



# FERTILIZACIÓN ORGANICA Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DEL SUELO

## ORGANIC FERTILIZATION AND ITS IMPACT ON SOIL QUALITY

**María Fernanda Ochoa Espinosa<sup>1</sup>, Ana Dolores Armenta Calderón<sup>2</sup>, Sergio Francisco Moreno Salazar<sup>1</sup>, Ernesto Fernández Herrera<sup>1</sup>, Andrés Ochoa Meza<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Carr. a Bahía Kino km 21. Hermosillo, Sonora, México

<sup>2</sup> Carrera de Ingeniero en Horticultura. Universidad Estatal de Sonora. Ley Federal del Trabajo y Perimetral S/N, Hermosillo, Sonora, México.

### RESUMEN

Uno de los mayores retos para la agricultura es producir alimentos para una población creciente con recursos limitados. Bajo esta premisa, la agricultura convencional, con un uso intensivo del suelo, afecta la calidad del recurso y junto con otras problemáticas ambientales, ha abierto camino a la agricultura orgánica como un sistema productivo que permite reducir los impactos relacionados. En este trabajo se planteó el objetivo de mejorar la calidad de un suelo con prácticas de producción orgánica como rotación de cultivos, uso de fertilizantes orgánicos, labranza mínima y aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Se utilizaron tres tratamientos: lombricomposta con HMA, composta de estiércol con HMA y HMA sin abonos para evaluar su efecto durante dos cultivos sucesivos, melón y maíz. Se efectuaron muestreos para analizar estabilidad de agregados en agua, colonización micorrízica, y materia orgánica durante el ensayo. En todos los tratamientos se observó una mejora de la calidad del suelo, sin embargo, la adición de lombricomposta se destacó por mejorar varios aspectos al mismo tiempo. La colonización micorrízica se incrementó un 44% en maíz y se redujo un 21% en melón para el caso del abonado con lombricomposta. La estabilidad de los agregados se incrementó en los tratamientos con materia orgánica, sin embargo, el efecto no mostró permanencia.

**Palabras Clave:** Agregados Estables en Agua, Micorriza arbuscular, Materia Orgánica.

### ABSTRACT

One of the biggest challenges for agriculture is to produce food for a growing population with limited resources. With this premise, conventional agriculture with intensive use of soil, has considerably affect the quality of the resource and together with other environmental issues associated with production, had opened the way to organic agriculture as a productive system that reduces the related impacts. In this work, we proposed the objective of improving the soil quality with organic production practices, such as crop rotation, use of organic fertilizers, minimum tillage and application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). We used three treatments: vermicompost plus AMF, manure compost plus AMF and, AMF without fertilizers, to evaluate its effect during two successive crops, muskmelon and maize. Soil

samples were taken before, during and at the end of the trial; Analyzed soil quality parameters were water stability of aggregates, mycorrhizic colonization, and soil organic matter. The improvement of soil quality was observed in all the treatments, however, the addition of vermicompost stood out for improving several aspects at the same time. Mycorrhizal colonization increased by 44% in maize and decreased by 21% in muskmelon for vermicompost plus AMF treatment. The stability of the aggregates increased in the treatments with organic matter; however, the effect did not show permanence.

**Keywords:** Water Stable Aggregates, Arbuscular Mycorrhiza, Soil Organic Matter.

### INTRODUCCION

El mayor desafío para el mundo en los años por venir es proporcionar alimentos a una población creciente, que probablemente aumentará a 8,900 millones en 2050, por lo que es apremiante la necesidad de incrementar la producción total de alimentos sobre bases sostenibles, sin comprometer los recursos naturales y el medio ambiente. Los sistemas agrícolas tienen implicaciones sociales, ecológicas, económicas y medioambientales más obvias y detectables que nunca, debido a las crecientes preocupaciones sobre la sostenibilidad agrícola y el medio ambiente (Shrestha y Clements, 2003). Esta preocupación por los valores medioambientales es la principal fuerza motriz en la agenda geopolítica para la conservación del suelo y se espera que aumente en el futuro a medida que la sociedad comprenda mejor los importantes vínculos entre la calidad del suelo y el medio ambiente (Dumanski, 2015). Es evidente que permitir la degradación del suelo es costoso más allá de lo económico, porque tiene efectos a largo plazo en la sociedad, así como en cada propietario de tierra (Costanza *et al.*, 2014).

La degradación de la estructura del suelo conduce a una compactación continua. Las prácticas convencionales del sistema de labranza impactan no sólo en la pérdida de suelo, agua y nutrientes en el campo, sino que degradan el suelo con bajo contenido de materia orgánica y propician una frágil estructura física, lo que a su vez lleva a bajos rendimientos de cultivos y baja eficiencia en el uso de agua y fertilizantes (Wang *et al.*, 2007).

\*Autor para correspondencia: Andrés Ochoa Meza  
Correo electrónico: andres.ochoa@unison.mx

Recibido: 25 de abril de 2018

Aceptado: 3 de octubre de 2018

La agregación del suelo puede mejorarse mediante prácticas de manejo que disminuyen los disturbios del agroecosistema, mejoran la fertilidad del suelo, aumentan los insumos orgánicos, la cobertura vegetal y disminuyen la tasa de descomposición del carbono orgánico. La estabilidad de la estructura en suelos áridos está fuertemente ligada a la protección física de la materia orgánica del suelo (Bachmann *et al.*, 2008) y depende de la solidez de los enlaces intra-agregados de la distribución de las posibles zonas de falla relacionadas con la geometría de los poros, fuerza de los lazos mineral-orgánicos y otros agentes de cementación entre las partículas del suelo (Bronick y Lal, 2005; Kodesova *et al.*, 2009).

Entre los factores que intervienen en la agregación, la materia orgánica y las comunidades microbianas son más fácilmente manipulados a través de las prácticas agrícolas tales como devolver los residuos de la cosecha o la aplicación de composta (Lampkin, 2001; Raviv, 2010). Varios estudios (Bossuyt *et al.*, 2001; Tang *et al.*, 2011) han mostrado que la adición de materia orgánica y la actividad microbiana juegan un papel crítico en la agregación. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) están presentes prácticamente en todos los suelos, donde constituyen una conexión entre las raíces de las plantas y el suelo, siendo capaces de alterar esta relación (Hamel y Plenchete, 2007; Smith y Read, 2008), por otra parte, son cruciales para mantener la salud del suelo, el rendimiento de las plantas, la fertilidad y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. Se sabe que los HMA afectan la humedad disponible para las plantas, al mejorar la agregación del suelo mediante dos mecanismos principales, la exudación de glomalina que cementa las partículas pequeñas formando microagregados y, la formación de agregados de mayor tamaño a través de la unión de microagregados con las hifas del propio hongo, evitando la erosión y se favorece una configuración porosa que permite infiltración de agua e intercambio gaseoso (Six *et al.*, 2000).

La formación de macroagregados grandes (> 2000 mm) con adición de residuos orgánicos apoya la sugerencia de que la fracción lábil o activa de la materia orgánica del suelo es un factor importante en el desarrollo de la estructura del suelo y se correlaciona positivamente con el aumento de estabilidad del suelo (Regelink *et al.*, 2015). El objetivo de este estudio fue analizar la actividad micorrízica y su interacción con dos formas de materia orgánica, así como evaluar el efecto de estas prácticas en la mejora de la agregación del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Establecimiento y manejo cultural del ensayo

La presente investigación se realizó entre febrero y septiembre del 2016. Se estableció una parcela experimental en la Costa de Hermosillo, con un suelo agrícola clasificado como regosol, con textura franco arenosa y nivel medio de fertilidad (Gámez, 1979).

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, donde se establecieron dos tratamientos, lombri-

composta y estiércol, así como un testigo sin aplicación de materia orgánica, constanding de tres repeticiones en tres fechas de muestreo, en febrero, junio y septiembre. El manejo cultural fue siguiendo estrictamente prácticas de producción orgánica, como labranza mínima, rotación de cultivos, incorporación de abonos orgánicos y uso de hongos micorrízicos arbusculares.

El 5 de febrero de 2016 se sembró melón de forma directa y se hizo una inoculación a la semilla, con HMA comerciales (Mycoup®, Symborg S.L.) a toda la parcela. Previo a esto se preparó el suelo, utilizando azadón y rastrillo para remover únicamente los primeros 8-10 centímetros de suelo, respetando los principios de la labranza de conservación y formando una cama de siembra apropiada e incorporar los tratamientos de lombricomposta y composta de estiércol, en dosis de 2.5 y 7 ton ha<sup>-1</sup> respectivamente.

En la tercera semana de mayo de 2016 se preparó de nuevo la parcela para sembrar maíz, lo cual se hizo en siembra directa, inoculando la semilla con HMA antes de la siembra. Se aplicaron de nuevo los tratamientos de lombricomposta y composta de estiércol en las dosis ya indicadas.

### Muestreo

Durante el experimento se hicieron 5 tomas de muestra de suelo a 30 cm de profundidad, en las siguientes fechas y etapas: 4 de febrero (punto inicial); 18 de mayo; 01 de julio; 03 de agosto y 13 de septiembre, las cuatro últimas fechas corresponden a las etapas de cosecha de melón, desarrollo vegetativo, llenado de grano y madurez fisiológica en maíz respectivamente, en cada caso se tomaron muestras por duplicado.

### Análisis de micorrización

Las variables de micorrización se determinaron por triplicado, analizando el porcentaje de colonización micorrízica (CM) y la densidad visual (DV) para estimar la micomasa en el tejido cortical. Para esto las raíces se clarificaron y se tiñeron las estructuras fúngicas con azul de tripano al 0.05% (Phillips y Hayman, 1970). El porcentaje de CM y de DV se determinaron utilizando una caja de Petri con la base cuadrada (Giovannetti y Mosse, 1980; Brundrett *et al.*, 1996) y un microscopio estereoscópico modelo S8APO (Leica Microsystems AG) a una magnificación de 60-80X.

### Análisis de estabilidad de agregados

Para la determinación de la agregación y la estabilidad de los agregados del suelo, se calcularon los porcentajes de agregados del suelo en seco y la estabilidad de los mismos al agua. Para esto se siguió la metodología propuesta por Nichols y Toro (2011), en la que el suelo es separado según el tamaño de partícula: >0.5, >0.25 y >0.063 mm. A 50 g de suelo se les determinó el peso de cada clase de agregado y la proporción de agregados en suelo seco. Posteriormente, se tomaron submuestras de cada clase (4 g de la clase >0.5 mm, 2 g de la clase >0.25 mm y 1 g de la clase >0.063 mm) y se colocaron en tamices con la luz de malla correspondiente

para un humedecimiento por capilaridad durante 10 min.

La separación de los agregados estables en agua (AEA) se realizó manualmente sumergiendo los tamices durante 5 min en una columna de agua de 5 cm. Los agregados resistentes a la acción del agua se colectaron cuidadosamente del tamiz y se secaron a 95°C durante 24 horas. Para corregir la determinación por el contenido de arena, a cada fracción se le aplicó hexametáfosfato de sodio al 0.5% durante 5 min, se lavaron y se secaron nuevamente a 95°C por periodos de 18 horas. Con las proporciones de agregados secos y los estables al agua, se determinó el porcentaje de AEA de acuerdo con la siguiente ecuación (Nichols y Toro, 2011):

$$WSA_i = [(W_a - W_c) \div W_o] \times 100$$

Donde:

$WSA_i$ : Agregación estable al agua para cada clase  $i$ .

$W_a$ : Peso del material en el tamiz, después del tamizado en húmedo de la clase  $i$ .

$W_c$ : Peso del material grueso en la clase  $i$ .

$W_o$ : Peso de los agregados de la clase  $i$  colocados en el tamiz, previo al tamizado en húmedo.

### Materia Orgánica

La determinación de materia orgánica en el suelo se hizo por triplicado, siguiendo el método de Walkley-Black según se describe en Castellanos *et al.* (2000).

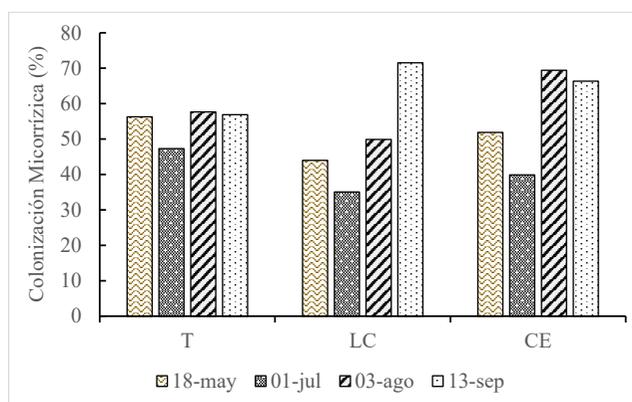
## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis de colonización micorrízica

La colonización micorrízica en el cultivo de melón, fue mayor en el caso de los testigos, comportamiento ya visto por Coronado (2015), quien encontró que cuando se usan HMA comerciales en melón, la CM se ve disminuida por la adición de abonos orgánicos. Este comportamiento es también reportado por Hamel y Plenchette (2007) y Rai (2006), quienes señalan que la actividad de HMA es potenciada por situaciones de estrés o déficit nutricional. En este trabajo no se detectaron síntomas visuales de deficiencias de nutrientes, y por otra parte es evidente que la adición de lombricomposta o composta de estiércol tiene un aporte adicional de nutrimentos.

Los valores de CM encontrados en melón, para este trabajo (44 a 56%; Fig. 1) son menores a los reportados por Coronado (2015), quien utilizó una fuente de inóculo micorrízico, compuesta por varios géneros de HMA, mientras que la fuente usada en este trabajo está basada únicamente en *Glomus tenuihypharum*, lo que puede contribuir a esta diferencia, se reportan sin embargo valores superiores a los encontrados por Padilla *et al.* (2006) cuando se adicionaron al suelo microorganismos que favorecen la actividad de HMA.

En el caso de la CM encontrada en maíz, los valores muestran un comportamiento distinto al mostrado por melón, resultando además tasas de colonización superiores en todos los muestreos, con excepción de la etapa inicial del



**Figura 1.** Colonización micorrízica en melón y maíz. T= Testigo; LC=Lombricomposta; CE= Composta de Estiércol.

**Figure 1.** Mycorrhizic colonization on muskmelon and maize. T=Control; LC=Vermicompost; CE=Manure compost.

cultivo, en la cual se asume que la emisión de raicillas era todavía activa, por lo que proporcionalmente se encontraron menos raíces colonizadas. En las siguientes etapas de desarrollo, la CM se incrementó, sin embargo no llegó a ser tan alta como los valores reportados por Pérez-Luna *et al.* (2012) quienes encontraron que maíz inoculado con HMA presenta CM de hasta 86%, es importante hacer notar que en el trabajo citado, el suelo presenta una capacidad de intercambio de cationes mayor a 80  $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ , la cual contrasta con los 30  $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$  que tienen los suelos en este estudio.

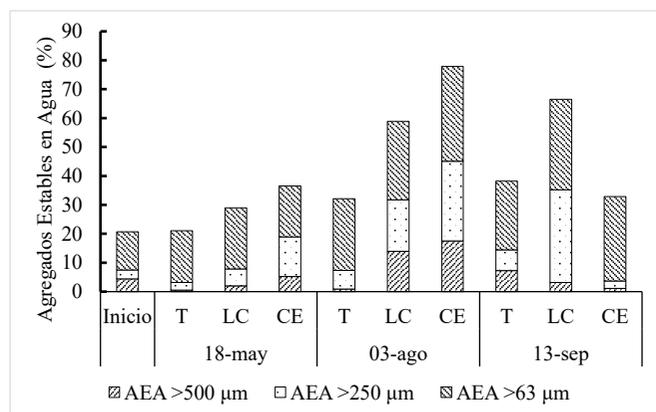
Mientras que la colonización micorrízica nos indica la proporción de raíces con presencia de estructuras de hongos micorrízicos, la densidad visual (DV) nos permite evaluar el nivel de la interacción entre la planta y los HMA asociados, midiendo el porcentaje de la corteza radical ocupado por el micobionte. En este trabajo la DV en melón presenta un patrón similar al reportado para CM, con valores cercanos al 2% los cuales son similares a los encontrados por Coronado (2015). Herrera-Peraza *et al.* (2004) postulan que en condiciones de cultivo es frecuente encontrar valores más bajos de DV que en ambientes silvestres.

Para el caso de maíz, es notorio cómo la adición de materia orgánica favorece una mayor ocupación de la corteza radical, también con un patrón similar al de CM, donde al inicio del desarrollo del cultivo, la DV es menor y luego se incrementa. Raviv (2010) sostiene que el uso de HMA en agroecosistemas de zonas áridas y particularmente bajo esquemas de manejo orgánico, es un tema que requiere todavía varios estudios para establecer apropiadamente las poblaciones que permitan la sostenibilidad y la obtención de los beneficios generalmente atribuidos a la simbiosis micorrízica (Hamel y Plenchette, 2007; Smith y Read, 2008).

### Agregación estable al agua

En la figura 2 se puede apreciar como la estabilidad de los agregados al agua, se incrementó gradualmente en el tratamiento testigo, mientras que en el tratamiento de lombricomposta y estiércol se elevó drásticamente en agosto y se redujo de la misma forma en septiembre, fecha en la cual se terminó el ciclo del cultivo.

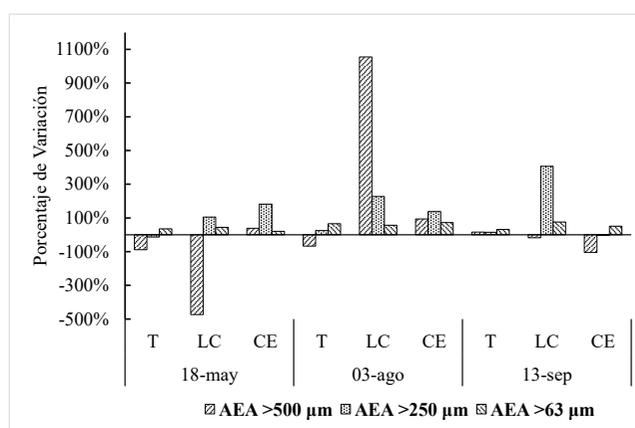
En la figura 2 se aprecia que tanto el testigo como la lombricomposta aumentaron la estabilidad de los agregados >0.25 mm, sin embargo, en la lombricomposta la diferencia es significativa ( $P < 0.05$ ); en el tratamiento de estiércol la estabilidad de estos agregados se comportó de la misma manera que los agregados >0.50 mm, lo cual se corresponde con lo establecido por Chirinos (2007), quien señala que la adición de materia orgánica al suelo contribuye a una mayor agregación estable en agua.



**Figura 2.** Distribución de los Agregados Estables en Agua en cada tratamiento y fecha. T= Testigo; LC=Lombricomposta; CE= Composta de Estiércol.  
**Figure 2.** Water stable aggregates distribution for each treatment and date. T=Control; LC=Vermicompost; CE=Manure compost.

La estabilidad de los agregados del suelo se ve claramente favorecida por la adición de lombricomposta, esta característica según Lampkin (2001), se atribuye a que las lombrices al metabolizar las arcillas y la materia orgánica, añaden polisacáridos al excremento con lo que ayudan a la cementación de las partículas del suelo. Por otra parte, también los HMA contribuyen con la mejora de la estabilidad de los agregados edáficos, pues las hifas que penetran los agregados exudan una goma glicoproteica llamada glomalina, la cual es de carácter hidrofóbico y tiende a acumularse sobre las partículas de arcilla (González-Chávez *et al.*, 2004; Rillig y Mummey, 2006).

La estabilidad de los agregados >0.063 mm aumentó en todos los tratamientos, esto se aprecia en la figura 3, sin embargo, la única con diferencia significativa se registró en el tratamiento de lombricomposta. Según Sandoval *et al.* (2014), si el contenido de agregados mayores a 2 mm es muy alto se puede estar en presencia de un suelo propenso a cementarse y si el contenido de agregados finos es muy alto, se puede estar en presencia de un suelo susceptible a la erosión. Por lo tanto, lo más recomendable para una buena estructura, es que el tamaño de agregados varíe entre los 250 y 500 μm. Este tamaño de agregados también favorece mucho la fertilidad. Para este trabajo es posible notar el cambio de microagregados a agregados de tamaño mayor a 250 μm (Figuras 2 y 3), lo cual es deseable según los autores antes citados.



**Figura 3.** Variación de los Agregados Estables en Agua (AEA) para tres fechas con respecto del punto inicial. T= Testigo; LC=Lombricomposta; CE= Composta de Estiércol.  
**Figure 3.** Change of water stable aggregates (AEA) for three dates versus original status. T=Control; LC=Vermicompost; CE=Manure compost.

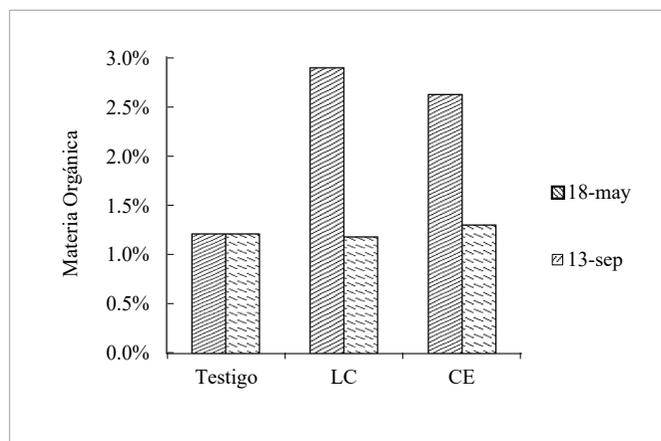
La figura 2 permite apreciar el total de la agregación por tratamiento y fecha, haciendo notorio como el tratamiento con lombricomposta incrementa la agregación total con una tendencia creciente a lo largo del ciclo, mientras que la composta de estiércol favorece un incremento acelerado al término del primer ciclo (18-may), y creciente a la mitad del segundo (3-ago), sin embargo decrece al final del experimento, lo que pone de manifiesto que el impacto de la actividad microbiana se reduce en tanto se agota el sustrato y su impacto es menos duradero que en el caso de la lombricomposta que es un sustrato más estable.

En la figura 3 se muestra el comportamiento de los agregados estables en agua con referencia al punto inicial, aquí es posible notar el comportamiento contrastante entre lombricomposta y composta de estiércol al primer momento de muestreo, donde se reduce la formación de macroagregados (>500 μm) para el tratamiento con lombricomposta. Para el caso del segundo muestreo (03-ago) el incremento en macroagregados es mayor en lombricomposta y se tiene un valor apenas ligeramente superior en composta de estiércol.

El efecto atribuible solo a la actividad de las raíces y su asociación con HMA se ve en los valores apenas diferentes del testigo durante todo el experimento. Es posible también notar que la diferencia en microagregados (<250 μm) es apenas perceptible en todos los tratamientos, lo que nos indica el proceso de formación de macroagregados a partir de los microagregados como lo reportan Armenta *et al.* (2016) cuando trabajaron con suelo de plantas en condiciones silvestres.

### Contenido de Materia Orgánica

Para el suelo donde se estableció el experimento, los contenidos de materia orgánica se encuentran en un nivel considerado bajo (Castellanos *et al.*, 2000) y aun cuando la adición de abonos orgánicos tiene como finalidad el incremento de estos valores, es posible notar que al término del experimento se vuelve a los valores iniciales (Fig. 4), esto se



**Figura 4.** Contenido de materia orgánica en el suelo. Testigo=Control; LC=Lombricomposta; CE= Composta de estiércol.

**Figure 4.** Soil organic matter content. Testigo=Control; LC=Vermicompost; CE=Manure compost.

atribuye a los incrementos en la actividad microbiana que sigue al periodo de lluvias, la cual contribuye de manera importante en la mineralización de esta fracción orgánica. De acuerdo con Raviv (2010), es necesario que el agroecosistema se establezca por varios años para obtener comportamientos de la actividad microbiana y de las tasas de mineralización, que permitan incrementar de manera efectiva la materia orgánica en el suelo, como lo propone la filosofía de producción orgánica (Murillo *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONES

La aplicación de prácticas de producción orgánica es un proceso que beneficia al suelo propiciando una mejor agregación del mismo, lo que le lleva a una estructura más estable. En este trabajo se pone de manifiesto cómo la adición de materia orgánica afecta positivamente a la actividad micorrízica, aunque también es posible concluir que en el mediano plazo se tiende a regresar al estado inicial, por lo que es necesario un análisis de más largo plazo.

En este estudio se demostró también que la composición de la materia orgánica afecta la estabilidad de los agregados, encontrando que la tasa de degradación intrínseca del abono orgánico influye en la dinámica de la estabilidad de los agregados. Así, la lombricomposta como un material más recalcitrante, tiene un efecto más evidente y duradero en la agregación del suelo, con una mayor estabilidad que la composta de estiércol, que es más susceptible a la descomposición microbiana por su mayor contenido de carbono. Es evidente que se requiere un mejor conocimiento de los vínculos entre las características bioquímicas de las compostas, la actividad microbiana que predomina en el suelo, y la estabilidad de los agregados, con el fin de evaluar mejor y predecir sus impactos relativos.

## REFERENCIAS

Armenta C.A.D., Furrázola Gómez E., Moreno-Salazar S.F., Ayala-Astorga G.I. y Ochoa-Meza A. 2016. Variación en el estatus micorrízico de leguminosas del desierto sonorense. *Biotecnia* 18:52-58.

- Bachmann J., Guggenberger G., Baumgart T., Ellerbrock R.H., Urbanek E., Goebel M.O., Kaiser K., Horn R. y Fischer W.R. 2008. Physical carbon-sequestration mechanisms under special consideration of soil wettability. *J Plant Nutr Soil Sci* 171:14–26.
- Bossuyt H., Denef K., Six J., Frey S.D., Merckx R. y Paustian K. 2001. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Appl. Soil Ecol.* 16, 195–208.
- Bronick C.J. y Lal R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3–22.
- Brundrett M., Bougher N., Dell B., Grove T. y Malajczuk N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR, Canberra.
- Castellanos J., Uvalle-Bueno J.X. y Aguilar-Santelises A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. INCAPA. Guanajuato, México. 156 p.
- Chirinos I.J. 2007. Evaluación de la estabilidad de agregados de dos suelos de Masquefa como respuesta a diferentes dosis de material orgánico compostado. *Ciencia* 15: 47-53.
- Costanza R., de Groot R., Sutton P., van der Ploeg S., Anderson S.J., Kubiszewski I., Farber S. y Turner R.K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Glob Environ Chang.* 26:152–158.
- Coronado E.M.A. 2015. Impacto de la micorriza arbuscular y la lombricomposta sobre la agregación del suelo en el cultivo de melón. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Sonora.
- Gámez R.F. 1979. Estudio agrológico semidetallado del campo experimental de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. Tesis de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad de Sonora.
- González-Chávez M.C.A., Gutiérrez-Castorena M.C. y Wright S. 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Terra Latinoamericana* 22: 507-514.
- Giovannetti M. y Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84:489-500.
- Hamel C. y Plenchette C. 2006. Mycorrhizae in crop production. Haworth Food & Agricultural Products Press.
- Herrera-Peraza R., Furrázola E., Ferrer R., Fernández-Valle R. y Torres-Arias Y. 2004. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 35:113-123.
- Kodesova R., Rohoskova M. y Zigova A. 2009. Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. *Biologia* 64:550–554.
- Lampkin N. 2001. Organic Farming. Ipswich: Farming Press.
- Murillo A.B., Rueda P.E., García H.J., Ruiz E.F. y Beltrán M.F. 2010. Agricultura Orgánica. Temas de Actualidad. Plaza y Valdez, Mexico D.F.
- Nichols K. y Toro M. 2011. A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil and Tillage Res.* 111:99-104.
- Padilla E., Esqueda M., Sánchez A., Troncoso R.R. y Sánchez A. 2006. Efecto de biofertilizantes en cultivo de melón con acolchado plástico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:321-329.
- Pérez-Luna Y.C., Álvarez-Solís J.D., Mendoza-Vega J.M., Pat-Fernández J.M., Gómez-Álvarez R. y Cuevas L. 2012. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Bot.* 69: 46-56.

- Phillips J. y Hayman D. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55:158-161.
- Rai K.M. 2006. *Handbook of microbial biofertilizers*. Food Products Press. New York.
- Raviv M. 2010. The use of mycorrhiza in organically-grown crops under semi-arid conditions: a review of benefits, constraints and future challenges. *Symbiosis* 52:65–74.
- Regelink I.C., Stoof C.R., Rousseva S., Weng L., Lair G.J., Kram P., Nikolaidis N.P., Kercheva M., Banwart S. y Comans, R.N.J. 2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma* 247-248:24–37.
- Rillig M.C. y Mummey D.L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171:41–53.
- Sandoval-Estrada M., Celis-Hidalgo J., Stolpe-Lau N. y Capulín-Grande J. 2010. Efecto de enmiendas con lodos urbanos y de salmonicultura en la estructura de un entisol y un Alfisol en Chile. *Agrociencia* 44:503-515.
- Six J., Paustian K., Elliott E.T. y Combrink C. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:681–689.
- Smith S.E. y Read D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3ra Ed. Academic Press. San Diego, USA.
- Tang J., Mo Y., Zhang J. y Zhang R. 2011. Influence of biological aggregating agents associated with microbial population on soil aggregate stability. *Appl. Soil Ecol.* 47: 153–159.
- Wang X.B., Cai D.X., Perdok U.D., Hoogmoed W.B. y Oenema O. 2007. Development in conservation tillage in rainfed regions of North China. *Soil Tillage Res.* 93:239–250.