

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

“IMPACTO DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR Y LA LOMBRICOMPOSTA SOBRE LA AGREGACIÓN DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MELÓN”

TESIS

MIGUEL ANDRES CORONADO ESPERICUETA

OCTUBRE DE 2015

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

“IMPACTO DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR Y LA LOMBRICOMPOSTA SOBRE LA AGREGACIÓN DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MELÓN”

T E S I S

MIGUEL ANDRES CORONADO ESPERICUETA

OCTUBRE DE 2015

“IMPACTO DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR Y LA LOMBRICOMPOSTA
SOBRE LA AGREGACIÓN DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MELÓN”

TESIS

Sometida a la consideración del
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Miguel Andrés Coronado Espericueta

Como requisito parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo

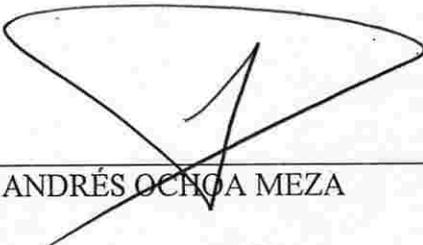
Octubre de 2015

Esta tesis fue realizada bajo la Dirección del Consejo Particular aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

INGENIERO AGRÓNOMO

CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR:



DR. ANDRÉS OCHOA MEZA

ASESOR:



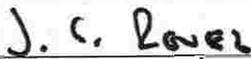
M.C. ANA DOLORES ARMENTA CALDERÓN

ASESOR:



DR. SERGIO FRANCISCO MORENO SALAZAR

ASESOR:



DR. JULIO CÉSAR RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Quiero agradecer al Dr. Andrés Ochoa que fue mi director de tesis por apoyarme en todo momento, por su valiosa guía y asesoramiento, brindarme su amistad, además de prestarme la ayuda que necesitaba para poder realizar este trabajo.

A mis padres por siempre estar a mi lado y apoyarme en las decisiones que tome.

A la M.C. Ana Armenta por siempre ayudarme a lo largo de este proyecto y brindarme su amistad se lo agradezco mucho.

Al M.C. José Juvera por todos los conocimientos prácticos que me enseñó en el área de entomología, además agradecerle la confianza y amistad que me brindó durante mi vida escolar.

A mis maestros de karate por enseñarme que la disciplina es la clave para llevar una vida plena y saludable en todos aspectos.

Un agradecimiento especial al M.C. José Ávila por brindarme no solo su apoyo sino también su amistad, le agradezco los consejos que siempre compartía y aparte de ser maestro él siempre fue un buen amigo dispuesto a ayudarme en todo momento, incluso con este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todos aquellos que me apoyaron moral y económicamente. Principalmente a mis padres Miguel y María que estuvieron apoyándome en todo momento de mi trayectoria y que me enseñaron que solo el esfuerzo y el trabajo duro logran verdaderos éxitos en la vida diaria.

A mis abuelos por todo el apoyo y conocimientos que compartieron conmigo en mi infancia.

A mis hermanos que siempre estuvieron ayudándome en mis proyectos.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Producción mundial de hortalizas	3
Importancia de las hortalizas en México	3
Importancia económica del melón	4
Lombricomposta	5
La micorriza arbuscular	7
Estabilidad de los agregados de suelo	9
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Establecimiento del ensayo	13
Manejo agronómico	14
Parámetros de micorrización	15
Colonización Micorrizica (CM) y Densidad Visual (DV)	15
Pelos radicales (PR)	15
Agregación del suelo	16
Variables de rendimiento	18
Análisis estadístico	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
Desarrollo fenológico	19
Variables de rendimiento	19
Diámetro del fruto	19
Peso del fruto	20
Frutos por metro	20
Grados Brix	20
Variables de micorrización	21
Colonización micorrizica (%CM)	21
Densidad Visual (DV)	22
Pelos radicales	22
Estabilidad de los agregados	23
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFIA	34

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Estadísticas de producción de melón en el estado de Sonora en 2014.....	5
Cuadro 2. Variables morfológicas de los frutos.....	19
Cuadro 3. Variables de micorrización	22
Figura 1. México: superficie cosechada de melón cantaloupe por estado en 2014	5
Figura 2. Esquema de la interacción raíz-HMA.	9
Figura 3. Categorías de densidad visual y porcentaje de ocupación fúngica y, categorías de visualización de pelos radicales (Tomado de Herrera et al., 2004).	16
Figura 4. Proporción de agregados estables entre floración y cosecha, para cada clase de agregado. Barras con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan 0.05) ..	24
Figura 5. Agregados estables en floración y cosecha para cada tratamiento.....	25
Figura 6.- Agregados estables por tratamiento, en la clase mayor de 2 mm.	26
Figura 7. Porcentaje de agregación en la clase mayor a 0.5 mm.....	27
Figura 8.- Porcentaje de agregación en la clase mayor de 0.25 mm.....	28
Figura 9. Porcentaje de agregación en la clase mayor de 0.063 mm.....	29
Figura 10. Índice de agregación total y contribución por clase de agregado.....	30
Figura 11.- Contribución de los tratamientos al cambio en el Índice de Estabilidad para cada clase de agregado.....	31

RESUMEN

El cuidado de los recursos naturales es una preocupación cada vez más recurrente, por lo que, la búsqueda de tecnologías encaminadas a la inocuidad de la producción y más aún, de la calidad del suelo, es constante. En este sentido el uso de abonos orgánicos y la inoculación con microorganismos son dos de las prácticas que pueden usarse en aras de alcanzar objetivos de producción a la vez que contribuyen al cuidado del suelo. Por otro lado, se tiene documentado que el cultivo de melón es una de las actividades agrícolas de mayor importancia económica y social para nuestro país; ya que dependiendo del mercado, el valor de la producción varía desde \$25,000 hasta \$120,000 pesos por hectárea, generando alrededor de 120 jornales por hectárea. Bajo estas premisas, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de lombricomposta y la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA), en la producción de melón y en la formación de agregados del suelo estables al agua. En lo que se refiere a los parámetros relacionados con la producción, la adición de lombricomposta influyó significativamente sobre el tamaño de fruto, mientras que los HMA incrementaron significativamente la acumulación de azúcares. Ambas variables influyeron de manera significativa sobre la formación y estabilidad de la estructura de agregados. La actividad biológica en general, propició la formación de macroagregados mayores de 2 mm en más de 16 veces su nivel inicial después de la labranza.

INTRODUCCIÓN

El melón es uno de los cultivos de mayor importancia económica y social para nuestro país. Los principales estados productores de esta hortaliza durante un año agrícola son Coahuila, Guerrero, Michoacán, Sonora Durango y Oaxaca, con superficies que van desde 1200 hasta 4150 ha establecidas por año. Este cultivo genera hasta 120 jornales por ha. Dependiendo del mercado, el valor de la producción puede variar.

En los sistemas actuales de producción, existe una marcada tendencia hacia la conservación de los recursos naturales, de manera que se han buscado paquetes tecnológicos con miras a preservar la inocuidad de la cosecha y más aún, la calidad del suelo. Entre las estrategias utilizadas se cuenta la aplicación de abonos orgánicos como la lombricomposta, asimismo, el uso de microorganismos promotores de crecimiento vegetal, agentes de control biológico y hongos micorrízicos arbusculares, los cuales permitan alcanzar los objetivos de producción, contribuyendo al cuidado del ambiente.

La lombricultura es una tecnología que utiliza lombrices de tierra domesticadas, como herramienta de trabajo, las cuales reciclan todo tipo de materia orgánica obteniendo como resultado principal el humus de lombriz, lombricomposta o vermicomposta, como también es conocida ; adicionalmente es posible obtener carne y harina de lombriz cuyo uso es propio de producciones pecuarias. El uso de la lombricomposta es muy variado, ya que puede usarse como mejorador del suelo, como aporte de nutrientes, e incluso como sustrato único para el crecimiento de plantas en invernaderos o viveros.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares se consideran los organismos clave en el sistema planta-suelo ya que influyen en la nutrición de las plantas y la calidad del suelo. Esto a través tanto de la exudación de una sustancia proteica denominada glomalina, la cual tiene un efecto cementante y es insoluble en agua, como

de la acción del micelio extraradical que entrelaza partículas de suelo promoviendo la formación de agregados estables al agua, contribuyendo positivamente a una buena estructura del suelo.

La formación y estabilidad de los agregados en el suelo determina la estructura del suelo, la cual es considerada como la propiedad con mayor influencia sobre la calidad del suelo. Esta característica típicamente edáfica determina la infiltración, movimiento y retención del agua, así como el intercambio de gases en el sistema suelo. De la misma manera un suelo bien estructurado favorece el desarrollo y la actividad biológica en el ecosistema, permite una adecuada emergencia de plántulas y el desarrollo de raíces y hace al suelo más resistente a la erosión hídrica y eólica (Porta *et al.* 1999).

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de materia orgánica en conjunto con el uso de hongos micorrízicos arbusculares en la producción de melón, con particular atención en la formación de agregados en el suelo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Producción mundial de hortalizas

De los 1106 millones de toneladas de hortalizas que se producen en el mundo (incluyendo melón y sandía), más de la mitad se produce en China, con 574 millones de toneladas. A larga distancia aparece India en segundo lugar, que produce el 10 por ciento con 109 millones de toneladas, Luego sigue Estados Unidos con 35.9 millones de toneladas, el 3.25 por ciento. La cuarta posición está ocupada por Turquía, con 27.8 millones de toneladas (2.51 por ciento de la producción total mundial). En quinto lugar aparece Irán, que produce 23.49 millones de toneladas (2.12%), seguido por Egipto con una producción de 19.8 millones de toneladas (1.79%), y Rusia con 16.1 millones de toneladas (1.45%). México aparece en el octavo lugar con una producción de 13.60 millones de toneladas (1.23%). España e Italia cierran el "Tóp-10" (www.hortoinfo.es).

Importancia de las hortalizas en México

El subsector hortícola de México aporta 16% del valor de la producción agrícola y el 2.1% de la producción total con sólo el 2.7% de la superficie agrícola (SIACON, 2010). Algunos datos revelan que este es un subsector con un fuerte dinamismo y grandes expectativas para el desarrollo agrícola del país; así de 287,800 ha, que se cosechaban en el periodo 1980/1982, la superficie se incrementó hasta 541,858.70 ha en el periodo 2008/2010. (SIACON, 2010).

Importancia económica del melón

La producción de melón a nivel mundial es de aproximadamente 26 millones de toneladas anuales teniendo a China como el principal país productor al participar con el 51% de la producción total. México se ubica en el octavo lugar mundial con una participación del 2.2% (FAO, 2015). A nivel nacional, la superficie cosechada es de 21,500 hectáreas y se producen más de 543 mil toneladas. La Región Lagunera destaca como la zona melonera más importante del país con una superficie anual promedio de más de 5,300 hectáreas y una producción de 115,000 toneladas (SAGARPA, 2015).

De la superficie total en México el 51.9% se cosecha en el ciclo otoño-invierno (OI) y el 48.1% en el ciclo primavera-verano (PV). La cosecha del ciclo OI se obtiene desde diciembre y hasta principios de mayo en la Costa del Pacífico (principalmente Colima, Nayarit y Jalisco) y en el sur del país (principalmente Michoacán y Guerrero). Por su parte la producción de PV ocurre de mediados de mayo hasta principios de noviembre en la región Norte-Centro de México, donde Coahuila, Chihuahua, Sonora y Durango participan con la mayoría de la producción (Fig. 1). Los rendimientos nacionales promedian 25 toneladas por hectárea, bajo el esquema de riego tecnificado.

En cuanto a la participación por distrito en la producción estatal (SIAP, 2015), destacan Guaymas y la Costa de Hermosillo como las principales zonas en cuanto a su superficie (Cuadro 1) y en el número de productores con aprobación para competir en el mercado de exportación (Arellano *et al.*, 2011).

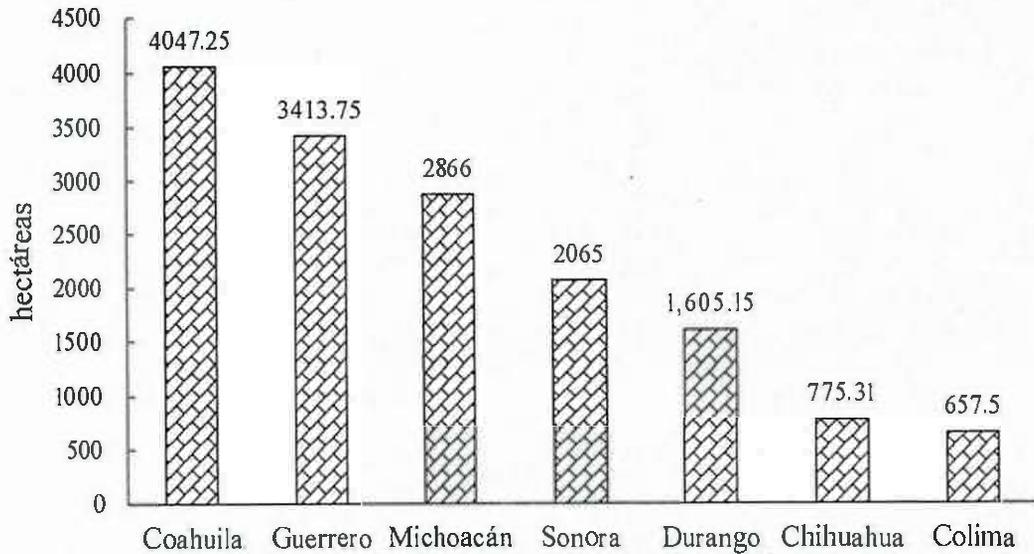


Figura 1. México: superficie cosechada de melón cantaloupe por estado en 2014

Cuadro 1. Estadísticas de producción de melón en el estado de Sonora en 2014

Distrito	Sup. Sembrada (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Guaymas	1,364	49,381	36.20	317,198
Hermosillo	354	10,533	29.76	48,206
Caborca	287	8,056	28.07	50,328
Cajeme	30	1,050	35.00	3,312
S.L. Río Colorado	30	840	28.00	1,386
Total	2,065	69,860	33.83	420,431

Fuente: SIAP, 2015.

Lombricomposta

La agricultura convencional o moderna es un sistema de manejo agrícola que se basa en el uso intensivo de insumos y maquinaria. Esta forma de producir ha demostrado al pasar el tiempo, su agresividad sobre los agroecosistemas y la alta destrucción del ambiente debido al abuso con los agroquímicos (fertilizantes químicos, herbicidas, insecticidas, fungicidas, fitoreguladores, nematocidas, entre otros), los cuales se acumulan en los mantos freáticos, suelo, agua y atmósfera, representando una amenaza para la vida, por su alto grado de toxicidad (Vandermeer, 2009).

Una de las técnicas adecuadas para ir mejorando todo esto y como parte de la agricultura orgánica son: las rotaciones de cultivo, residuos de origen orgánico, abonos verdes, labranza mecánica, entre otros, con el propósito de mantener la productividad y fertilidad del suelo, así como controlar plagas, malezas y enfermedades (Orona, 2011).

Como parte de las técnicas agrícolas mencionadas, la lombricultura es una herramienta de recién aplicación en el aprovechamiento de residuos orgánicos y abonos animales, ya que pueden encargarse de reciclarlos en el suelo y en el menor tiempo, generando así los abonos llamados “lombricomposta” o “vermicomposta”; capaces de sustituir a los fertilizantes químicos por lo que se ha convertido en una técnica que auxilia en la conservación y mejoramiento del recurso suelo (Márquez Hernández *et al.*, 2010; Fundación Produce Nayarit, 2015).

El manejo de la lombricultura, es una de las nuevas técnicas de la agricultura orgánica, en la que por medio del manejo de procesos naturales en el suelo, permiten favorecer su dinámica y como consecuencia, obtener un impacto benéfico en lo agrícola, social y económico (Martínez, 2003; Guadarrama y Taboada, 2004).

La lombricultura es una tecnología de producción orgánica en la que se utiliza principalmente la especie de lombriz domesticada *Eisenia fetida*, La transformación del material orgánico se produce al pasar por el tubo digestivo de la lombriz y mezclarse con compuestos minerales, microorganismos y fermentos, que provocan una transformación bioquímica inicial de la materia orgánica, siendo por lo tanto, más rápida la humificación y posterior mineralización en el suelo, activando de mejor manera el metabolismo microbiano y vegetal por su contenido en fitohormonas. La lombriz se alimenta selectivamente de materiales con un alto contenido en nitrógeno, excretándolo en forma orgánica metabólicamente soluble. El uso de la vermicomposta es muy variado; puede usarse como mejorador del suelo o también como sustrato para el crecimiento de plantas en invernaderos o viveros (Morales *et al.*, 2009, Figueroa *et al.*, 2010; Márquez-Hernández *et al.*, 2010).

Preciado *et al.*, (2011) mencionan que una alternativa para satisfacer la demanda nutricional de los cultivos, además de disminuir los costos y la dependencia de los fertilizantes sintéticos, es la utilización de algunos materiales orgánicos líquidos como extracto líquido de estiércol, lixiviados de composta o vermicomposta (Jarecki y Voroney, 2005; García *et al.*, 2008), té de composta y té de vermicomposta (Pant *et al.*, 2009).

El té de composta, es una solución resultante de la fermentación anaeróbica de composta en agua, puede utilizarse como fertilizante, debido a que contiene nutrimentos solubles, y microorganismos benéficos (Hargreaves *et al.*, 2008; 2009). Esta solución puede ser aplicada a través de sistemas de riego presurizado, por lo que su uso puede adaptarse en sistemas de producción orgánica de cultivos bajo condiciones de invernadero (Capulín *et al.*, 2005; Preciado *et al.*, 2010).

La micorriza arbuscular

Las interacciones microbio-planta son de los eventos más importantes que contribuyen a una agricultura sostenible (Rai, 2006). El mundo microbiano y en particular los microorganismos asociados con las raíces de las plantas, son los de mayor importancia en la agricultura y la productividad de los cultivos. Entre estos se incluyen bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, agentes biocontroladores, microbios importantes en la industria, la medicina y transportadores minerales que ayudan a incrementar la estabilidad de los suelos (Gentili y Jumpponen, 2006). El suelo es un medio dinámico que alimenta diferentes comunidades, tales como bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios, entre otros. Todos juegan un papel significativo en el ciclo de los elementos nutricionales de las plantas, la conversión biológica, formación de humus, sostenimiento de ecosistemas, ciclos geo-químicos y otros además en soportar la vida de las plantas y su productividad (Panwar *et al.*, 2008).

En 1885 Albert B. Frank en su estudio entre la relación planta-microbio, introdujo el término griego “micorriza” el cual significa literalmente hongos-raíces (Smith y Read, 2008). Ésta estructura como indica el nombre, corresponde a una relación entre los hongos formadores de micorrizas y las raíces de más del 90% de las plantas superiores, en una simbiosis similar a la establecida con las bacterias noduladoras en las leguminosas. De los siete tipos de micorrizas descritas (ecto, ectendo, arbuscular, arbutoide, monotropoide, ericoide y orquideaceos), los tipos arbuscular y ecto micorrizas son los más abundantes (Smith y Read, 2008).

Las micorrizas constituyen una simbiosis mutualista entre planta y hongo localizados en una raíz o estructura similar en las cuales la energía fluye primeramente de la planta al hongo y fuentes de sustancias inorgánicas del hongo hacia la planta (Panwar *et al.* 2008). Esta asociación varía grandemente en cuanto a su estructura y función, pero la mayor interacción la presentan la micorriza arbuscular (MA; Fig. 2). La MA se considera la asociación hongo-raíz más extendida en la naturaleza, está formada por hongos del Phylum *Glomeromycota* (Schüßler *et al.*, 2001), los cuales colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas denominadas arbusculos, que actúan como órganos de intercambio de nutrientes entre la célula vegetal y el huésped (Brachman y Parniske, 2006).

Algunos géneros de estos hongos forman también otro tipo de estructuras llamadas vesículas, compuestas principalmente por lípidos. Estas vesículas están presentes intercelularmente en la corteza de la raíz y se consideran reservorios de nutrientes para el hongo. La presencia tanto de arbusculos como de vesículas dio lugar a que la simbiosis se conociera originalmente como vesículo-arbuscular (VA), sin embargo, no todas las especies de hongos forman vesículas, por lo que en la actualidad la asociación se conoce como micorriza arbuscular (MA) y a las especies asociadas, como hongos micorrizicos-arbusculares o HMA (Aguilera-Gómez *et al.*, 2007; Smith y Read, 2008; Ochoa-Meza *et al.*, 2009). Este tipo de interacción es particularmente importante en la mayoría de las especies hortícolas y agrícolas (Hamel y Plenchette, 2007).

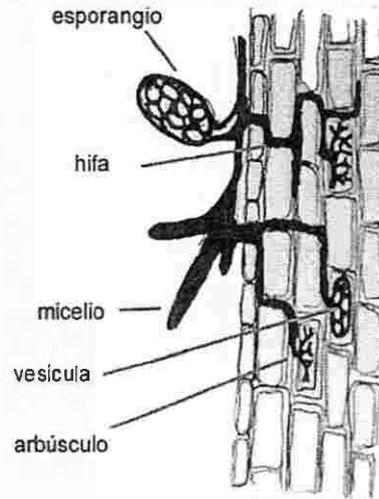


Figura 2. Esquema de la interacción raíz-HMA.

Los HMA se consideran organismos clave en el sistema planta-suelo ya que influyen en la nutrición de las plantas y contribuyen a la estabilidad de la estructura y agregación del suelo. Lo anterior debido a la acción combinada de su micelio extraradical (al entrelazar partículas de suelo y formar macroagregados) y de la producción y liberación de una sustancia proteica hidrofóbica con propiedades cementantes, denominada glomalina. Además la estabilidad de los agregados del suelo, medida como el peso del diámetro medio (PDM) de los macro agregados de 1-2 mm de diámetro se muestra significativamente superior en suelo micorrizado en comparación con suelo no micorrizado. La concentración de glomalina y la estabilidad de los agregados del suelo están positivamente correlacionados con el volumen de las raíces micorrizadas y débilmente correlacionadas con el volumen total de raíces. Así también el PDM de los agregados del suelo esta positivamente correlacionado con la longitud total y densidad del micelio de los HMA presentes (Bedini *et al.*, 2009).

Estabilidad de los agregados de suelo

De acuerdo con la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, un agregado “es un grupo de partículas primarias del suelo que se encuentran unidas unas con otras más

fuertemente que las partículas circundantes” (Nimmo y Perkins, 2002). La estabilidad de los agregados es una forma de estimar la habilidad de un suelo para mantener una tasa de infiltración adecuada, buena labranza y adecuada aireación para el desarrollo de las plantas. La agregación del suelo es un proceso complejo que inicia con la consolidación de las partículas del suelo en microagregados (<0.25 mm) de diámetro continuando con la formación de macroagregados a partir de estas pequeñas unidades. La estabilidad de los agregados se mide con la masa de agregados que permanece después de ser tamizado con agua y expresado en porcentaje del total de la masa de suelo utilizado (Wright y Upadhyaya, 1998).

La reducción de los espacios porosos causado por la compactación el suelo impacta considerablemente la permeabilidad del suelo al aire y agua para las raíces de los cultivos. La inoculación de HMA para aliviar estos problemas se ha expuesto alrededor del mundo, así, al medir el efecto de dicha inoculación sobre el desarrollo de tomate y maíz y la estructura de un suelo arcilloso. Los resultados muestran que la inoculación de MA incrementó el peso del diámetro medio normalizado (PDMN), el cual es un índice para evaluar los agregados del suelo, en 46.2% y 17.7 % para tomate y maíz respectivamente así como la concentración de nitrógeno y fosforo en la parte aérea de maíz en un 32.4% y 17.0% respectivamente, mas no se encontró efecto alguno en la absorción y disponibilidad de nutrientes en tomate. Adicionalmente se encontró una fuerte asociación en cuanto al contenido de carbono orgánico en el suelo y el PDMN, lo que indica que el incremento de C orgánico en el suelo es posiblemente la manera en la cual los HMA contribuyen en el mejoramiento de la estructura del suelo (Xu *et al.*, 2015).

La glomalina es una proteína cuyo extracto con citrato de sodio es de color rojizo, debido al Fe ligado a su estructura, secretada por el micelio y esporas de HMA (Wright y Upadhyaya, 1998) y dependiendo del tipo de suelo y el contenido de materia orgánica en éste, puede ser cuantificada como proteína del suelo relacionada a la glomalina (PSRG). Es considerada, por sus características como uno de los factores fundamentales de los HMA en la formación de los agregados del suelo (Qiang *et al.*, 2015).

Es poco lo que se sabe sobre la importancia fisiológica de la glomalina en los HMA, pero se cree que protege al micelio del ataque de los organismos del suelo que se alimentan de material fúngico (Purin y Rillig, 2008). Asimismo, por su propiedad hidrofóbica, le brinda al hongo un medio de una protección al micelio que avanza o conduce para prevenir pérdidas de agua y nutrientes. De la misma manera, promueve el crecimiento micelial en el ambiente del suelo donde las presiones de turgencia varían en ciclos de humedad y sequía. Otra de las funciones de la glomalina es el papel que juega en la formación y estabilización de los agregados del suelo a través de la acción de cementante que ejercen los oligosacáridos presentes en la glomalina mediante el enlace de los minerales arcillosos y materia orgánica por el fierro y otros cationes polivalentes (Nichols, 2008).

La estabilidad de la estructura del suelo está fuertemente influenciada por la naturaleza y contenido de la materia orgánica. El uso del suelo y sus prácticas de manejo, influyen en el contenido de la materia orgánica y a su vez son determinantes en el grado de agregación de sus partículas. Las raíces de las plantas y el micelio de los hongos son los factores bióticos más importantes, en la estabilización de los agregados del suelo. Así pues todos los factores que puedan incidir en la producción de PSRG e incidir en la formación de agregados y su estabilidad, pueden orientar las prácticas de manejo del suelo con el propósito de potenciar los sistemas de producción de cultivos o bien, la restauración de suelo de áreas erosionadas (Jakšik, 2015).

Los procesos de agregación en el suelo son dinámicos y particularmente complejos. Considerando la interacción de varios factores, entre los que se incluyen componentes ambientales y, manejo del suelo, resultan particularmente importantes las propiedades del suelo como humedad disponible, textura, cantidad y calidad de la materia orgánica, actividad microbiana y su acción enzimática, así como los nutrientes en forma mineral (Six *et al.*, 2000)

El modelo jerárquico de agregación propuesto por Tisdall y Oades (1982) implica la participación de diferentes agentes cementantes que actúan en diferentes

estados de la agregación. En primer término, la consolidación de partículas y complejos orgánico-minerales formando microagregados (menores de 250 μm), los cuales al unirse darán lugar a los macroagregados.

Entre otros factores, los aportes orgánicos han sido considerados tradicionalmente como el centro de la formación y estabilidad de la estructura, aunque la textura, composición mineral y más recientemente la actividad biológica, revisten gran importancia (Chirinos, 2007).

La estructura del suelo es clave en el sistema edáfico, con especial influencia de la estabilidad de los agregados, lo que se considera como un indicador de ésta (Six *et al.*, 2000) y es el resultado del arreglo de las partículas, floculación y cementación. En suelos áridos la formación de carbonatos tiene gran importancia en la dinámica de la agregación, pero la estabilidad estructural es más dependiente de los cambios de contenido de MO y prácticas de manejo (Six *et al.*, 2000), tal es el caso de la disminución del contenido de carbono en los macroagregados por efecto de la labranza convencional (Sandoval-Estrada *et al.* 2008).

La estabilidad de los microagregados, en cambio, es menos sensible a las prácticas de manejo y al contenido de materia orgánica (Tisdall y Oades, 1982). Esto sugiere que el manejo de los suelos puede favorecer o disminuir la formación de distintos tamaños de agregados, afectando negativa o positivamente la estabilidad estructural del suelo, y por tanto la sostenibilidad general del sistema. Se ha hipotetizado también que la reducción de los macroagregados contribuye al aumento de los gases efecto invernadero por la mineralización de C orgánico y favorece los procesos erosivos de los suelos (Gupta y Germida, 1988).

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del ensayo

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del área agrícola experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, ubicado en el kilómetro 21 de la carretera a Bahía Kino con coordenadas 29° 00' 48.42" latitud Norte y 111° 08' 12.94" longitud oeste, en el ciclo agrícola otoño-invierno 2014, estableciéndose el cultivo el 30 de agosto.

Para establecer el ensayo se trazaron camas meloneras con 2 metros de separación y se acolcharon, para disminuir la presencia de maleza y para hacer más eficiente el uso del agua de riego. Las plántulas de melón variedad Caribbean King (Rijk Zwaan USA Inc.) se establecieron al mes de desarrollo en charola de 200 cavidades, dejando una separación de 50 cm entre plantas.

Los tratamientos consistieron en la inoculación de un producto comercial a base de HMA (*Entrophospora colombiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum* y *G. clarum*), a razón de 1 libra por hectárea según recomienda el fabricante y, en el uso de lombricomposta a razón de 4.8 ton ha⁻¹, aplicada en línea sobre la cama de trasplante. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, de esta manera se establecieron doce unidades experimentales con los tratamientos mostrados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos establecidos en el ensayo

Tratamiento 1	Lombricomposta
Tratamiento 2	Lombricomposta + HMA
Tratamiento 3	HMA
Tratamiento 4	Testigo

Los tratamientos fueron aplicados en forma directa en camas de 20 m de largo y 2 m de separación entre ellas. Para la aplicación de la lombricomposta se abrió la cama por el centro y se agregó el producto, se cerraron las camas y se colocó el plástico color plata-negro, para hacer los orificios de las plantas a una separación de 50 cm y una profundidad aproximada de 10 cm, después se inoculó directamente el orificio con los HMA en las parcelas correspondientes, finalmente se trasplantó el melón y se regó para favorecer el establecimiento.

Manejo agronómico

Posterior al trasplante y con la aparición de la 3ª hoja, se fertilizó con triple 20, en combinación con urea (46-00-00) y Nutra-Zorb (08-24-00) hasta la aparición de las primeras flores, excepto el triple 20 ya que este fertilizante también cuenta con potasio y en ese momento de desarrollo de la planta no era necesario. Al aparecer las primeras flores, se realizó una aplicación de nitrato de potasio (13-00-44), al igual que en la etapa de llenado de fruto para favorecer la acumulación de azúcar en el fruto.

En lo que se refiere al control de plagas, se efectuaron 6 aplicaciones de imidacloprid para combatir mosquita blanca (*Bemisia argentifolii*), estas aplicaciones se hicieron en diferentes fechas del 12 de septiembre al 25 octubre. También se hicieron dos aplicaciones con permetrina en la etapa de la formación y llenado del fruto a fin de controlar al gusano del melón (*Diaphania hyalinata*). Para el control de mildiu veloso se hicieron 2 aplicaciones del fungicida clorotalonil. El control de maleza se hizo de manera manual por lo que no se utilizó ningún herbicida. La principal maleza que apareció fue el quelite (*Amaranthus palmeri*). Los riegos se hicieron cada 3 días con una duración de 3 a 4 horas. Para la cosecha o corte se tomó como criterio la red completamente formada y el inicio de la separación del pedúnculo. La cosecha se distribuyó en dos cortes con una semana de intervalo.

Parámetros de micorrización

Las variables que se evaluaron fueron: Determinación de colonización micorrízica (% CM) y densidad visual (% DV), para lo que se tomaron muestras de raíz, compuestas por al menos dos plantas por tratamiento, en dos etapas diferentes del cultivo (amarre de fruto y en madurez fisiológica). Para obtener las raíces se utilizó una barrena de 8.25 cm de diámetro, las raíces se separaron manualmente del suelo, se lavaron y se pasaron a una solución de KOH 10% para aclararlas y eliminar los contenidos celulares, luego se aplicó peróxido de hidrogeno (1.5%) y después se acidificaron en HCl 1N, la tinción se realizó con azul de tripano al 0.05% en lactoglicerina y el exceso de colorante se eliminó con lactoglicerol (Phillips y Hayman, 1970).

Colonización Micorrizica (CM) y Densidad Visual (DV)

Una vez teñidas las raíces, se contabilizó la colonización usando una placa de Petri con fondo cuadrulado y bajo un microscopio estereoscópico con aumentos de 20 a 60x. Se contaron las intersecciones de raicillas en las líneas de la cuadrícula (> 100 por medición), conforme al método de Giovannetti y Mosse (1980). El porcentaje de CM se calculó con la proporción de intersecciones micorrizadas con respecto del total de intersecciones registradas. Adicionalmente se clasificó la DV en seis categorías visuales de 0 a 5 (Figura 2), con esto se estima el porcentaje de ocupación de la corteza radical (Herrera *et al.*, 2004)

Pelos radicales (PR)

Para la cuantificación de los pelos radicales se realizó la observación de manera simultánea con la determinación de CM y DV. La presencia o ausencia de pelos radicales se determinó en los segmentos de raicillas que interceptaron cada línea del retículo en la placa de conteo. Sus valores se expresaron en porcentaje con respecto del total de intersecciones contadas. Se identificaron según los niveles visuales ya establecidos que van de 0 a 4 (Figura 3).

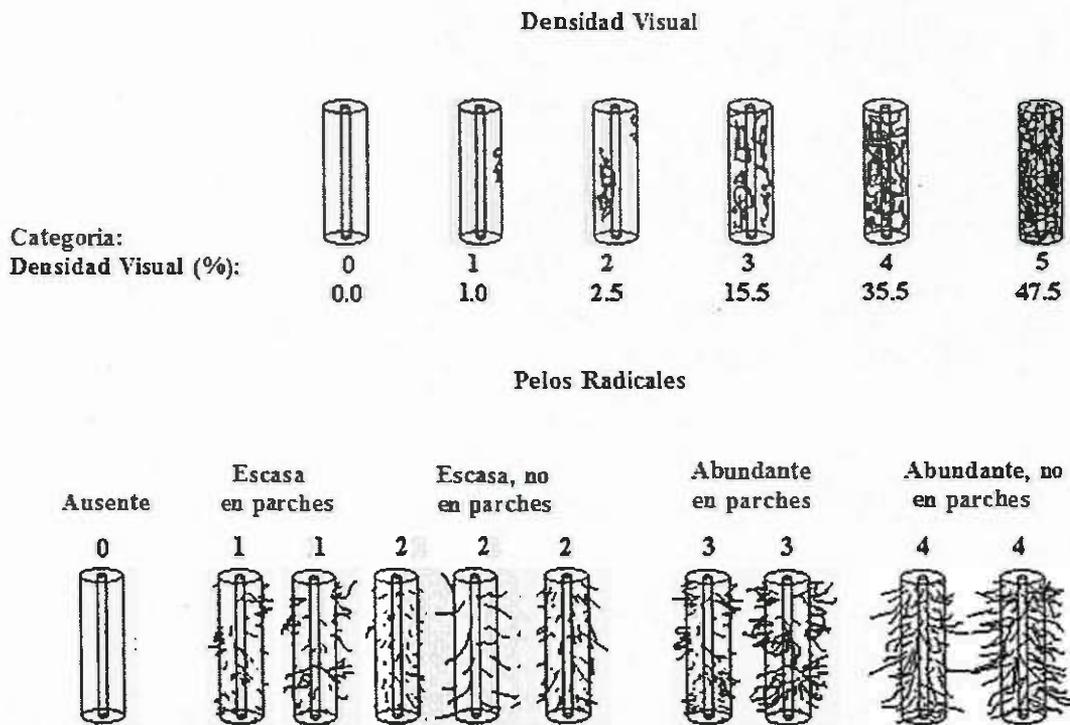


Figura 3. Categorías de densidad visual y porcentaje de ocupación fúngica y, categorías de visualización de pelos radicales (Tomado de Herrera et al., 2004).

Agregación del suelo

Para el análisis de la agregación del suelo, se determinó el Índice Total de Estabilidad del Suelo (WSSI por sus siglas en inglés), el cual incluye tanto la proporción de agregados en el suelo seco, como la de agregados estables al agua (Nichols y Toro, 2011). La metodología que se siguió para estas determinaciones es la propuesta por Nichols y Toro (2011) que se describe de manera breve: iniciando con 150 g, el suelo se pasó de manera sucesiva por tamices con 4 aperturas de malla diferentes: 2.0, 0.5, 0.25 y 0.063 mm. Una vez separado el suelo por clase de partícula, cada una se pesó individualmente y se dividió en tres partes para realizar el tamizado en húmedo (WSA).

Cada repetición se colocó en el tamiz correspondiente por un periodo de 10 min para un humedecimiento lento del suelo por capilaridad. La separación de los agregados estables al agua se realizó de manera manual durante 5 min, sumergiendo el tamiz sin

tocar el fondo en una columna de agua de aproximadamente 5 cm. El suelo que quedó dentro del tamiz se colocó en una charola de aluminio para eliminar la totalidad del agua a una temperatura de 95-105°C. Para la determinación de la cantidad de arena presente en la muestra, una vez registrado el peso seco, los agregados resistentes al agua se deshicieron utilizando hexametáfosfato de sodio 0.5% y se volvió a determinar el peso seco de la muestra.

La proporción de agregados de suelo seco se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$P_{ai} = \frac{[W_A - [(W_c/W_o) \times W_A]]}{W_T}$$

Donde:

P_{ai} : Proporción de agregados tamizados en seco para cada clase i

W_A : Peso del material total en cada clase i .

W_c : Peso del material grueso medido durante el tamizado en húmedo para cada clase i .

W_T : Peso total de la muestra.

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

Los agregados estables al agua se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

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

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.

Con las dos determinaciones anteriores, se calculó el índice total de estabilidad de suelo (WSSI), con base en la siguiente fórmula:

$$WSSI = \left[\sum_i^n [(I) \times (P_{ai}) \times ((WSA_i) \div 100)] \right] \div n$$

Donde:

WSSI = índice total de estabilidad del suelo

n: número de clases de tamaño de agregados

I: = n y decrece en 1 de mayor a menor clase de agregados

P_{ai} : Proporción de agregados tamizados en seco para cada clase i

WSA_i : Agregación estable al agua para cada clase i

Variables de rendimiento

Las variables de rendimiento que se evaluaron en este trabajo fueron las siguientes:

Diámetro del fruto en cm y peso en kg,

Sólidos solubles totales (grados brix),

Numero de frutos por metro lineal.

Análisis estadístico

Los datos para cada variable medida se tabularon en Excel, y luego se sometieron a un análisis de varianza usando el software NCSS ver. 97. Donde se encontraron diferencias significativas se realizó una separación de medias según Duncan, con el 5% de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo fenológico

El desarrollo fenológico del cultivo resultó acorde con lo establecido en la ficha técnica de la variedad, así se tuvo maduración de los frutos a los 102 días (13 de noviembre), con calibres entre #9 y #12 para todos los tratamientos. Durante el desarrollo de la planta se pudo observar que en los tratamientos con lombricomposta y lombricomposta + HMA, la planta fue más vigorosa, con peciolo más largos y gruesos en comparación con los tratamientos que solo tenían HMA o el testigo.

Variables de rendimiento

En el cuadro 2 se muestran los parámetros de rendimiento para cada tratamiento. En él se observaron diferencias significativas en el peso de fruto para el tratamiento inoculado con HMA solamente, mientras que en diámetro del fruto el valor es el menor de todos, aunque sin llegar a ser estadísticamente diferente.

Cuadro 2. Variables morfológicas de los frutos

Parámetro / Tratamiento	Diámetro (cm)	Peso (kg)	grados brix	frutos por metro
Lombricomposta	15.6 ± 1.2 a	2.0 ± 0.4 b	12.4 ± 0.5 a	1.9 ± 0.3 a
Lombric + HMA	15.4 ± 0.6 a	1.9 ± 0.2 b	12.8 ± 0.7 a	1.7 ± 0.8 a
HMA	14.2 ± 0.4 a	1.4 ± 0.1 a	13.0 ± 0.4 a	1.8 ± 0.5 a
Testigo	14.7 ± 0.7 a	1.7 ± 0.2 ab	12.7 ± 0.4 a	1.8 ± 0.5 a

Valores son promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar.

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Duncan 0.05)

Diámetro del fruto

En lo que respecta a diámetro del fruto se puede notar una diferencia entre el tratamiento con lombricomposta y el que se inoculó con HMA, la cual pudiera explicarse por la disponibilidad de nutrientes que aporta la lombricomposta, mientras

que por el contrario pudo haber una carga energética como resultado de la asociación con HMA, es decir que la planta estaba sujeta a un estrés por la planta al momento de tomar y usar los nutrientes y el agua del suelo, esto es de acuerdo con lo ya reportado por Herrera-Peraza et al (2004), Harrison *et al.* (2005) y Hamel y Plenchette (2007) que en general concuerdan con que los beneficios de la asociación micorrízica están muy influenciados por la identidad del HMA asociado.

Peso del fruto

De manera numérica se pueden observar diferencias en el peso de los frutos, y aunque en todos los tratamientos se tuvieron tamaños comerciales de entre #9 y #12, se marca una tendencia en favor del uso de la lombricomposta, sin embargo este tratamiento resulta estadísticamente igual que el testigo y difiere solo del tratamiento con HMA. De acuerdo con los estándares de empaque del melón, se tiene buen tamaño de fruto, sin embargo al completar los datos de peso del fruto con el número de frutos por metro, se tiene que en general la producción en el tratamiento con HMA, es apenas la mitad de lo reportado como producción media en la Costa de Hermosillo, mientras que el tratamiento con lombricomposta se acerca al 80% de esta producción esperada (SIAP, 2015). Estos resultados nos indican que es necesario procurar un mejor amarre en el cultivo para conseguir los 4 frutos por metro lineal que normalmente se tienen en producciones comerciales.

Frutos por metro

En este caso no hubo diferencias entre tratamientos, aunque si se encuentra una tendencia a un mejor amarre en el tratamiento con lombricomposta, como se indica al principio, el área foliar total en este tratamiento resultó visiblemente mayor, sin embargo no se cuantificó. Es posible que este mejor desarrollo vegetativo haya influido en un mejor amarre de frutos por metro lineal.

Grados Brix

La acumulación de azúcares no resultó significativamente diferente entre tratamientos, sin embargo en este caso el tratamiento con HMA fue el que mostró los

valores más altos. Este comportamiento puede deberse a un mejor aporte de fósforo, favorecido por la interacción del HMA, el suelo y la planta, ya que es reconocido el papel que juega este elemento en la síntesis de carbohidratos (Azcon-Bieto y Talon, 2008), aunque por otra parte no se midieron los niveles de nutrientes en tejido, lo que solo nos permite proponer dicha explicación. De manera alternativa, es también conocido que los niveles altos de nitrógeno y factores de crecimiento, promueven un mayor desarrollo vegetativo y por ende retrasan la maduración de los frutos, en este caso, el aporte de nutrientes de la lombricomposta puede favorecer este mayor desarrollo, como se registra de manera puntual en el peso de frutos.

Variables de micorrización

Colonización micorrizica (%CM)

Claramente se puede observar la diferencia que existe entre el tratamiento con HMA únicamente, y el testigo sin inocular (Cuadro 3), esta situación se puede deber a una incompatibilidad del HMA inoculado, ya que la planta podría haber reconocido inicialmente al organismo como un elemento patogénico hacia ella, según lo revisado por Camarena (2011), y eventualmente iniciar más tarde los eventos de infección y colonización, por lo cual se tiene el porcentaje más bajo de CM, mientras que en el tratamiento 4, no inoculado con HMA comercial se encontró presencia de micorriza y una gran colonización, pero hay que resaltar que esa colonización se dio por micorriza nativa del sitio y por lo tanto la planta no tuvo ningún inconveniente en coexistir con el hongo.

Los valores de CM difieren en gran medida de los reportados por Flores *et al.* (1995), quienes encontraron que la CM en melón inoculado con las cepas Zac-19 y *Glomus intaradix* (= *Rhizophagus intraradices*) varía del 4 al 14%, asimismo es distinta de la reportada por Padilla *et al.* (2006) cuando en un trabajo en la Costa de Hermosillo se midió la actividad micorrizica propiciada por la inoculación de microorganismos y abonos orgánicos, encontrando que la CM a partir de HMA nativos alcanzó del 26 al

48% cuando se usaron inoculantes a base de bacterias y levaduras, mientras que fue solo del 12% cuando no se utilizaron. En nuestro caso, los valores de CM son de al menos 77% en los tratamientos inoculados con HMA comercial, mientras que los testigos son los que muestran la CM más alta, indicando la adaptación de los HMA nativos y por lo tanto su mejor capacidad para colonizar las raíces del melón.

Cuadro 3. Variables de micorrización

Tratamiento/Parámetro	%CM	DV	Pelos Radicales
Lombricomposta	87.9 ± 7.0 ab	5.9 ± 2.8 b	0.32 ± 0.12 b
Lombricomposta + HMA	88.2 ± 16.6 ab	4.6 ± 3.7 ab	0.43 ± 0.06 b
HMA	77.0 ± 9.0 a	2.1 ± 1.4 a	0.13 ± 0.02 a
Testigo	98.5 ± 2.1 b	4.1 ± 2.6 ab	0.29 ± 0.11 b

Valores son promedio de 2 repeticiones ± desviación estándar.

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Duncan 0.05)

Densidad Visual (DV)

El nivel de ocupación de la raíz es tanto o más importante que la medición simple del porcentaje de raíces colonizadas, ya que nos da una indicación de la efectividad de la asociación, en conjunto con la evaluación de vesículas y arbusculos presentes (Herrera *et al.*, 2004). Entre el tratamiento con lombricomposta y el de HMA se observa como la DV en la raíces es mayor en el primero, pero se vuelve a repetir el caso de la variante anterior ya que un tratamiento no inoculado fue afectado por micorriza nativa la cual se unió de una manera más efectiva a la planta, mientras que la micorriza comercial no consiguió una buena asociación, lo que ayuda también a entender los efectos mostrados en producción.

Pelos radicales

En cuanto a pelos radicales se encontró diferencia significativa del tratamiento HMA con respecto de los demás, siendo su valor el mas bajo en este tratamiento (Cuadro 3). Dado que tanto los pelos absorbentes como las hifas de HMA cumplen la función de absorción de agua y nutrientes del suelo, se conoce que hay una relación inversa de su presencia en la raíz, de esta manera las raíces con una alta tasa de colonización micorrízica tienden a presentar valores mas bajos de pelos radicales que las

raíces sin colonización (Herrera-Peraza *et al.*, 2004), se conoce que la capacidad para absorber agua y nutrientes se relaciona con la morfología de las raíces (Karagiannidis y Nikolaou, 1999), así, plantas cuyas raíces tienen pocos pelos absorbentes se caracterizaron como altamente dependientes de las asociaciones micorrízicas (Price *et al.*, 1989; Fitter, 2004). Dados los resultados de este ensayo se puede definir que el melón corresponde a una especie que responde a la micorrización reduciendo la emisión de pelos radicales.

Estabilidad de los agregados

Aunque se reconoce que la textura es una propiedad física relacionada con la génesis del suelo, es la estructura la propiedad física más importante, y resulta de la interacción entre las partículas texturales y la biota del suelo. La naturaleza física se combina con gomas y resinas de origen biológico para producir los agregados estructurales, los cuales generan a fin de cuentas los poros estructurales y texturales (Vandermeer, 2009; Powell y Klironomos, 2007). De la interacción entre los subproductos microbiales, la materia orgánica y los minerales del suelo, se generan agregados con muy diversa resistencia o estabilidad, siendo deseable en los suelos agrícolas que esta estabilidad sea alta para favorecer de manera continua la infiltración y retención de agua en el perfil (Six *et al.*, 2000).

En nuestro ensayo, la dominancia de agregados estables al agua cambió de microagregados a la formación de agregados de mayor tamaño en la medida que el ciclo de cultivo fue más avanzado (Figura 4), esto puede ser producto de la actividad microbiana favorecida por la adición de materia orgánica o bien por la actividad de los HMA.

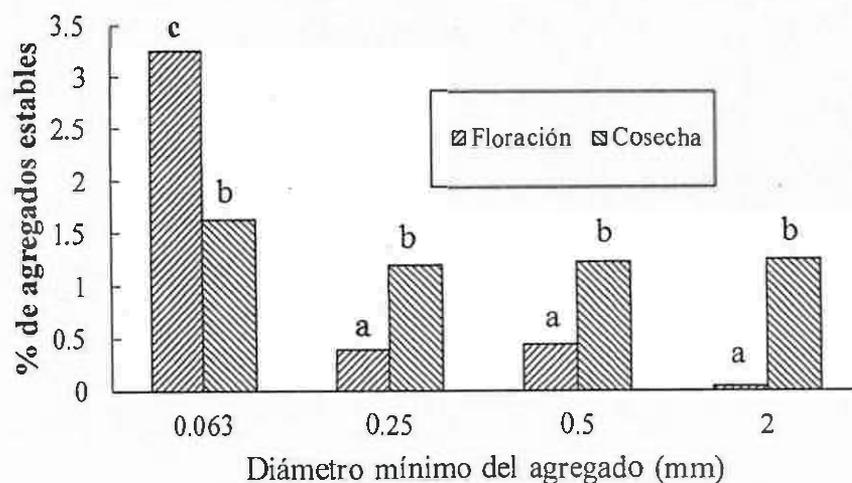


Figura 4. Proporción de agregados estables entre floración y cosecha, para cada clase de agregado. Barras con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan 0.05)

En la figura 4 se muestran los distintos niveles de agregados, encontrando diferencias entre las fechas de muestreo, así es posible ver que en el nivel de micro agregación (>0.063 mm) se disminuyó su presencia de floración a cosecha, mientras que por el contrario al llegar casi al final del desarrollo del cultivo se ve una agregación mayor en los niveles superiores de agregados y macroagregados, esto es resultado de una mayor unión de microagregados que se agrupan entre sí, de aquí que su proporción disminuya para incrementar las proporciones de agregados de mayor tamaño como es el caso de los de 0.25, 0.5 y 2 mm.

Dado que no se encontró diferencia estadística en la agregación total para cada tratamiento, pero si es notorio el cambio en este parámetro entre las fechas de muestreo, se sospecha que tanto la actividad microbial favorecida por la lombricomposta, como la actividad de los HMA comerciales y nativos, favorecen de manera similar la formación de agregados estables al agua (Figura 5).

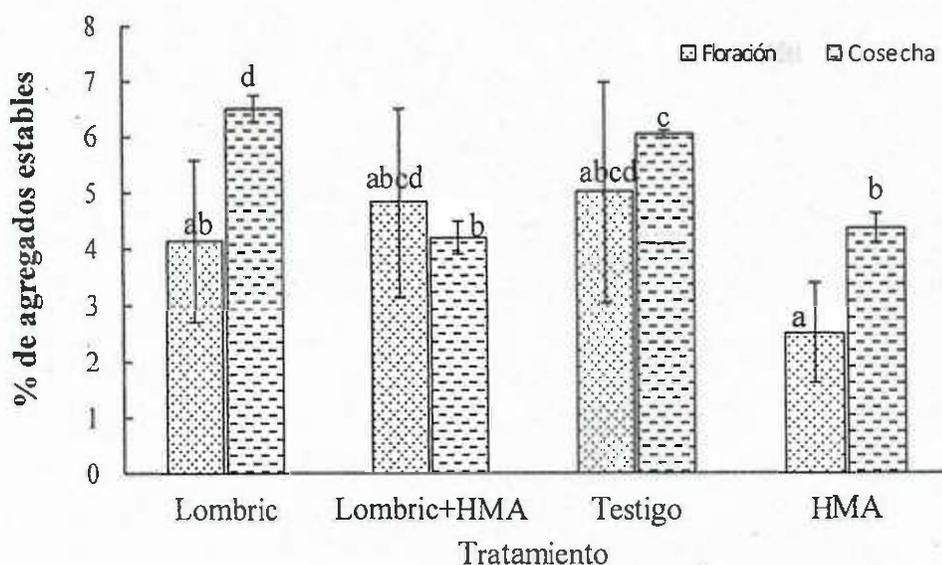


Figura 5. Agregados estables en floración y cosecha para cada tratamiento. Barras con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan 0.05)

En la figura 6 se observan los porcentajes de macroagregados (> 2 mm) estables que hay entre los tratamientos, es notorio un incremento de agregación hacia la cosecha del cultivo, además de ser el tratamiento con lombricomposta el más alto de los cuatro, seguido por el testigo. Tanto en el caso de la lombricomposta como en el de HMA, es donde la diferencia entre los muestreos es mayor, lo que indica el potencial de estos tratamientos para favorecer la formación de agregados estables de mayor tamaño.

Es de notar que la presencia de macroagregados en floración es muy baja, y presumiblemente también al inicio del ciclo de cultivo, lo que refleja el impacto de la labranza sobre la conservación de los agregados, de manera consistente con lo reportado por Sandoval-Estrada *et al.* (2008) y Six *et al.* (2000) quienes señalan que las prácticas de laboreo reducen consistentemente el carbono del suelo y con esto de manera indirecta la formación de agregados estables.

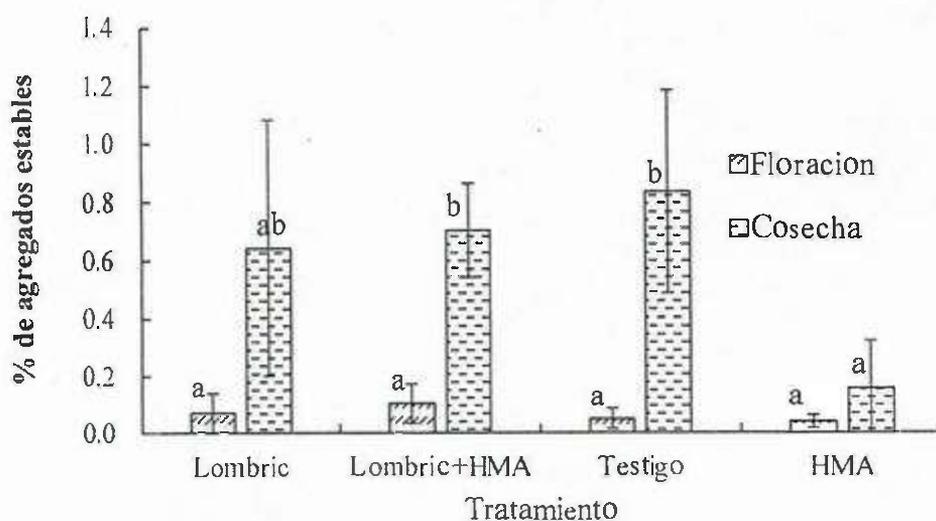
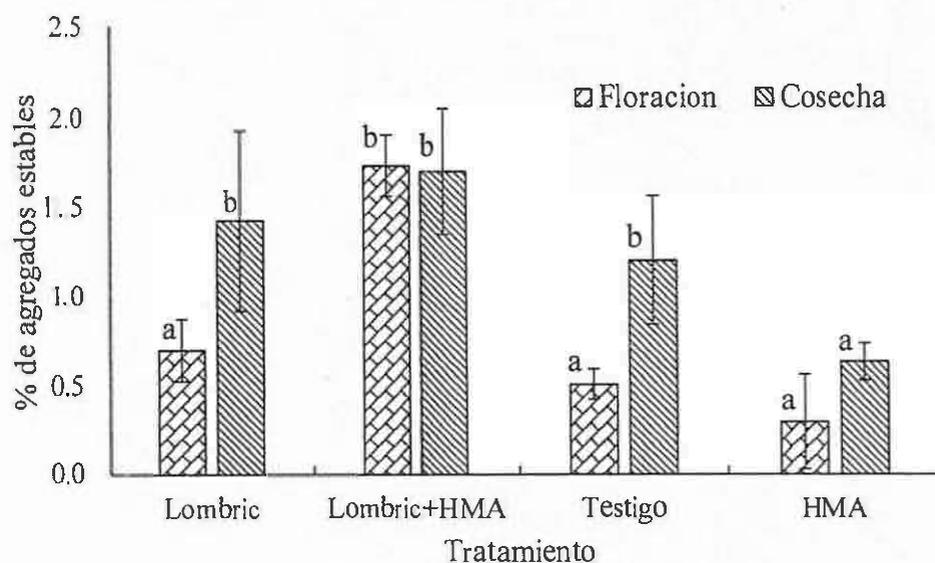


Figura 6.- Agregados estables por tratamiento, en la clase mayor de 2 mm.
Barras con letras diferentes no son estadísticamente iguales (Duncan 0.05)

En la figura 7 se observa la notoria diferencia que hay en los agregados estables al agua de la clase mayor de 0.5 mm, cuyos valores son diferentes entre fechas de muestreo, siendo en cosecha cuando se presenta el más alto nivel de agregación. Se puede ver como en floración el nivel de agregación estaba en un nivel muy bajo, pero mientras el cultivo avanzaba este fue aumentando, en esta clase de agregados se pueden apreciar diferencias significativas en todos los tratamientos con excepción de la combinación lombricomposta + HMA, donde la combinación de ambos efectos en lugar de mostrar un efecto sinérgico como se esperaba, muestra un efecto detrimental de uno sobre el otro.



*

Figura 7. Porcentaje de agregación en la clase mayor a 0.5 mm

Barras con letras diferentes no son estadísticamente iguales (Duncan 0.05)

La figura 7 muestra los niveles de agregación que obtuvieron los distintos tratamientos sobre los agregados mayores a 0.5 mm, se observa como la agregación aumenta conforme el cultivo de acerca a la recta final de su desarrollo, en la gráfica de observa que el tratamiento de lombricomposta sola y lombricomposta + HMA tienen los valores más altos al final del ciclo, esto se puede deber a que dada la presencia de lombricomposta se favorece tanto la micorriza como la flora o microorganismos nativos del suelo, que pudieron trabajar de una manera más eficiente con la planta y el suelo dando estos resultados.

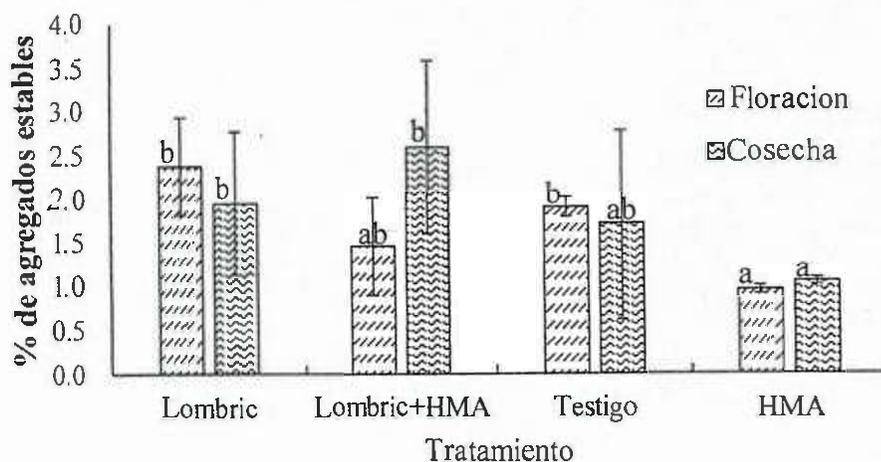


Figura 8.- Porcentaje de agregación en la clase mayor de 0.25 mm
Barras con letras diferentes no son estadísticamente iguales (Duncan 0.05)

Las figuras 7 y 8 muestran como el nivel de agregación va en aumento conforme se desarrolla el cultivo, se puede apreciar como al inicio del primer muestreo la micro agregación era un poco alta a comparación con las gráficas anteriores, pero al final del cultivo este nivel aumenta, lo que significa que la biología del suelo y los tratamientos funcionan bien junto con la planta para dar tales resultados.

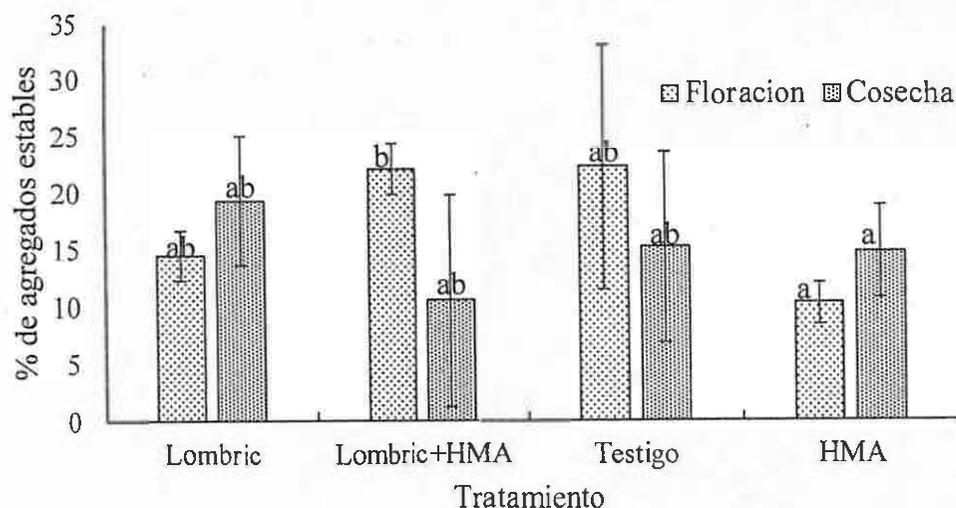


Figura 9. Porcentaje de agregación en la clase mayor de 0.063 mm
Barras con letras diferentes no son estadísticamente iguales (Duncan 0.05)

En la figura 9 se observa como el porcentaje de microagregados en el nivel de las 63 micras, resulta el más alto comparado con el porcentaje de los agregados de tamaño mayor, sin embargo en la segunda fecha de muestreo se ve una disminución en esta clase de agregados, que va de 3 a más de 16 veces según el tratamiento, lo que es un indicativo de como la actividad microbial favorece la formación de agregados de mayor tamaño, entre los que se cuentan los de las clases de 0.25 y 0.5 mm, pero de manera más determinante los macroagregados de la clase mayor de 2 mm (Figs. 5, 6 y 7).

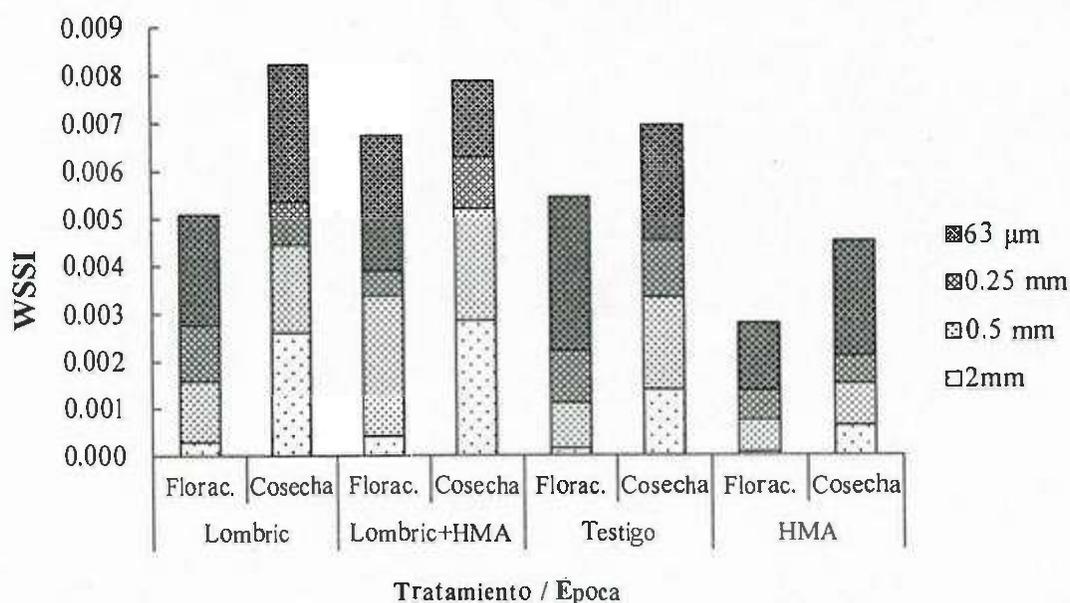


Figura 10. Índice de agregación total y contribución por clase de agregado.

El índice total de estabilidad del suelo (WSSI) durante la floración y la cosecha del cultivo se muestra en la Fig. 10. Se puede apreciar que durante la cosecha en todos los tratamientos y el testigo, el WSSI es más alto; asimismo, es en este segundo muestreo donde se observa un aumento de macroagregados. De acuerdo a lo citado por Nichols y Toro (2011), esta fracción está mayormente influenciada por la actividad biológica, atribuida a raíces y microorganismos (incluidas hifas de hongos), así como sus bioproductos y es durante la fase de cosecha, cuando la planta se encuentra en su punto máximo de desarrollo. Aun cuando el WSSI es mayor en general en el tratamiento de lombricomposta, se observa que la proporción de macroagregados es mayor en el tratamiento combinado con HMA, lo cual es atribuible a la acción de entrelazado de microagregados por las hifas de los HMA, así como posiblemente a la producción de glomalina (aunque no se determinó) por estos hongos.

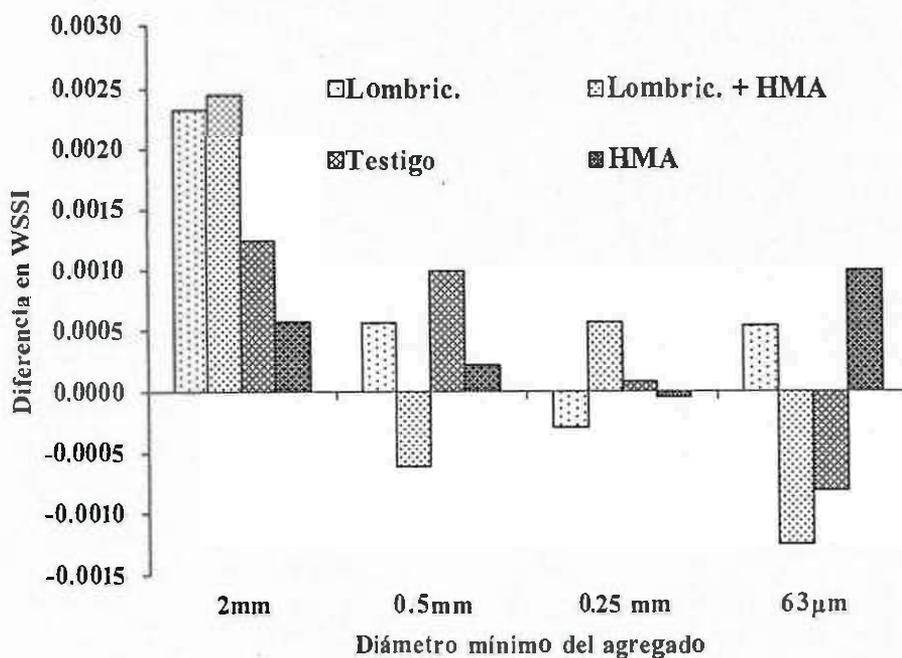


Figura 11.- Contribución de los tratamientos al cambio en el Índice de Estabilidad para cada clase de agregado.

La figura 11 muestra la diferencia en el WSSI obtenido de floración a cosecha para cada tratamiento en las distintas clases de agregados. Se puede observar como en todos los tratamientos se incrementa el WSSI en la fracción de agregados de 2 mm, aunque es notorio que en la adición de lombricomposta se encuentran las diferencias más altas. En las fracciones de 0.5 y 0.25 mm se encuentra que las diferencias son menores, e incluso muestran divergencia entre tratamientos, así la presencia de HMA junto con lombricomposta propició una menor estabilidad en la fracción de 0.5 mm, mientras que fue el tratamiento en el que se encontraron los valores más altos en la fracción de 0.25 mm. La fracción de 63 μ m se muestra disminuida en el tratamiento de lombricomposta + HMA y en el testigo.

De manera general se puede proponer que la actividad biológica durante el ciclo del cultivo, propician la formación de macroagregados, los cuales evidentemente se forman a partir de la unión de microagregados, de aquí que se muestre la disminución en

la fracción de 63 micras. De acuerdo con Nichols y Toro (2011) y Nichols y Millar (2013), no existe una relación ideal de valores entre macro y microagregados, sino que depende de las condiciones particulares del suelo y su manejo, aunque reconocen que la actividad micorrízica y la producción de glomalina como un elemento primordial en la formación de agregados estables, son sensibles a la exudación de compuestos orgánicos por la planta y particularmente por el disturbio del suelo. En este sentido, se considera importante la evaluación de estas prácticas en sistemas de labranza mínima o de reincorporación de materia orgánica como práctica continua.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados la lombricomposta por si sola propicia la formación de frutos de mayor tamaño y peso, así como el número de frutos por metro, sin embargo el uso de la micorriza arbuscular favoreció que el fruto presentara una mayor acumulación de azúcar (°Brix). Con respecto de la influencia en la agregación del suelo, la lombricomposta y la inoculación con HMA favorecen la formación de macroagregados estables al agua, a partir de los microagregados de diámetro menor a 63 micras.

Con la idea de proponer la generalización de las prácticas de cultivo aquí evaluadas, es necesario afinar los protocolos de manejo cultural para alcanzar los rendimientos comerciales, de manera que no signifique para el productor la decisión entre mejorar sus condiciones de suelo o tener rendimientos más redituables.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilera-Gómez L.I., V.O. Portugal, M.R. Arriaga, y R. Contreras-Alonso. 2007. Micorrizas arbusculares. *Ciencias Ergo Sum* 14(3):300-306.
- ASERCA. 2000. El melón mexicano; Ejemplo de tecnología aplicada. *Revista Claridades Agropecuarias*# 84. México, D.F.
- Azcon-Bieto J. y M. Talon. 2008. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2ª Ed. McGraw-Hill Interamericana.
- Bedini, S., E. Pellegrino, L. Avio, S. Pellegrini, P. Bazzoffi, E. Argese y M. Giovannetti. 2009. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. *Soil Biology and Biochemistry* 41(7):1491-1496.
- Brachmann, A., y M. Parniske. 2006. The most widespread symbiosis on earth. *PLOS Biology* 4, 1111-1112.
- Camarena-Gutiérrez G. 2012. Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 18(3):409-421.
- Capulín G.J., E.R. Núñez, JP Sánchez, GA Martínez, HM Soto. 2005. Producción de jitomate con estiércol líquido de bovino acidulado con ácidos orgánicos e inorgánicos. *Terra Latinoam*. 23: 241-247.
- 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(1): 47-53.
- Espinoza A.J., M. Lozada, y S. Leyva. 2011. Posibilidades y restricciones para la exportación de melón cantaloupe producido en el municipio de Mapimí, Dgo., México al mercado de los Estados Unidos. *Revista Mexicana de Agronegocios*. XV: 593-604.

- Figuroa Viramontes R., C. Vazquez, S. Berumen, R. Zuñiga Tarango, I. Orona, A. Gallegos Ponce. 2010. Desarrollo del cultivo de tomate con diferentes tipos de estiércol y dos métodos de composteo bajo condiciones de un invernadero rústico en la comarca lagunera. *En*: García-Hernández, J.L., E. Salazar, I. Orona, M. Fortis, I. Trejo. (Eds.) Agricultura orgánica. Durango, México. Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Flores, A., M.C. González, A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato. 1995. Bio-producción de melón en campo. *Rev. Chapingo S. Hort.* 4:83- 88.
- García G.R., L. Dendooven y M.F.A. Gutiérrez. 2008. Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian J. Plant Sci.* 7: 360-367.
- Gentili F. y A. Jumpponen. 2006. Potential and possible uses of bacterial and fungal Biofertilizers. *En*: Rai K. (Ed.) Handbook of microbial biofertilizers. Food Products Press. New York
- Giovanetti, M., y B. Mosse. 1980. An evolution of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytol.* 84:489-500.
- Guadarrama R. O. y S. M. Taboada 2004. La lombricultura, una propuesta al medio rural. Memorias del Primer Congreso Internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. Guadalajara, Jal. Méx.
- Gupta, U., y J. Germida. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 20: 777-786.
- Gutiérrez O.V.F., C.B.I. Cabrera, M.C.C. Nafate, R.R. Rincón, L.M.A. Oliva, L. Dendooven y M.F.A. Gutiérrez. 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial population in a paddy fields. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1317-1320.
- Hamel, C. y C. Plenchette. 2006. Mycorrhizae in Crop Production. Haworth Food & Agricultural Products Press.
- Hargreaves J., M.S. Adla, P.R. Warman y H.P.V. Rupasinghe. 2008. The effects of organic amendments on mineral element uptake and fruit quality of raspberries. *Plant Soil* 308: 213-226.

- Hargreaves J.C., M.S. Adla y P.R. Warman. 2009. Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *J. Sci. Food Agric* 89: 390-397.
- Harrison, M.J. 2005. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Microbiology* 59, 19-42.
- Herrera-Peraza R. A., E. Furrázola, R. L. Ferrer, R. Fernández-Valle y Y. Torres-Arias. 2004. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC, Ciencias Biológicas* 35:113-123.
- <http://fupronay.org.mx/folleto%20tecnico/LOMBRICOMPOSTA%20INF.pdf>
- <http://www.horto.info.es/index.php/noticias/3568-hortalizas-mundo-060614>.
- [http://www.rijkzwaanusa.com/wps/wcm/connect/RZ+USA/Rijk+Zwaan/Products_and_Services/Products/Crops/Melon?pcpage=3&frm=1&varname=CARIBBEAN KING RZF1\(34-757\)&his=c293LHVuZGVmaW5lZCwwO2hhcnYsdW5kZWZpbmVkJDA7cGxhbnQsdW5kZWZpbmVkJDA7cmFkaW9zY2hlZCxoYXJ2LDA7](http://www.rijkzwaanusa.com/wps/wcm/connect/RZ+USA/Rijk+Zwaan/Products_and_Services/Products/Crops/Melon?pcpage=3&frm=1&varname=CARIBBEAN KING RZF1(34-757)&his=c293LHVuZGVmaW5lZCwwO2hhcnYsdW5kZWZpbmVkJDA7cGxhbnQsdW5kZWZpbmVkJDA7cmFkaW9zY2hlZCxoYXJ2LDA7)
- Jakšik O., R. Kodešová, A. Kubiš, I. Stehlíková, O. Drábek y A. Kapička. 2015. Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. *Catena* 127:287-299.
- Jarecki M.K. y R.P. Voroney. 2005. Evaluation of compost leachates for plant growth on hydroponic culture. *J.Plant Nutr.* 28: 651-667.
- Karagiannidis, N., y N. Nikolaou. 1999. Arbuscular mycorrhizal root infection as an important factor of grapevine nutrition status. Multivariate analysis application for evaluation and characterization of the leaf and soil parameters. *Agrochimica* 43:151-165.
- Márquez-Hernández C., P. Cano-Ríos, J.L. García-Hernández, N. Rodríguez-Dimas, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Resendez, E. Salazar-Sosa, G. Castañeda-Gaytan, E. De La Cruz Lázaro. 2010. Agricultura orgánica: el caso de México. *En* García-Hernández, J.L., E. Salazar, I. Orona, M. Fortis, I. Trejo. (Eds.) *Agricultura orgánica*. Durango, México. Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Martínez C.C. 2003. *Abonos Orgánicos: Origen, Usos y Aplicación*. Secretaría de Desarrollo Social del Gobierno del Estado de Chiapas. Dirección de Promoción Social. Chiapas México.

- Milleret, R., R.C., Le Bayon y J.M. Gobat. 2009. Root, mycorrhiza and earthworm interactions: their effects on soil structuring processes, plant and soil nutrient concentration and plant biomass. *J Plant and Soil*. 316: 1-12.
- Morales Munguía J.C., M.V. Fernández Ramírez, A. Montiel Cota y B.C. Peralta Beltrán. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *Biotecnica*, XI(1):19-26.
- Nichols, K.A. 2008. Indirect contributions of AM fungi and soil aggregation to plant growth and protection. *En: Siddiqui Z.A., M. S. Aktar K. Futai (eds). Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer-Verlag.
- Nichols K.A. y J Millar. 2013. Glomalin and soil aggregation under six management systems in the Northern Great Plains, USA. *Open Journal of Soil Science*, 3, 374-378.
- Nichols, K.A. y M. Toro. 2011. A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil & Tillage Research* 111:99-104.
- Nimmo J.R., y K.S. Perkins. 2002. Aggregate Stability and Size Distribution, *En: Dane J.H y G.C. Topp (Eds.) Methods of Soil Analysis, Part4- Physical Methods: Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America* p.317-328.
- Ochoa M.E., V.U. Figueroa, R.P. Cano R.P. Preciado, R.A. Moreno y DN Rodríguez. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mili.) en invernadero. *Rev. Chapingo Serie. Horticultura*. 15: 245-250.
- Padilla, E., M. Esqueda, A. Sánchez, R. Troncoso Rojas y A. Sánchez. 2006. Efecto de biofertilizantes en cultivo de melón con acolchado plástico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:321-329.
- Pant AP, T.J.K. Radovich, N.V. Hue, S.T. Talcott y K.A. Krenek 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. *J. Sci. Food Agric*. 89: 2383-2392.
- Panwar J., R.S.Yadav, y J.C. Tarafdar. 2008. Arbuscular micorrhizae: A dynamic microsymbiont for sustainable agriculture. *En: Siddiqui Z.A., M. S. Aktar, K. Futai (eds). Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer-Verlag.

- Preciado P., Sánchez, F., Velazco, V. A., Frías, J., Fortis, M., García, J.L., Rueda, E.O., Márquez y Cándido. 2010. Soluciones nutritivas preparadas con fuentes orgánicas de fertilización. *En: García-Hernández, J.L., E. Salazar, I. Orona, M. Fortis, I. Trejo. (Eds.) Agricultura orgánica. Durango, México. Universidad Juárez del Estado de Durango.*
- Preciado P., M.Fortis, J. L García, E.Rueda, J.R.Esparza, A.Lara, , M. A. Segura y J. Orozco. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia 36 (9): 689-693.*
- Porta Casanellas, J., M. López-Acevedo y C. Roquero de Laburu. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2da Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España.*
- Powell, J.R. y J.N. Klironomos. 2007. Ecology of plant-microbial interactions. *En: Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry, 3rd edition (E.A. Paul, editor). Pg 257-281. Academic Press, Burlington.*
- Price, N.S., R.W. Roncadori y R.S. Hussey, 1989. Cotton root growth as influenced by phosphorus nutrition and vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytologist 111: 61-66.*
- Purin, S. y M.C. Rillig. 2008. Immuno-cytolocalization of glomalin in the mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Soil Biology & Biochemistry. 40, 1000– 1003.*
- Qiang-Sheng W., Z.Yan Li, H.Ying-Zou y Xin-Hua. 2015. Arbuscular mycorrhiza mediates glomalin-related soil protein production and soil enzyme activity in the rhizosphere of trifoliolate orange grown under different P levels. *Mycorrhiza 25:121-130.*
- Rai K.M. 2006. *Handbook of microbial biofertilizers. Food Products Press. New York.*
- Sandoval-Estrada, M., N. Stolpe-Lau, E. Zagal-Venegas, M. Mardones-Flores, y J. Celis-Hidalgo. 2008. Aporte de carbono orgánico de la labranza cero y su impacto en la estructura de un andisol de la precordillera andina chilena. *Agrociencia 42: 139-149.*
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2010. *Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). México. SAGARPA.*

- Schüßler, A., D. Schwarzott, y C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
- SIAP. 2015. Cierre de la producción agrícola por estado 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> Consultada 16 de septiembre 2015.
- Siddiqui Z.A., y J. Pichtel. 2008. Micorrhizae: an Overview. *En*: Siddiqui Z.A., M. S. Aktar y K. Futai (Eds). *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer-Verlag.
- Smith, S. E., y D.J. Read, 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3 Ed. Academic Press. San Diego, USA.
- Six, J., K. Paustian, E. Elliott, y C. Combrink. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.
- Tisdall, J., y J. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163..
- Vandermeer J.H. 2009. *The ecology of agroecosystems*. Jones & Bartlett Learning. USA.
- Wright S. F. y A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198:97-107.
- Xu P., L.Z. Liang, X.Y Dong y Shen R:F. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on aggregate stability of a clay soil inoculated with two different host plants. *Acta Agriculturae Scandinavica section B-Soil and Plant Science* 65(1):23-29.

T-166032