

TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN EN MAÍCES DE SIEMBRA TARDÍA: TRATAMIENTOS DE SEMILLA CON MICORRIZAS Y ZINC

INTA EEA PERGAMINO
Campaña 2013/14

Ings. Agrs. (MSc) Gustavo N. Ferraris, Lucrecia A. Couretot

INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 B2700WAA Pergamino

ferraris.gustavo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El uso de inoculantes biológicos incorporados como tratamientos de semilla con microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPM) tales como *Pseudomonas sp.*, *Azospirillum sp.*, Micorrizas y otros muestra un creciente interés no sólo en estudios de investigación sino también en evaluaciones extensivas y usos comerciales en diferentes cultivos. Si bien los efectos favorables sobre las plantas cultivadas son muy diversos, estos podrían agruparse en 1. Estímulo o promoción de crecimiento propiamente dicho, 2. Efectos de biocontrol y tolerancia mejorada a patógenos 3. Fijación no simbiótica de nitrógeno, solubilización de nutrientes e incremento en la eficiencia de uso de los fertilizantes y 4. Otros efectos secundarios. Dado el crecimiento en los costos de producción, las mejoras derivadas de una mayor eficiencia de uso de los nutrientes y otros recursos a partir de los aportes de estos tratamientos biológicos serían de relevancia (Ferraris et al., 2008).

Por otra parte, el Zinc (Zn) es uno de los trece elementos considerados esenciales (Marschner, 1992). Su función principal es la de activador enzimático, catalizando innumerables reacciones en procesos metabólicos como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas. Es además precursor del triptófano y el ácido indol acético (Fancelli, 2006). La deficiencia se asocia con la presencia de suelos arenosos de baja CIC, primaveras frías y dosis elevadas de fertilizante fosforado en la línea de siembra, al presentar un antagonismo a nivel de superficie radicular con este elemento (Scheid López, 2006). Se identifica por la aparición de bandas longitudinales blanquecinas. En casos severos, pueden aparecer plantas más pequeñas, entrenudos cortos y agrupamiento de hojas formando una roseta en la porción terminal (Fancelli, 2006). El cultivo de maíz presenta requerimientos totales de Zn que casi duplican al de los restantes cultivos, siendo la especie que ha mostrado respuestas positivas a su agregado con mayor frecuencia. De este modo, el Zn en el área de estudio se ubica como el cuarto elemento en importancia para la nutrición del maíz, luego de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S).

Los objetivos de este trabajo son 1. Evaluar los efectos sobre el crecimiento, la productividad y otras variables de planta como resultado de tratamientos biológicos con un inoculante que contiene Micorrizas en su formulación, en tratamientos a la siembra o anticipados a ella. 2. Evaluar la compatibilidad a nivel de campo con aplicaciones de zinc sobre semilla y 3. Estudiar la interacción entre la inoculación y el nivel tecnológico con el que se realiza el cultivo.

Hipotetizamos que: 1. Los tratamientos biológicos evaluados incrementan los rendimientos de maíz tardío en siembra directa 2. La aplicación de zinc sobre semilla es compatible con la inoculación con microorganismos esporulados, y en suelos deficitarios aumenta la productividad del cultivo, y 3. Es posible lograr sinergismos entre el nivel tecnológico y la inoculación: aumentando la eficiencia que cada una de ellas tendría en forma individual.

Palabras clave: Maíz, PGPM, nitrógeno, zinc, rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento de campo en Pergamino, sobre un suelo correspondiente a la Serie Pergamino, Clase I de muy buena productividad. El experimento fue sembrado el día 22 de noviembre en SD, con antecesor trigo/soja, utilizando el híbrido Pioneer 2069YR. El diseño del ensayo correspondió a bloques completos al azar con cuatro repeticiones y los factores Inoculación (I), y nivel tecnológico (NT), conformado un factorial 5 x 2 x 4. Todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con igual dosis de fósforo (P) y azufre (S). Las fuentes utilizada fue fosfato monoamónico (11-23-0) 100 kg ha⁻¹.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados en los ensayos. Tratamientos de semilla con Micorrizas, Zinc y Nivel tecnológico implementado en maíz tardío. Pergamino. Campaña 2013/14.*

Factor 1: Tratamientos biológicos	Factor 2: Dosis N (kgha ⁻¹)
I1: Testigo I2: Crinigan 8 g/kg semilla Preinoc 7 d.a.s. I3: Crinigan siembra 8 g/kg semilla I4: Crinigan 8 g/kg semilla + Teprosyn Zn 3,5 ml/kg Preinoc 7 d.a.s. I5: Crinigan 8 g/kg semilla + Teprosyn Zn 3,5 ml/kg siembra	MT: N46 kg/ha AT: N 92 kg/ha S20 kg/ha Fungicida + N foliar en V10 R5

Previo a la siembra se realizaron análisis de suelo del sitio experimental, el cual se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: *Análisis de suelo a la siembra del ensayo.*

Sitio	pH		Materia Orgánica	N total	Fósforo disponible	N-Nitratos (0-40) cm	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-20 cm
EEA	agua 1:2,5		%		mg kg ⁻¹	ppm	kg ha ⁻¹	ppm
INTA	5,5		3,34	0,167	22,8	23,8 – 12,5	110,6	4,9
Pergam	Magnesio	Potasio	Calcio	Zinc Setiembre	Zinc Diciembre	Cobre	Hierro	Boro
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	184	719	1725	0,95	1,07	1,60	117	0,64

En V4 se cuantificó materia seca por planta. En la floración se midió el número de hojas fotosintéticamente activas, el vigor, la altura final de plantas y el índice verde por Spad. A cosecha de determinaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias.

RESULTADOS

Descripción del ambiente climático en el sitio experimental

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico del sitio durante el ciclo de cultivo. Las precipitaciones fueron escasas (Figura 1) y acompañadas de temperaturas extremadamente altas en las primeras etapas de cultivo, durante el mes de diciembre. Las

lluvias regresaron hacia enero, y fueron históricamente elevadas en febrero. El cultivo soportó estos eventos extremos gracias a que el sitio ocupaba posiciones altas en el relieve. La abundante nubosidad y su consecuente caída en la Heliofanía y cociente fototermal de febrero no pareció afectar los rendimientos (Figura 2).

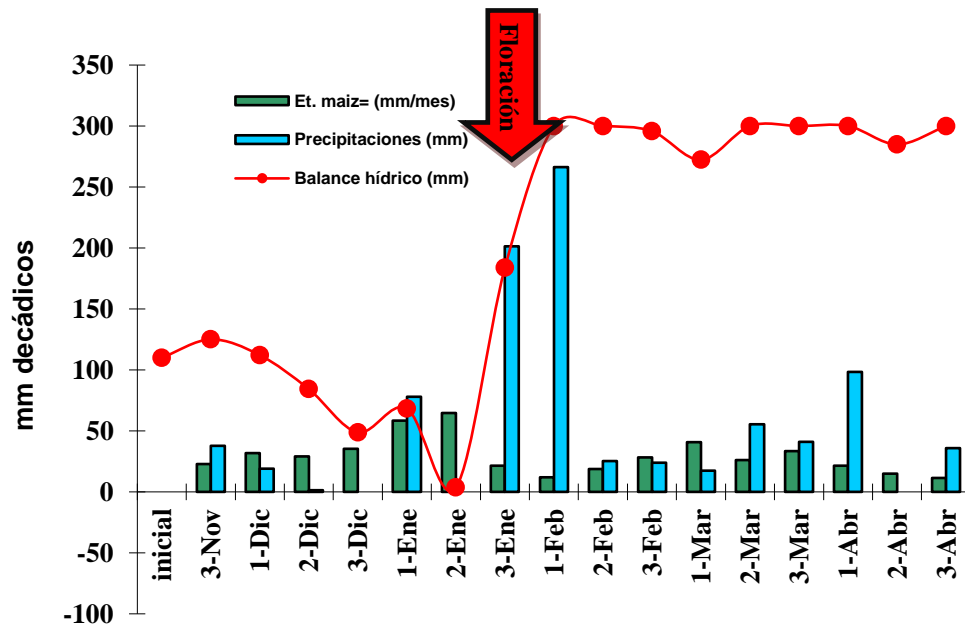


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico acumulados (mm) en el sitio experimental. Pergamino, Bs As. Agua disponible inicial en el suelo (200 cm) 110 mm. Precipitaciones totales en el ciclo 901,7 mm. Déficit acumulado de evapotranspiración 0 mm.

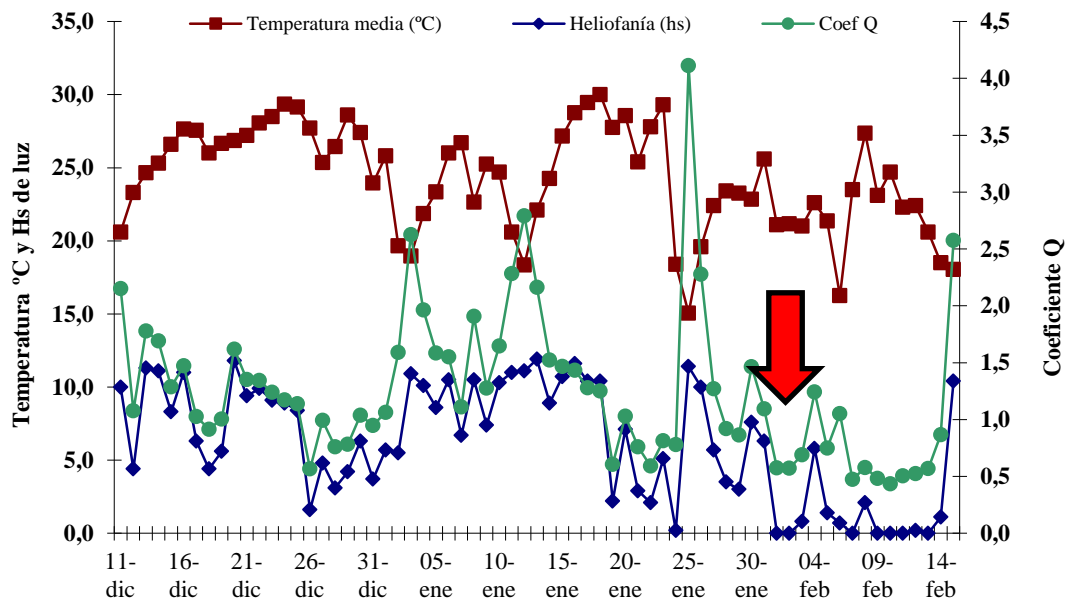


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diaria para el período 10 de Diciembre – 15 de Febrero. Datos tomados de la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino, (Bs As), campaña 2013/14. La flecha indica la floración.

B) RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

En la Tabla 3 se presentan las variables de cultivo evaluada en el ensayo:

Tabla 3: Parámetros morfológicos de cultivo: plantas emergidas, hojas fotosintéticamente activas, altura de planta, altura de inserción de espiga, índice de vigor e intensidad de verde determinado mediante lecturas Spad. Tratamientos biológicos y dosis de Nitrógeno en Maíz. Pergamino, campaña 2013/14.

Factor 1: Dosis Azp (ml ha ⁻¹)	Factor 2: Dosis N (kg ha ⁻¹)	MSeca V6 (kg ha ⁻¹)	Hojas activas R2	Índice de Vigor R2	Altura planta (cm)	Cobertura (%)	Unidades Spad R2
Testigo	MT	2540	13	3,1	204	93	38,6
Crinigan 7das		3075	12	3,0	206	92	43,1
Crinigan siembra		3140	14	3,1	206	95	39,2
Crinigan + T.Zn 7das		3430	13	3,1	196	97	44
Crinigan + T.Zn siembra		3420	14	3,3	205	98	45,2
Testigo	AT	3055	13	3,0	208	95	42,4
Crinigan 7das		3260	13	3,1	218	96	45,7
Crinigan siembra		3560	14	3,4	214	97	49,2
Crinigan + T.Zn 7das		3755	13	3,0	207	95	47,8
Crinigan + T.Zn siembra		3590	14	3,1	208	98	45
R2 vs rendimiento		0,91	0,09	0,0	0,01	0,24	0,56

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo

V6: Seis hojas expandidas. R2 Cuajado de grano.

Tabla 4: Rendimiento (kg ha⁻¹), componentes, respuesta absoluta y relativa a tratamientos biológicos y dosis de Nitrógeno en Maíz.

Factor 1: Dosis Azp (ml ha ⁻¹)	Factor 2: Dosis N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	NG	PG	Dif com testigo absoluto (kg ha ⁻¹)	Respuesta relativa (%)
Testigo	MT	9003	92,1	9003		
Crinigan 7das		11000	94,7	11000	2125,0	25,6
Crinigan siembra		12630	83,2	12630	2216,6	26,7
Crinigan + T.Zn 7das		12028	90,0	12028	2533,3	30,6
Crinigan + T.Zn siembra		10998	98,2	10998	2508,3	30,3
Testigo	AT	10481	93,5	10481		
Crinigan 7das		11674	87,8	11674	450,0	4,6
Crinigan siembra		10986	104,3	10986	1658,3	16,9
Crinigan + T.Zn 7das		14166	91,3	14166	3133,3	32,0
Crinigan + T.Zn siembra		13203	91,9	13203	2333,3	23,8
R2 vs Rendimiento			0,77	0,02		
Tratamiento biológico (P=)		0,0003	Efecto significativo Dosis Azp (P<0,10)			
Nivel tecnológico (P=)		0,001	Efecto significativo Dosis N (P<0,09)			
Trat biológico x NT (P=)		0,11	Interacción Dosis N x Dosis Azp n.s. (P>0,10)			
CV (%)		4,97 %				

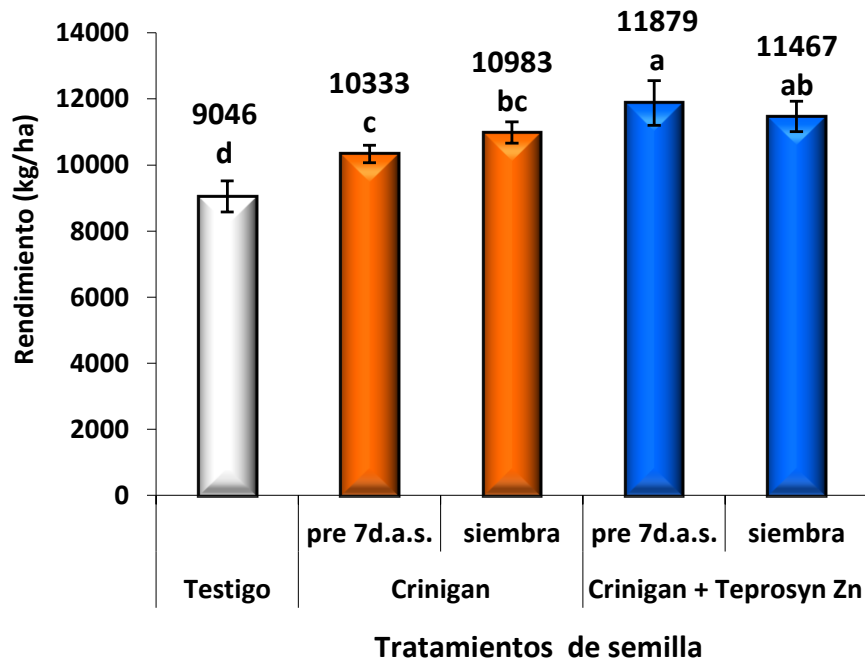


Figura 3: Rendimiento de grano según tratamientos biológicos, promedio de dos niveles de tecnología en maíz de siembra tardía. Pergamino, campaña 2013/14. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las líneas verticales representan la desviación Standard de la media.

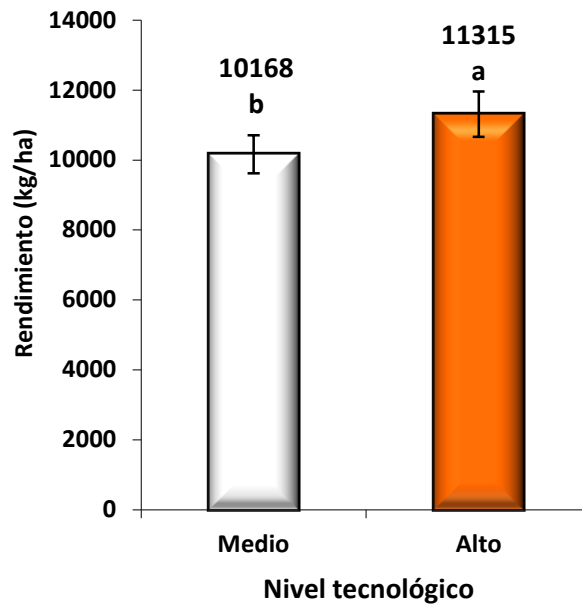


Figura 4: Rendimiento de grano según niveles de nitrógeno en maíz de siembra tardía. Los valores descriptos son promedio de cinco tratamientos de semilla. Pergamino, campaña 2013/14. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las líneas verticales representan la desviación Standard de la media.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

* El ambiente climático fue favorable para el maíz tardío, gracias al retorno de las precipitaciones en enero y febrero en un sitio poco expuesto al exceso hídrico (Figura 1). La baja luminosidad a consecuencia de la continuidad en las lluvias fue un factor secundario que no impidió alcanzar altos rendimientos (Figura 2).

* La productividad media fue de 10741,7 kg ha⁻¹, abarcando un rango entre 10168 y 11315 kg ha⁻¹. El potencial alcanzado fue propio de un maíz temprano, logrando un techo poco conocido hasta el momento para los cultivos de siembra tardía (Tabla 4).

* Se determinó efecto de los factores principales, inoculación (P=0,0003) y dosis de N (P=0,001), aunque no interacción inoculación x dosis N (P>0,10) (Tabla 4). Esto significa que el efecto de los tratamientos biológicos se manifestó bajo ambas dosis de N.

* La jerarquía entre tratamientos difirió con el Nivel tecnológico. En MT, la respuesta media fue muy importante pero no se determinó una diferencia clara por el uso de T.Zn, ni tampoco un efecto marcado del momento de inoculación (Tabla 4). Por el contrario, en AT los rendimientos de todos los tratamientos fueron más altos. La adición de T.Zn y la preinoculación funcionaron muy bien, incrementando los rendimientos medios (Tabla 4). Producto de ambos NT, el promedio del ensayo manifestó respuesta significativa al uso de T.Zn junto al inoculante, sin diferencias ostensibles entre momentos de tratamiento, y con todos ellos con rendimientos estadística y agrónomicamente por encima del testigo (Figura 3).

* Los mayores cambios se obtuvieron a partir de la Mseca acumulada en V6, NG y la intensidad de verde medida por Spad (Tablas 3 y 4).

* La respuesta a los tratamientos biológicos estuvo dentro del rango máximo obtenido por esta tecnología, que es evaluada por INTA Pergamino desde el año 2005. Esta respuesta y los rendimientos alcanzados revalorizan al maíz tardío, que gracias a su estabilidad se torna también en un cultivo permeable al agregado de tecnología.

* Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis 1: –Existe un efecto positivo de los tratamientos de inoculación con micorrizas sobre los rendimientos de maíz-, aceptar la hipótesis 2: –El agregado aditivo de Zn es, al menos desde los rendimientos, compatible con los tratamientos biológicos- e igualmente aceptar la hipótesis 3: - La respuesta se manifiesta en ambos niveles de tecnológicos-, lo cual permite inferir que los beneficios agrónomicos y productivos de estas tecnologías pueden ser utilizados en un rango amplio de rendimientos y ambientes de producción.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Covasevic, F., H. Echeverría y Y. Andreoli. 1995. Micorriación vesículo-arbuscular espontánea en trigo en función de la disponibilidad de fósforo. Ciencia del Suelo 13:47-51.

Coyne M. 1999. Soil Microbiology: An exploratory approach. Delmar Publishers. 462 pag.

Díaz-Zorita, M., M.V. Fernández-Canigia. 2008. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity, Eur. J. Soil Biol. doi:10.1016/j.ejsobi.2008.07.001

Díaz-Zorita, M., R.M. Baliña, M.V. Fernández-Canigia, A. Peticari. 2004. Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) with *Azospirillum brasilense* in the Pampas region, Argentina. RELAR, Rio de Janeiro (Brasil).

Döbereiner, J., I. Marriel and M. Nery. 1976. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. Can J Microbiol 22: 1464-1473.

Faggioli, V., G. Freytes y C. Galarza. 2008. Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo. Publicación Técnica INTA EEA Marcos Juárez. Disponible on line http://www.inta.gov.ar/MJUAREZ/info/documentos/Suelos/trigo_micorrizas08.pdf

- Ferraris, G. y L. Couretot. 2010. a. Inoculación con Micorrizas en maíz. Evaluación bajo diferentes niveles tecnológicos y dosis de nitrógeno. 6 pp. Disponible on line. <http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/informacion.htm>
- Ferraris, G. y L. Couretot. 2008. Evaluación de la inoculación con Micorrizas bajo diferentes ambientes de fertilidad. pp 48-52. En: Trigo. Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola.
- Ferraris, G., L. Couretot y M. Díaz Zorita. 2008. Respuesta de trigo a tratamientos con *Azospirillum* sp. según niveles tecnológicos. CD Room. VII Congreso Nacional de Trigo.V Simposio Invernal de Cereales de siembra Otoño –Invernal. I Encuentro del Mercosur.
- García, F.O.; L.I. Picone y A. Berardo. 2006. Fósforo. Pág. 99-121. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.) Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. 521p.
- Haas D, Défago G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. Nat Rev Microbiol. 2005 Apr; 3(4):307-19. Okon Y. and C. Labandera-Gonzalez. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. Soil Biol. Biochem. Vol 26 (12):1591-1601.
- Peterson R.L., H.B. Massicotte y L.H. Melville . 2004. Arbuscular mycorrhizas. En: Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology. NRC-CNRC. Research Press.Otawa. Canada. Chap.3: 57-79.
- Puente, M. y A. Peticari. 2006. Inoculación de trigo con *Azospirillum*. Trigo en Siembra Directa. 97-99. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa, AAPRESID.
- Russo A, Felici C, Toffanin A, Götz M, Collados C, Barea JM, Moënné-Loccoz Y, Smalla K, Vanderleyden J, Nuti M (2005) Effect of *Azospirillum* inoculants on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. Biol Fertil Soils 41:301–309.
- Schalamuk S, S. Velásquez, H. Chidichimo y M. Cabello. 2006. Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage. Mycologia 1: 22–28.