

EFECTO DE LA ADICIÓN DE COMPOST SOBRE PROPÁGULOS MICORRÍDICOS ARBUSCULARES EN UN SUELO VOLCÁNICO DEL CENTRO SUR DE CHILE

**Rayen Millaleo M¹, Camila Montecinos U², Rosa Rubio H¹,
Aliro Contreras N¹, Fernando Borie B.¹**

¹Universidad de La Frontera, Casilla 54-D, Temuco, Chile.

Correo electrónico: fborie@ufro.cl

² Centro de Educación y Tecnología para el Desarrollo del Sur, CET-Sur, Casilla 201, Temuco, Chile.

Effect of compost addition on arbuscular mycorrhizal propagules in a southern Chilean volcanic soil

Keywords: Compost, Ultisol, legume, cereal, organic agriculture, arbuscular mycorrhiza.

ABSTRACT

Organic amendments affect the chemical and biological characteristics of soils contributing to the sustainability of agroecosystems. The aim of this study was to evaluate in glasshouse conditions the effect of compost addition in an Ultisol on fungal propagules such as those colonized in the roots, mycelium and spores, together with soil chemical and nutritional characterization of three crops (wheat, beans and grass) after harvesting. Compost was based on cattle and vegetables waste and it was supplied into the soil at 0, 8, 20 and 30 Mg ha⁻¹ on dry bases. Roots from all crops presented high arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) colonization with the highest amount, while the hyphal length was significantly different only in beans crop. There were not significant differences for the spore numbers. The highest production of dry matter in beans and grass was reached with the highest compost supplied but in wheat this was true for the middle amount of compost. Similar results were obtained for the content of phosphorus (P) in the shoot. Compost application incremented the availability of P in the Ultisol for the three crops. It was concluded that compost application to the three crops studied was beneficial because the high viability of mycorrhizal propagules together with the great amount of phytomass and soil nutrients availability.

Palabras claves: Compost, Ultisol, leguminosa, gramínea, agricultura orgánica, micorrizas arbusculares.

*Presentación de los resultados de la tesis de pregrado denominada "Efectos de la adición de compost por dos años consecutivos sobre propágulos micorrícicos, parámetros químicos y nutricionales, bajo condiciones de invernadero en un Ultisol de la IX Región", Rayen Millaleo M. Universidad de La Frontera, Chile, 2006.

RESUMEN

Los abonos orgánicos afectan características químicas y biológicas de los suelos contribuyendo a la sustentabilidad de los agroecosistemas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto, en condiciones de invernadero, de la adición de compost en un Ultisol sobre parámetros fúngicos como colonización radical, micelio y esporas, junto con parámetros químicos de suelo y nutricionales de tres cultivos (trigo, frejol y pradera) después de cosecha. El compost fue elaborado con desechos ganaderos y vegetales y aplicado en dosis equivalentes a 8, 20 y 30 Mg ha en base a materia seca. Las raíces de todos los cultivos presentaron mayor colonización de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) con la dosis más alta, mientras que la longitud hifal fue significativamente diferente sólo en frejol. No existieron diferencias significativas para el número de esporas. La mayor producción de materia seca en frejol y pradera se alcanzó con la dosis más elevada, pero en trigo fue válido sólo con la dosis intermedia. Similares resultados se obtuvieron para el contenido de fósforo foliar. La aplicación de compost incrementó la disponibilidad de fósforo en el Ultisol para los tres cultivos. Se concluye que la aplicación de compost para los tres cultivos estudiados fue beneficiosa por la alta viabilidad de los propágulos micorrícicos junto con el aumento de la fitomasa y disponibilidad de nutrientes del suelo.

INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica estimula los procesos bioquímicos de los agroecosistemas incluyendo la biodiversidad, ciclos biogeoquímicos y actividad biológica del suelo. En este contexto, la agricultura orgánica enfatiza la utilización de prácticas de gestión basadas preferentemente en el manejo de los insumos internos del predio agrícola, lo que se consigue aplicando en lo posible métodos agronómicos, biológicos y mecánicos, en contraposición a la utilización de materiales sintéticos y externos de la agricultura convencional (Shannon *et al.*, 2002). Lo anterior conlleva que, para conservar la fertilidad del suelo, es esencial la aplicación de fertilizantes naturales, ya que todos los métodos utilizados por la agricultura orgánica garantizan la presencia de microorganismos benéficos que facilitan la fijación de nutrientes y su absorción por las plantas (Scullion *et al.*, 1998). En suelos cultivables, la adición de enmiendas orgánicas se utiliza entre otras cosas, para mejorar la fertilidad y propiedades del suelo, tales como

la agregación (Pagliai *et al.*, 2004), capacidad de retención de agua (Stamatiadis *et al.*, 1999) y efecto residual de herbicidas y productos fitosanitarios (Moonman *et al.*, 2001). En la agricultura orgánica, el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo promueve un incremento en la diversidad, desarrollo y actividad de microorganismos benéficos en especial de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) pertenecientes al Orden Glomerales, los cuales forman asociaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de las plantas de interés agrícola (Schüssler *et al.*, 2001). Dicha simbiosis promueve una mayor eficiencia en la absorción radical de nutrientes como N (Tobar *et al.*, 1999) y especialmente aquéllos de lenta movilidad en el suelo como P (Smith y Read, 1997), Cu y Zn (Tarafdar y Marschner, 1994). Esto permite además, un mejoramiento en la resistencia de las plantas a las enfermedades radicales (Pozo *et al.*, 2002). Adicionalmente, la simbiosis produce una mayor estabilidad de los agregados del suelo ya sea, por acción física mediante la unión de partículas por las redes de hifas como

por la acción directa de la glomalina, una glicoproteína producida exclusivamente por hongos simbiotes arbusculares (Borie *et al.*, 2006), la cual actúa como sustancia cementante de partículas.

Los HMA son cruciales para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres tanto en su diversidad como productividad (Burrows y Pflieger, 2002). De allí su importancia para desarrollar una agricultura sostenible, de bajos insumos (Muthukumar y Udaiyan, 2002). Los HMA en agroecosistemas que se desarrollan sin adición de fertilizantes sintéticos, son el principal mecanismo de adquisición de P por la actividad suplementaria que ejercen estos hongos. La agricultura orgánica presenta evidentes ventajas por el funcionamiento de esta simbiosis (Mäder *et al.*, 2000). Sin embargo, un aspecto interesante de estudiar bajo nuestras condiciones, es el efecto de la rotación de cultivos y la actividad microbiológica desarrollada sobre suelos volcánicos.

El objetivo principal de este trabajo fue

determinar, en un ensayo de invernadero, el efecto de la aplicación de compost en un Ultisol de la región centro-sur de Chile, sobre el número y tipo de propágulos fúngicos dejados en el suelo por tres sistemas de plantas hospederas conjuntamente con el estudio de parámetros nutricionales y químicos del suelo. Para ello se utilizaron cultivos de frejol (*Phaseolus vulgaris*), trigo (*Triticum aestivum*) y pradera mixta (*Lolium multiflorum* y *Trifolium pratense*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó desde agosto de 2004 hasta julio de 2005 en los Invernaderos y Laboratorios del Departamento de Ciencias Químicas de la Universidad de La Frontera en macetas de 5 kg de capacidad conteniendo un suelo Ultisol (Metrenco) muestreado (38° 41' S; 72° 35' O) en los primeros 20 cm de profundidad procedente de una pradera natural. Algunas características del suelo aparecen en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Caracterización química del suelo y compost utilizado en este estudio.

Table 1: Chemical characterization of the soil and compost used in this study.

Variable	Suelo	Compost
pH	5,67	7,97
Materia orgánica, %	6,2	25,7
Total N, %	0,3	0,99
P disponible, mg kg ⁻¹	15,6	441
K, mg kg ⁻¹	82	8,731
Humedad, %	14,3	68,2
K, cmol+/kg ⁻¹	0,21	22,33
Na, cmol+/kg ⁻¹	0,08	2,83
Ca, cmol+/kg ⁻¹	5,12	22,43
Mg, cmol+/kg ⁻¹	1,29	9,90
Al, cmol+/kg ⁻¹	0,13	0,02
Saturación Al, %	1,9	0,03
CICE, cmol+/kg ⁻¹	6,83	57,51
Suma bases, cmol+/kg ⁻¹	6,7	57,49

CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Dosis y composición del compost

El compost fue preparado con desechos vegetales agrícolas y cama de animales, principalmente sobre la base de guano de vacuno y paja. Los tratamientos consistieron en una mezcla de compost y suelo con dosis crecientes de enmiendas orgánicas equivalentes a 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ de compost. Un testigo, sin aplicación también fue incluido.

Siembra y dosis de semillas de los hospederos

Se utilizaron tres cultivos como hospederos micorrícicos: a) pradera mixta formada por la asociación *Lolium multiflorum* cv. Tetrone y *Trifolium pratense* cv. Quiñequeli, b) frejol (*Phaseolus vulgaris*, var. Negro Argel) y c) trigo (*Triticum aestivum* var. Paleta). Para cada cultivo se utilizaron semillas proporcionadas por CET-Sur-Temuco provenientes de cosechas orgánicas de campo. La siembra de pradera mixta se realizó con *L. multiflorum* y *T. pratense* en dosis de semilla equivalente a 20 kg ha⁻¹ y de 8 kg ha⁻¹, respectivamente. En frejol, y trigo las dosis de semilla fueron respectivamente de 100 kg ha⁻¹ y 120 kg ha⁻¹. La densidad de plantas en frejol y trigo fue de 3 y 10 plantas maceta⁻¹ mientras que en pradera la densidad se asoció con aquella equivalente a una siembra de campo realizada en forma manual.

Invernadero

Durante todo el ensayo las plantas crecieron en invernadero bajo condiciones controladas de luz y temperatura, con un valor promedio de 23°C. El riego se realizó con agua potable mediante regadera manual, manteniéndose la humedad constante por peso. Todas las macetas fueron desmalezadas en forma manual. El ensayo de pradera mixta duró siete meses

finalizando en marzo del 2005. Se realizaron seis cortes dejando una altura de rezago de 6 cm en cada uno. Los primeros tres fueron hechos mensualmente y los restantes cada 15 días. En frejol, la siembra se realizó en septiembre de 2004 y la cosecha en enero de 2005 hasta que se alcanzó la madurez fisiológica. Finalmente, para trigo la cosecha se realizó en la etapa de grano maduro (Z= 91; Zadocks *et al.*, 1974) abarcando el mismo período de tiempo que frejol. En la cosecha, la parte aérea de frejol y trigo se dividió en tallos y hojas. La estructuras florales se separaron en vainas y espigas. Para todos los cultivos la parte radical se extrajo mediante aplicación de agua a presión, evitando dañar las raíces. Todo el material vegetal fue clasificado y guardado en bolsas de papel debidamente identificadas.

Evaluaciones

Para cada uno de los cultivos se determinó el peso seco aéreo y radical colocando las muestras a secar a 65°C durante 48 horas. El análisis foliar de las tres especies se realizó moliendo y calcinando a 550°C durante 8 h, para luego digerir las cenizas en una mezcla ácida y determinar P mediante espectrofotometría visible a 700 nm (Sadzawka *et al.*, 2000). El Cu y Zn se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica (Bradfield y Spencer, 1965).

Parámetros fúngicos

Colonización por HMA

La colonización por HMA se midió en trozos de 1 cm de raíces frescas según la metodología de tinción descrita por Phillips y Hayman (1970) y posterior cuantificación de las estructuras fúngicas mediante el método de intercepto de líneas (Tennant, 1975).

Esporas de HMA

El número de esporas de HMA en el suelo se cuantificó mediante la técnica del tamizado y decantación húmeda, seguido por centrifugación en gradiente de sacarosa y posterior lectura en placa de Doncaster (Sieverding, 1991).

Longitud del micelio

La longitud del micelio total de HMA se determinó por extracción de las hifas desde 3 g de suelo con glicerina ácida en caliente, de acuerdo con la técnica modificada para suelos volcánicos (Rubio *et al.*, 2003). Luego se cuantificó según el método del intercepto de líneas (Tennant, 1975).

Análisis Químico del Suelo

En los suelos se realizaron determinaciones de algunos parámetros químicos tales como pH medido potenciométricamente en relación suelo: agua (1:2,5); % materia orgánica realizado por combustión húmeda con dicromato en medio ácido de acuerdo a Walkley y Black (1934). El P disponible se determinó mediante extracción con NaHCO_3 0,5 M a pH 8,5 (Olsen y Sommers, 1982).

Análisis Estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos (dosis crecientes de compost y un control sin aplicación) y cinco repeticiones para cada uno de los cultivos. Los resultados se evaluaron mediante un análisis ANDEVA de una vía y cuando fue necesario se aplicó la transformación arcoseno previo al análisis de varianza para normalizar los datos seguido por el Test de Tukey de rango múltiple ($\alpha = 0,05$). Los datos se analizaron mediante el programa estadístico JMP 5.0.1. (SAS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta el efecto de la aplicación de compost sobre el rendimiento de fitomasa seca aérea para cada cultivo. Se observa que en pradera mixta, la mayor fitomasa aérea se obtuvo con 30 Mg ha⁻¹ de compost, siendo significativamente superior respecto a D-8. No obstante, este tratamiento no mostró diferencias con el testigo sin aplicación. En frejol, con D-20 y D-30 se alcanzó la mayor productividad respecto al testigo sin aplicación. En trigo, la dosis más efectiva fue D-20, respecto al testigo, no encontrándose diferencias con el resto de los tratamientos. Por otra parte, el peso radical de los cultivos, no presentó diferencias significativas con las dosis aplicadas.

En la Figura 2 se observa el efecto general de la aplicación de compost sobre propágulos micorrícicos arbusculares. La Figura 2A muestra, que para el porcentaje de raíz colonizada por HMA, frejol y trigo alcanzaron la mayor colonización con D-30, siendo significativamente distinto con el resto de los tratamientos, encontrándose incrementos de un 68% y 60% respecto a D-0. En praderas, la mayor colonización se obtuvo con D-30 no existiendo diferencias con D-8 y D-20. Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Mäder *et al.* (2000) quienes en pradera fertilizadas orgánicamente encontraron un incremento entre 30-60% de la colonización en comparación con el manejo convencional. Sin embargo, estos resultados son opuestos a los obtenidos por Castillo *et al.* (2004) quienes, en un estudio realizado en un Ultisol de la IX Región, no encontraron diferencias en la colonización radical de una pradera fertilizada con guano de caballo durante dos años consecutivos. Por otra parte, Kale *et al.* (1992) encontraron que la colonización en raíces fue 2,85% en un suelo fertilizado con agroquímicos frente a un 10% de

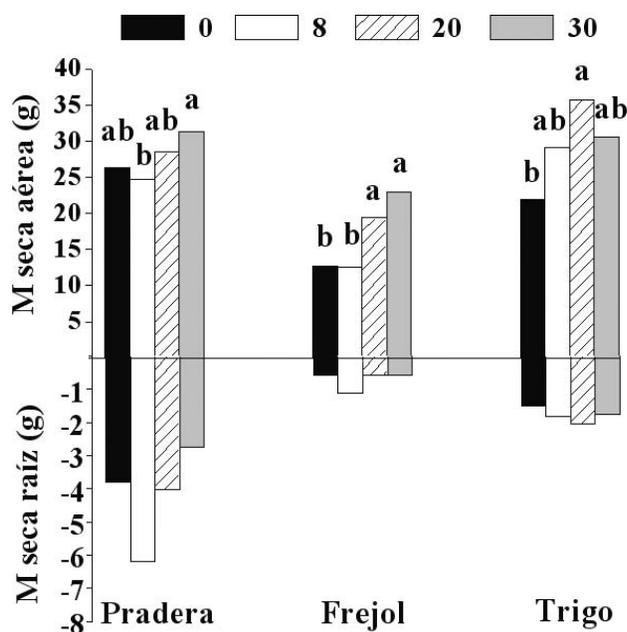


Figura 1: Efecto de la adición de compost en un Ultisol, Metrenco, con dosis 0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ sobre la producción de fitomasa seca aérea y radical de cultivos de pradera, frejol y trigo sembrados en macetas e incubadas en invernadero. Para parte aérea de cada cultivo, barras con la misma letra no difieren estadísticamente, test de Tukey ($\alpha=0.05$). Para la parte radical de los cultivos, no existen diferencias significativas.

Figure 1: Effect of the compost addition in Metrenco Ultisol with dose 0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ on shoot and root dry phytomass yield of grass, beans and wheat crops sowed in pots and incubated in glasshouse. For shoot, bars with the same letter did not differ significantly for each crop, Tukey test ($\alpha=0.05$). In roots, there were not significant differences.

colonización en las raíces crecidas en un suelo con una mezcla de fertilizantes químicos y enmiendas orgánicas.

Antecedentes de la literatura, muestran una relación inversa entre la disponibilidad de P con el porcentaje de colonización de raíces (Mäder *et al.*, 2000, Friberg, 2001). En nuestro estudio tal relación no se encontró en ninguno de los tres cultivos. Los resultados obtenidos podrían estar relacionados con la forma de entrega de P, ya que la aplicación temprana del nutriente reduce la colonización y por tanto, la contribución de la simbiosis a la nutrición de la planta (Joner, 2000). Por el contrario, la aplicación de P bajo formas de entrega lenta, tipo roca fosfórica o residuos vegetales de plantas o animales hace que

las plantas micorrizadas captan mejor el nutriente que las plantas no micorrizadas, manteniéndose la fertilidad del suelo por un tiempo más prolongado (Powers y Mc Sorley, 2001). Estas formas de P, producen una colonización en las raíces similar o mayor que la de plantas micorrizadas sin fertilización (Joner, 2000). Así, los fertilizantes bajo formas orgánicas son menos inhibitorios de la colonización por HMA, que fertilizantes minerales sintéticos (Mäder *et al.*, 2000) debido a que el fosfato del fertilizante sintético debe ser previamente hidrolizado antes de su absorción por la planta. Bajo este contexto, es posible sugerir que los HMA podrían estar actuando en forma más eficiente sobre las formas de P de

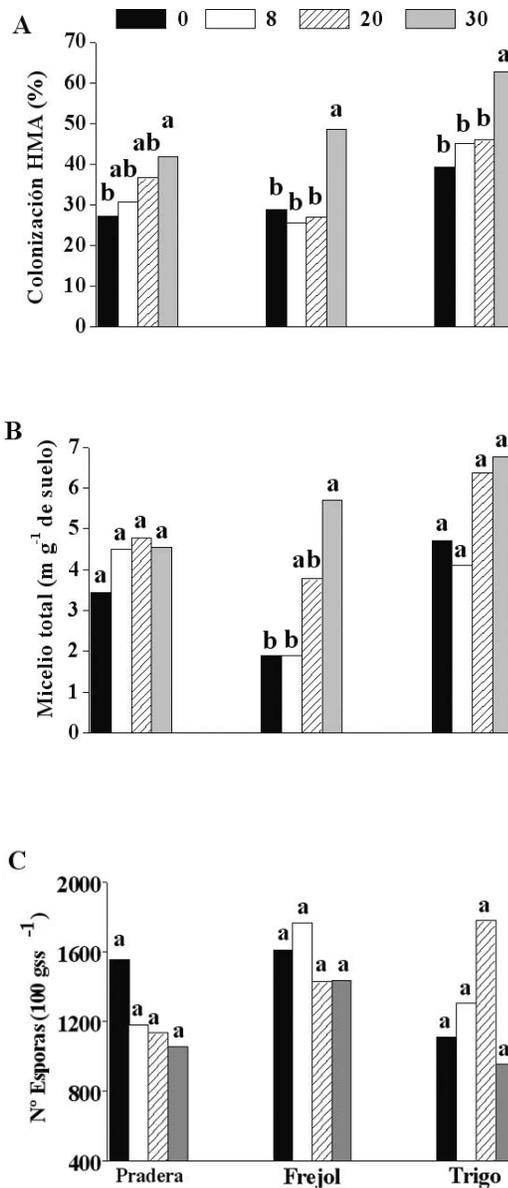


Figura 2: Efecto de la adición de compost en un Ultisol Metrenco, con dosis 0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ sobre propágulos micorrízicos. A) colonización HMA; B) micelio total y C) número de esporas, en cultivos de pradera, frejol y trigo sembrados en macetas e incubadas en invernadero. Para cada cultivo barras con la misma letra no difieren estadísticamente, test de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figure 2: Effect of the compost addition in Metrenco Ultisol soil with dose 0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ on mycorrhizal propagules. A) AMF colonization; B) total mycelium and C) number of spores in grass, bean and wheat crops sowed in pots and incubated in glasshouse. For each crop bars with the same letter not differ significantly, Tukey test ($\alpha=0.05$).

menor labilidad que poseen estos suelos (Borie y Zunino, 1983; Borie y Rubio, 2003), así como también, al P asociado al material compostado, generalmente de tipo orgánico. Los resultados sugieren que los HMA, al mejorar la captación de nutrientes favorecería el incremento de biomasa vegetal influyendo además, en la relación de distribución S/R entre parte aérea y raíz (Olivares y Barea, 1985), siendo éste mayor mientras más efectiva es la simbiosis. Los resultados para micelio total (Figura 2B) mostraron una gran diferencia en frejol con D-0 y D-30 con un incremento de un 203 %; por el contrario, en trigo y pradera no se encontraron diferencias. El micelio fúngico corresponde al sitio de intercambio de carbono y otros nutrientes con la planta huésped teniendo un efecto positivo sobre la concentración de P foliar y biomasa vegetal (Smith y Read, 1997). La Figura 2C muestra los resultados del efecto de la adición de compost sobre la tasa de multiplicación de HMA evaluada por el número de esporas. No hubo diferencias significativas en ninguno de los tres cultivos. Este comportamiento se podría explicar quizá en función de los nutrientes aportados por la enmienda orgánica, debido a que se observó un incremento en los contenidos de P, Cu y Zn en el tejido vegetal para los tres cultivos (Ver abajo). En agricultura orgánica se ha registrado que suelos manejados con bajos aportes de nutrientes muestran mayores poblaciones de esporas que suelos bajo manejo convencional con fertilizantes sintéticos (Quilambo, 2003). Esto estaría relacionado a una mayor diversidad de plantas bajo el sistema orgánico y a una disminución de la acidez del suelo con un aumento de la disponibilidad de nutrientes (Castillo *et al.*, 2004). En un Ultisol sometido a una rotación corta con gramíneas del tipo trigo-avena, Castillo *et al.*, (2006) encontraron que la labranza convencional con rompimiento e inversión de suelo disminuyó las

poblaciones y diversidad fúngica en comparación con la cero labranza, mientras Oehl *et al.*, (2003, 2004) informaron resultados similares en suelos cultivados de Europa sometidos a dos tipos de manejo incluyendo agricultura orgánica.

Los resultados de la aplicación de compost sobre los parámetros químicos del suelo en cultivos de pradera, frejol y trigo se presentan en la Figura 3. La aplicación de compost aumentó significativamente el pH en casi todos los tratamientos en los tres cultivos. Así, para D-30 se observó un incremento de 0,44; 0,58 y 0,74 unidades de pH en pradera, frejol y trigo, respectivamente (Figura 3A). En forma similar, Castillo *et al.* (2004) informaron en un Ultisol resultados favorables de pH, con incrementos de hasta 0,34 unidades en una aplicación de compost por dos años consecutivos. Por otra parte, Bulluck *et al.* (2002) al comparar el efecto de enmiendas orgánicas (compost) y fertilizantes sintéticos mostró que inicialmente el pH de los suelos enmendados orgánicamente fueron más bajos, pero aumentaron con el tiempo sobre los suelos fertilizados convencionalmente. El compost disminuye la acidez de los suelos probablemente como consecuencia de un aumento en la saturación de bases y una mayor quelación de Al (Bulluck *et al.*, 2002) estabilizando el suelo por un aumento y/o mantención de su capacidad buffer (Leifeld *et al.*, 2002).

En los porcentajes de MO, sólo en frejol se encontraron diferencias entre D-8 y D-30 (Figura 3B). De acuerdo a lo anterior Bulluck *et al.* (2002) encontraron diferencias en los contenidos de MO al aplicar compost y fertilizantes comerciales sintéticos. Sin embargo, resulta esencial aplicar anualmente compost para alcanzar un mejoramiento significativo en la MOS.

En la Figura 3C se observan los efectos de la aplicación de compost para cada uno de los cultivos sobre el P disponible del suelo. Los resultados

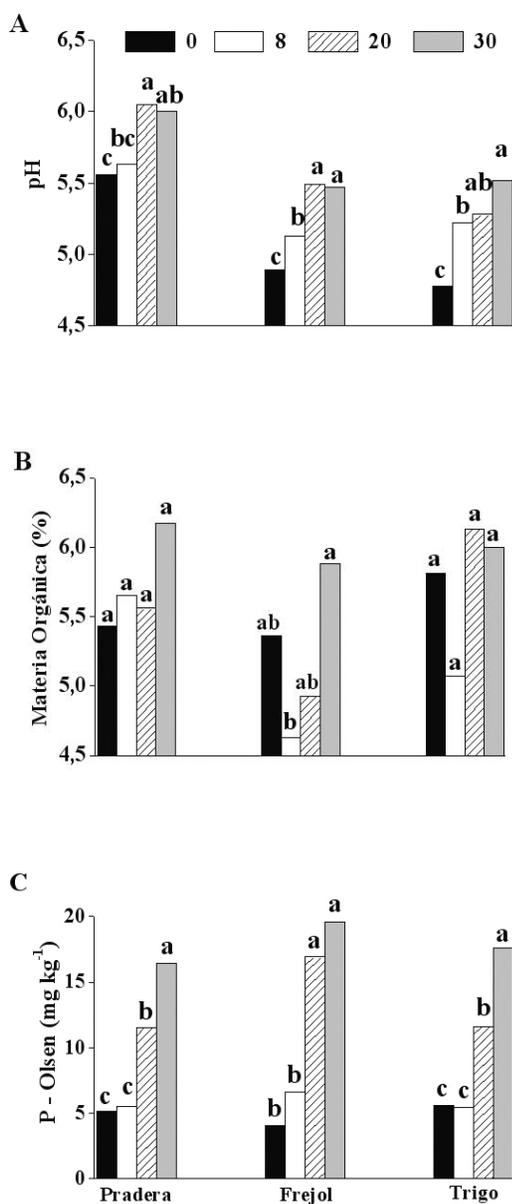


Figura 3: Efecto de la adición de compost en un Ultisol Metrenco, con dosis 0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ sobre parámetros químicos: A) pH; B) MO y C) Olsen-P en cultivos de pradera, frejol y trigo sembrados en macetas e incubadas en invernadero. Para cada cultivo barras con las misma letra no difieren estadísticamente, test de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Figure 3: Effect of the compost addition in Metrenco Ultisol soil with dose 0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ on chemical parameters: A) pH; B) OM and C) Olsen-P in grass, bean and wheat crops sowed in pots and incubated in glasshouse. For each crop bars with the same letter not differ significantly, Tukey test ($\alpha = 0.05$).

generales indican un aumento del P con las dosis más altas de enmienda orgánica (D-20 y D-30) encontrándose diferencias significativas respecto a D-0 y D-8. Así, D-30 incrementó la disponibilidad de P en un 220 % en pradera; 212 % en trigo y 386 % en frejol. Estos resultados concuerdan con los de Laboski y Lamb (2003) quienes señalaron encontrar un aumento en la disponibilidad de este nutriente al aplicar abonos ganaderos, debido a que el P de la enmienda orgánica puede ser igual o más disponible que el P de algunos fertilizantes. Así, la producción de ácidos orgánicos durante la degradación microbiana del abono pueden aumentar la disponibilidad del nutriente (Gale *et al.*, 2000).

La Figura 4 muestra los efectos de la adición de compost sobre la concentración y contenido de P, Cu y Zn foliar de los tres cultivos. En la concentración de P foliar se observó un efecto significativo de la aplicación de compost para cada cultivo. Para frejol, se encontró diferencia entre D-30 con D-8, pero no con D-0. En trigo, D-20 fue significativamente mayor que D-0. Las diferencias encontradas para P foliar en los tres cultivos podría estar relacionada con los propágulos fúngicos, principalmente la colonización de HMA en las raíces, la que también se afectó con la adición de dosis crecientes de enmienda orgánica. Antecedentes de la literatura muestran una estrecha relación entre el contenido de P foliar de los hospederos con la micorrización, especialmente con la longitud de raíz colonizada (Schweiger y Jacobsen, 1999).

En trigo, la concentración de Cu foliar, para el tratamiento D-30 fue significativamente mayor que D-0. Por el contrario la adición de compost no tuvo efecto sobre la concentración de Zn foliar. Antecedentes de la literatura relacionan el mejoramiento de la captación de micronutrientes poco móviles como Cu

(Li *et al.*, 1991) y Zn (Chen *et al.*, 2003) con la presencia y actividad de propágulos micorrícicos, efecto que seguramente sería más significativo en condiciones de campo que en invernadero, donde tanto la rizósfera como la micorrizósfera se superponen. Por otra parte, existen antecedentes que señalan que materiales orgánicos como el compost, contienen mayores concentraciones de Cu y Zn que muchos suelos agrícolas, lo que incrementaría la cantidad de estos micronutrientes en el suelo (He *et al.*, 2005).

El contenido de nutrientes refleja la movilidad con que éstos elementos se mueven desde el suelo hacia la fitomasa de los cultivos. Así, se puede observar que para el contenido de P, existieron diferencias significativas en pradera y frejol con la aplicación de los tratamientos D-20 y D-30, con respecto a la dosis mínima y el testigo (D-8 y D-0). En trigo, en cambio, sólo existieron efectos significativos entre la dosis D-20 y el testigo. En relación a la movilización de Cu se observó en trigo un efecto significativamente superior con todos los tratamientos; en cambio, para frejol tal efecto se observó sólo con las dosis más elevadas (D-20 y D-30). Además, en frejol la dosis mayor de compost aumentó significativamente el contenido de Zn con respecto a la dosis mínima y el testigo.

Estos resultados pueden estar relacionados con la forma de entrega lenta de nutrientes por parte del compost y con el consecuente aumento de propágulos micorrícicos. Investigaciones realizadas por Azcón *et al.* (2003) han demostrado que en plantas micorrizadas de lechuga, el suministro de altos niveles de N y P disminuyó la cantidad de nutrientes absorbidos por unidad de masa radical. Esto no influyó sobre el contenido de Cu pero disminuyó el contenido de P y Zn, perjudicando de manera importante la efectividad micorrícica sobre la captación de nutrientes.

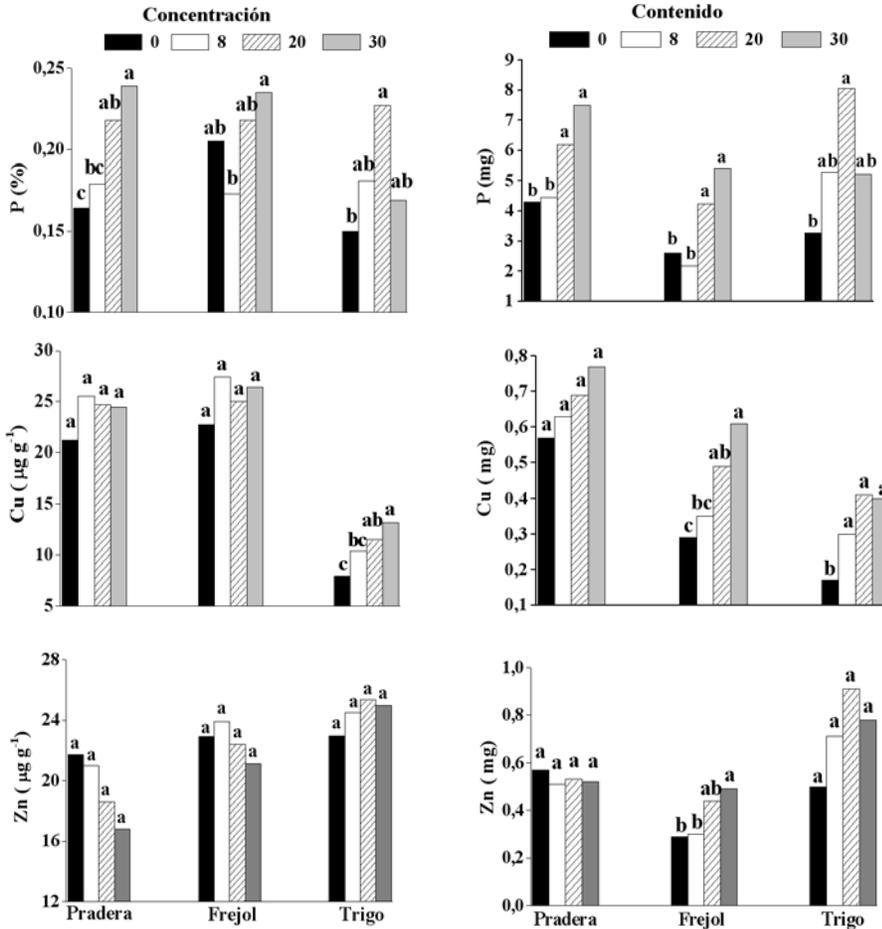


Figura 4: Efecto de la adición de compost en un Ultisol Metrenco, con dosis 0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ sobre concentración y contenido de P, Cu y Zn foliar en cultivos de pradera, frejol y trigo sembrados en macetas e incubadas en invernadero. Para cada cultivo barras con la misma letra no difieren estadísticamente, test de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Figure 4: Effect of the compost addition in Metrenco Ultisol soil with dose 0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹ on foliar P, Cu and Zn concentration and content in grass, bean and wheat crops sowed in pots and incubated in glasshouse. For each crop bars with the same letter not differ significantly, Tukey test ($\alpha = 0.05$).

CONCLUSIONES

En las últimas décadas, se ha generado una mayor preocupación por la conservación y el manejo de los suelos en los sistemas agrícolas, lo que ha permitido ir modificando lentamente los distintos métodos convencionales de fertilización, dando una mayor importancia a la relación benéfica que existe con los HMA, principalmente en sistemas de cultivos orgánicos de pequeños agricultores.

Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que la aplicación de compost, alteró significativamente la cantidad y funcionalidad de los propágulos micorrícicos, principalmente en la colonización radical de todos los hospederos. Los efectos de la aplicación de abonos orgánicos incrementaron principalmente el pH y el P disponible de los suelos, además de incrementar la fitomasa aérea y disponibilidad de nutrientes en los cultivos, especialmente con las dosis más altas de enmienda orgánica. Esta investigación presenta evidencias que tanto el tipo de abono orgánico como el cultivo afectan los parámetros fúngicos y la captación de nutrientes por la planta. Se sugiere profundizar la investigación en torno al tipo de rotación de cultivos en el que se aplica la enmienda como también la composición de ésta.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada parcialmente por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), Proyecto N°1020306 y DIUFRO 120410. Se agradece a los evaluadores anónimos que mejoraron el manuscrito original.

LITERATURA CITADA

- AZCÓN, R., AMBROSANO, E., CHAREST, C., 2003. **Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration.** *Plant Sci.* 165:1137-1145.
- BRADFIELD, E., SPENCER, D., 1965. **Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops: Determination on manganese, zinc and copper by atomic absorption spectroscopy.** *J.Sci. Food.Agron.* 16:33-38.
- BORIE, F., RUBIO, R., ROUANET, J.L., MORALES, A., BORIE, G., ROJAS, C., 2006. **Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol.** *Soil Till. Res.* 88:253-261.
- BORIE, F., RUBIO, R., 2003. **Total an organic phosphorus in Chilean volcanic soils.** *Gayana Botanica* 60:69-73.
- BORIE, F., ZUNINO, H., 1983. **Organic matter-phosphorus associations as a sink in P-fixation processes on allophanic soils of Chile.** *Soil Biol. Biochem.* 15: 599-603.
- BULLUCK, L.R., BROSIUS, M., EVANYLO, G.K., RISTAINO, J.B., 2002. **Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms.** *Appl. Soil Ecol.* 19:147-160.
- BURROWS, R. L., PFLEGER, F. L., 2002. **Host responses to AMF from plots differing in plant diversity.** *Plant Soil* 240:169-179.
- CASTILLO, C.G., RUBIO, R., CONTRERAS, A., BORIE, F., 2004. **Hongos micorrizógenos arbusculares en un Ultisol de la IX Región fertilizado orgánicamente.** *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 4 (2) 39-47.

- CASTILLO, C.G., RUBIO, R., ROUANET, J.L., BORIE, F., 2006. Early effects of tillage and crop rotation on arbuscular mycorrhizal fungal propagules in an Ultisol. *Biol. Fertil. Soils* 43:83-92.
- CHEN, B.D., LI, X.L., TAO, H.Q., CHRISTIE, P., WONG, M., 2003. The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake by red clover growing in a calcareous soil spiked with various quantities of zinc. *Chemosphere* 50 (6): 839-846.
- FRIBERG, S., 2001. Distribution and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in traditional agriculture on the Niger inland delta, Mali, West Africa. *CBM:s Skriftserie* 3:53-80.
- GALE, P.M., MULLEN, M.D., CIESLIK, C., TYLER, D.D., DEUK, B.N., KIRCHNER, M., McCLURE, J., 2000. Phosphorus distribution and availability in response to dairy manure applications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31: 553-565.
- HE, Z. L., YANG, X.E., STOFFELLA, P.J., 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 19:125-140.
- JONER, E.J., 2000. The effect of long-term fertilization with organic or inorganic fertilizers on mycorrhiza-mediated phosphorus uptake in subterranean clover. *Biol. Fertil. Soils* 32: 435-440.
- KALE, R.D., MALLESH, B.C., BANO, K., BAGYARAJ, D.J., 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1317-1320.
- LABOSKI, C.A., LAMB, J.A., 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 544-554.
- LEIFELD, J., SIEBERT, S., KÖGEL-KNABNER, I., 2002. Changes in the chemical composition of soil organic matter after application of compost. *European J. Soil Sci.* 53:299-309.
- LI, X-L., GEORGE, E., MARSCHNER, H., 1991. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil. *Plant Soil* 136:41-48.
- MÄDER, P., EDENHOFER, S., BOLLER, T., WIEMKEN, A., NIGGLI, U., 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biol. Fertil. Soils* 31:150-156.
- MOORMAN, T.B., COWAN, J.K., ARTHUR, E.L., COATS, J.R., 2001. Organic amendments to enhance herbicide biodegradation in contaminated soils. *Biol. Fertil. Soils* 33: 541-545.
- MUTHUKUMAR, T., UDAIYAN, K., 2002. Growth and yield of cowpea as influenced by changes in arbuscular
- OEHL, F., SIEVERDING, E., INEICHEN, K., MÄDER, P., BOLLER, T., WIEMKEN, A., 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Appl. Environ. Microbiol.* 69(5):2816-2824.
- OEHL, F., SIEVERDING, E., MÄDER, P., DUBOIS, D., INEICHEN, K., BOLLER, T., WIEMKEN, A., 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138:574-583.
- OLIVARES, J., BAREA, J.M. (1985): Significado de los microorganismos del suelo en nutrición vegetal: Simbiosis *Rhizobium*-Leguminosa y Micorrizas VA, en *Nutrición Vegetal. Algunos aspectos químicos y biológicos*. M. Lachica, y C. González (eds.). Estación Experimental del Zaidín y Facultad de Cs. Químicas y Farmacéuticas Universidad de Chile. Sevilla, España. p. 151-196.
- OLSEN, S.R., SOMMERS, L.E. (1982): Phosphorus, in A.L. Page *et al.* (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. p.403-430.

- PAGLIAI, M., VIGNOZZI, N., PELLEGRINI, S., 2004. **Soil structure and the effect of management practices.** Soil Till. Res. 79:131-143.
- PHILLIPS, L., HAYMAN, D., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and VA mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. 55:158-161.
- POWERS, L. McSORLEY, R., 2001. Principios ecológicos en agricultura. Internacional Thomson Learning (eds.). Madrid, España. 429 p.
- POZO, M.J., CORDIER, C., DUMAS-GAUDOT, E., GIANINAZZI, S., BAREA, J.M., AZCÓN-AGUILAR, C., 2002. Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defence responses to *Phytophthora* infection in tomato plants. J.Exp. Bot. 53: 525-534.
- QUILAMBO, O., 2003. The vesicular-arbuscular mycorrhizal simbiosis. Afr. J. Biotechnol. 2(12): 539-546.
- RUBIO, R., BORIE, F., SCHALCHLI, C., CASTILLO, C., AZCÓN, R., 2003. Occurrence and effect of arbuscular mycorrhizal propagules in wheat as affected by the source and amount of phosphorus fertilizer and fungal inoculation. Appl. Soil Ecol. 23: 245-255.
- SADZAWKA, A., GREZ, R., MORA, M.L., SAAVEDRA, N., CARRASCO, M.A., ROJAS, C., 2000. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile. 62 p.
- SCHÜSSLER, A., SCHWARZOTT, D., WALKER, C., 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycol. Res. 105:1413-1421.
- SCHWEIGER, P., JACOBSEN, I., 1999. Direct measurement of arbuscular mycorrhizal phosphorus uptake into field - grown winter wheat. Agron. J. 91: 998-1002.
- SCULLION, J., EASON, W.R., SCOTT, E.P., 1998. The effectivity of arbuscular mycorrhizal fungi from high input conventional and organic grassland and grass-arable rotations. Plant Soil 204: 243-254.
- SHANNON, D., SEN, A.M., JOHNSON, D.B., 2002. A comparative study of the microbiology of soils managed under organic and conventional regimes. Soil Use Manage. 18:274-283.
- SIEVERDING, E., 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems, in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany. 371 p.
- SMITH, S.E., READ, D.J., 1997. **Mycorrhizal symbiosis.** Academic Press, San Diego, California, USA. 605 p.
- STAMATIADIS, S., WERNER, M., BUCHANAN, M., 1999. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito Country, California). Appl. Soil Ecol. 12: 217-225.
- TARAFDAR, J.C., MARSCHNER, H., 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic phosphorus by wheat plants. Soil Sci. Plant Nutr. 40:593-600.
- TENNANT, D., 1975. A test of a modified line intersection method of measuring root length. J. Ecol. 63: 995-1001.
- TOBAR, R.M., AZCÓN, R., BAREA, J.M., 1999. The improvement of plant N acquisition from an ammonium treated drought-stressed soil by the fungal symbiont in arbuscular mycorrhizae. Soil Biol. Fert. 9:1-8.
- WALKLEY, A., BLACK, J.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.
- ZADOCKS, J., CHANG, T., KONZAK, C., 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. Weed Res. 14:415-420.