad de maíz híbrido amarillo HIMECA 3005 fue efectiva en aumentar los rendimientos hasta un 100 % (de 2 a 4 t ha⁻¹), ya que los requerimientos nutricionales fueron cubiertos ⁽⁶⁾. En este estudio se pudo constatar algo similar, aunque no se haya utilizado NPK. Esto sugiere que las distintas combinaciones de los bioproductos es una opción recomendable para aumentar los rendimientos del cultivo de maíz, en dependencia de la variedad.

CONCLUSIONES

- La combinación de la aplicación de QuitoMax[®] por imbibición de los granos y su peletización con EcoMic[®] más la posterior aplicación foliar de QuitoMax[®] en diferentes momentos del desarrollo del maíz, eleva los rendimientos de la variedad Criolla y P 7928.
- La aspersión foliar de QuitoMax[®], sin la aplicación previa sobre granos de los bioestimulantes combinados, se destacó entre todas las combinaciones en el rendimiento de la variedad P 7928 de maíz.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la contribución a la investigación de Yoel Gallardo productor de la Finca “El Mulato” perteneciente a la CCS Orlando Cuellar, Mayabeque, Cuba.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mena Echevarría A, Fernández K, Olalde V, Serrato R. Diferencias en la respuesta del maíz *Zea mays L.*) a la inoculación con *Glomus cubense* (Y. Rodr. & Dalpé) y con un conglomerado de especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). *Cultivos Tropicales*. 2013;34(2):12–5.
2. Torres-Rodríguez JA, Reyes-Pérez JJ, González-Gómez LG, Jiménez-Pizarro M, Boicet-Fabre T, Enríquez-Acosta EA, et al. Respuesta agronomica de dos variedades de maiz blanco (*Zea mays, L.*) a la aplicacion de Quitomax, Azofert y Ecomic. *Biotechnia*. 2018;20(1):3–7.
3. Acosta Roca R, Martínez Cruz M, Colomer López AR, Ríos Labrada H. Evaluación morfoagronómica de una población de maíz (*Zea mays, L.*) en condiciones de polinización abierta en el municipio Batabanó, provincia Mayabeque. *Cultivos Tropicales*. 2013;34(2):52–60.
4. Martín Alonso GM, Rivera Espinosa R, Arias Pérez L, Pérez Díaz A. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrízica con *Glomus cubense* (cepa INCAM-4), su efecto de permanencia en el cultivo del maiz. *Cultivos Tropicales*. 2012;33(2):20–8.
5. Martín GM, Rivera R. Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Cultivos Tropicales*. 2015;36:34–50.
6. Herrera EMC, Toro M, Lopez D. Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico, Venezuela. *Temas Agrarios*. 2016;2:21–31. doi:10.21897/rta.v2i1i2.898
7. Irizar Garza MBG, González Molina L, Larqué Saavedra BS, Martínez Trejo G, Díaz Valasis M, Muñiz Reyes É. Uso de micorriza y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. México: Centro de Investigación Regional del Centro. 2016;37.
8. Rivera R, Nápoles MC, Ruíz M, Rodríguez Y, Simó J, Martín G, et al. Informe Final del megaproyecto “Manejo conjunto e impacto de biofertilizantes micorrízicos y otros bioproductos en la producción agrícola de diferentes cultivos”. Cuba: Instituto Nacional Ciencias Agrícolas. 2017. 127 p
9. Pichyangkura R, Chadchawan S. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 2015;196:49–65. doi:10.1016/j.scienta.2015.09.031

10. Falcón Rodríguez AB, Costales Mené D, González-Peña Fundora D, Nápoles García MC. Nuevos productos naturales para la agricultura: las oligosacarinas. *Cultivos Tropicales*. 2015;36:111–29.
11. Rodríguez ABF, Costales D, Peña DG, Morales D, Mederos Y, Jerez E, et al. Chitosans of different molecular weight enhance potato (*Solanum tuberosum* L.) yield in a field trial. *Spanish journal of agricultural research*. 2017;15(1):25.
12. Badawy MEI, Rabea EI. A Biopolymer Chitosan and Its Derivatives as Promising Antimicrobial Agents against Plant Pathogens and Their Applications in Crop Protection [Internet]. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*. 2011 [cited 19/10/2019]. doi:10.1155/2011/460381
13. Falcón-Rodríguez AB, Wégria G, Cabrera JC. Exploiting plant innate immunity to protect crops against biotic stress: chitosaccharides as natural and suitable candidates for this purpose. In: Bandani AR (Ed). *New perspectives in plant protection*. 2012;139–66.
14. Palma-Guerrero J, Jansson H-B, Salinas J, Lopez-Llorca LV. Effect of chitosan on hyphal growth and spore germination of plant pathogenic and biocontrol fungi. *Journal of Applied Microbiology*. 2008;104(2):541–53. doi:10.1111/j.1365-2672.2007.03567.x
15. Fundora DG-P, Rodríguez AF, Izaguirre GG, Morales AF. La quitosana: potencialidades antimicrobianas contra hongos y oomycetes. *Fitosanidad*. 2013;17(2):111–5.
16. Abd El-Gawad HG, Bondok AM. Response of Tomato Plants to Salicylic Acid and Chitosan under Infection with Tomato mosaic virus. *Am.-Eur. J. Agric. Environ. Sci*. 2015;15(8):1520–9.
17. Morales Guevara D, DellAmico Rodríguez J, Jerez Mompié E, Díaz Hernández Y, Martín Martín R. Effect of QuitoMax[®] on crop growth and yield of bean *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales*. 2016;37(1):142–7.
18. Terry Alfonso E, Falcón Rodríguez A, Ruiz Padrón J, Carrillo Sosa Y, Morales Morales H. Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax[®]. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(1):147–54.
19. Hernández Jiménez A, Pérez Jiménez JM, Bosch Infante D, Castro Speck N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 91 p.

20. Pérez P, Rodríguez E, Grande O. Manual para la producción del cultivo del maíz *Zea mays* L. Editora Agroecológica, MINAGRI; 2012. 36 p.
21. Fernández F, Gómez R, Vanegas LF, Martínez MA, de la Noval BM, Rivera R. Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Cuba, Patente no. 22641. 2000.
22. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat, versión 2008. [Internet]. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 2008 [cited 19/10/2019]. Available from: <http://www.infostat.com.ar/>
23. Mondal MMA, Puteh AB, Dafader NC, Rafii MY, Malek MA. Foliar application of chitosan improves growth and yield in maize. *J. Food Agric. Environ.* 2013;11(2):520–3.
24. Deguchi S, Shimazaki Y, Uozumi S, Tawaraya K, Kawamoto H, Tanaka O. White clover living mulch increases the yield of silage corn via arbuscular mycorrhizal fungus colonization. *Plant and Soil.* 2007;291(1–2):291–9. doi:10.1007/s11104-007-9194-8
25. Parniske M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology.* 2008;6:763–75. doi:10.1038/nrmicro1987