

INFLUENCIA DE LOS ÁCIDOS FÚLVICOS SOBRE LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS Y LA RAÍZ DE MELÓN EN CASA SOMBRA

Luis Antonio Rosales Serrano, Miguel Ángel Segura Castruita, Guillermo González Cervantes, María del Carmen Potisek Talavera, Jorge Arnaldo Orozco Vidal y Pablo Preciado Rangel

RESUMEN

La leonardita es una forma oxidada de carbón proveniente de lignita de materiales orgánicos fosilizados y es utilizada para extraer ácidos fúlvicos (AF). La adición de AF mejora la estructura del suelo, pero el comportamiento de la misma es escaso. El objetivo del presente estudio fue determinar la influencia de AF obtenidos de leonardita en el incremento de la estabilidad de agregados de un Aridisol bajo condiciones de casa sombra y evaluar la morfología del xilema de la parte radicular durante el desarrollo fenológico de plantas de melón (*Cucumis melo L.*). Se compararon tres

tratamientos: suelo sin aplicación de ácidos fúlvicos (AF0), aplicación de ácidos fúlvicos a pH6 (AF6) y de ácidos fúlvicos a pH7 (AF7). Las variables evaluadas fueron: a) estabilidad de agregados (Ea), b) densidad aparente (Da) y c) desarrollo y cuantificación del área xilemática. Los resultados mostraron diferencias significativas en la estabilidad de agregados y un aumento en el área xilemática de la raíz. Con la aplicación de AF7 se obtuvieron los mejores resultados para la estabilidad de los agregados y los conductos xilemáticos.

Introducción

El deterioro de los recursos naturales en regiones áridas y semiáridas, resultado de prácticas de producción agrícola intensiva, ha llevado a la implementación de alternativas de manejo para un uso sustentable del ecosistema (DeFries *et al.*, 2004; Arroita *et al.*, 2013). La utilización de invernaderos o casas sombras son algunas opciones que se utilizan para hacer un uso eficiente de los recursos (Liu *et al.*, 2008), así como el uso de enmiendas orgánicas para optimizar las propiedades físicas y químicas del suelo para el desarrollo de los cultivos (Alagöz y Yilmaz, 2009), donde las

sustancias húmicas juegan un papel preponderante (Bastida *et al.*, 2012). Algunas de estas sustancias son los ácidos fúlvicos (AF), compuestos de bajo peso molecular (900-5000Da) que contienen carbono orgánico (43-52%), oxhidrilos y grupos fenólicos (Schnitzer, 2000; Fernández, 2003; Aimin *et al.*, 2008). Estos ácidos se obtienen durante el proceso de humificación de la materia orgánica (Meléndez, 2003) y también se han obtenido de materiales orgánicos fosilizados, como turbas y lignitos provenientes de minas de carbón (Rivero *et al.*, 2004). Una forma oxidada de lignitos de carbón denominada 'leonardita' en honor a Arthur Gray Leonard, quien

fue el primero en estudiar sus propiedades (Oikos Solution, 2012), se ha utilizado para la extracción de AF en los últimos años (Sugier *et al.*, 2013). No obstante, el efecto de la adición de AF de leonardita en el suelo y por ende en su estructuración y estabilidad de agregados, ha sido escasamente estudiado (López *et al.*, 2006).

La importancia de los AF en el suelo radica en el mantenimiento de cationes en forma disponible para las plantas, además de favorecer su transporte hacia la raíz (Bongiovanni y Lobartini, 2009). Dan estabilidad a los agregados del suelo (Lao *et al.*, 2005; López *et al.*,

2006; Abiven *et al.*, 2009; Boon, 2012); sin embargo, su acción estabilizante depende de la naturaleza del material de origen (Zhang *et al.*, 2013), la composición química de los AF y los grupos funcionales que presenten en su estructura molecular (Zhang *et al.*, 2012), así como del clima (Spaccini *et al.*, 2002). Los agregados o peds son unidades secundarias de diferentes tamaños, productos del ordenamiento de los granos minerales individuales (arena, limo y arcilla) y la materia orgánica, definidos como estructura del suelo (Porta *et al.*, 2010). La agregación del suelo se inicia con la formación de

PALABRAS CLAVE / Ácidos Fúlvicos / *Cucumis melo* / Enmiendas Orgánicas / Estructura del Suelo / Leonardita / Sustancias Húmicas /

Recibido: 01/02/2014. Modificado: 10/03/2015. Aceptado: 14/03/2015.

Luis Antonio Rosales Serrano. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México; Estudiante M.Cs. en Suelos, Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), México.
Miguel Ángel Segura Castruita. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Chapingo (UACh), México. M.Cs. en

Edafología y D.Cs., Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor Investigador, ITT, México. Dirección: Carretera Torreón-San Pedro Km 7.5, Ejido Ana, Torreón Coahuila, México. C.P. 27170. e-mail: dmily5@hotmail.com
Guillermo González Cervantes. Ingeniero Agrónomo y M.Cs. en Física de Suelos, UAAAN,

México. M.Sc. en Ciencias del Suelo, Rennes, Francia. D.Cs. de la Tierra y Ambientales, Angers, Francia. Investigador, INIFAP, México.

María del Carmen Potisek Talavera. Investigadora, INIFAP, México. Químico Industrial, Universidad Autónoma de Coahuila, México. M.Cs. en Suelos, UAAAN, México.

Jorge Arnaldo Orozco Vidal. Ingeniero Agrónomo y M.Cs. en Suelos, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México. D.Cs., UAAAN, México. Profesor Investigador, ITT, México.

Pablo Preciado Rangel. Ingeniero Agrónomo y M.Cs. en Suelos, UAAAN, México. D.Cs., COLPOS, México. Profesor Investigador, ITT, México.

INFLUENCE OF FULVIC ACID ON THE STABILITY OF AGGREGATES AND MELON ROOT IN SHADOW-HOUSE

Luis Antonio Rosales Serrano, Miguel Ángel Segura Castruita, Guillermo González Cervantes, María del Carmen Potisek Talavera, Jorge Arnaldo Orozco Vidal and Pablo Preciado Rangel

SUMMARY

Leonardite is an oxidized form of lignite carbon, which is obtained from fossilized organic materials and is used for the extraction of fulvic acids (FA). The addition of FA improves soil structure, but the behavior of the structure after adding FA is scarcely known. The objectives of this study were to determine the influence of fulvic acids derived from leonardite in increasing aggregate stability in a Calcisol under shade house conditions, and to evaluate the morphology of the root xylem during the phenological development

of melon plants (Cucumis melo L.). Three treatments were compared: soil without FA solution application (FA0), FA solution at pH6 (FA6) and at pH7 (FA7). Aggregate stability (As) and bulk density (Bd) were evaluated as soil variables, whereas, in plants, development and xylem area were determined. Results showed statistically significant differences in aggregate stability, as well as an increase in the root xylem area. Application of FA7 led to better results in As and xylem conduits.

INFLUÊNCIA DOS ÁCIDOS FÚLVICOS SOBRE A ESTABILIDADE DE AGREGADOS E A RAÍZ DE MELÃO EM CASA DE SOMBRA

Luis Antonio Rosales Serrano, Miguel Ángel Segura Castruita, Guillermo González Cervantes, María del Carmen Potisek Talavera, Jorge Arnaldo Orozco Vidal e Pablo Preciado Rangel

RESUMO

A leonardite é uma forma oxidada de carvão proveniente de lignite de materiais orgânicos fossilizados e é utilizada para extrair ácidos fúlvicos (AF). A adição de AF melhora a estrutura do solo, mas o comportamento da mesma é escasso. O objetivo do presente estudo foi determinar a influência de AF obtidos de leonardita no incremento da estabilidade de agregados de um Aridisol, sob condições de casa de sombra e avaliar a morfologia do xilema da parte radicular durante o desenvolvimento fenológico de plantas de melão (Cucumis melo L.). Compararam-se três tratamentos: solo sem aplicação de ácidos

fúlvicos (AF0), aplicação de ácidos fúlvicos a pH6 (AF6) e de ácidos fúlvicos a pH7 (AF7). As variáveis avaliadas foram: a) estabilidade de agregados (Ea), b) densidade aparente (Da) e c) desenvolvimento e quantificação da área xilemática. Os resultados mostraram diferenças significativas na estabilidade de agregados e um aumento na área xilemática da raiz. Com a aplicação de AF7 se obtiveram os melhores resultados para a estabilidade dos agregados e os condutos xilemáticos; no entanto, se apresentaram valores menores em longitude de raiz em relação a AF6.

complejos organo-minerales, por la unión de arcillas con grupos funcionales del humus mediante cationes bi- o polivalentes que actúan como puentes o agentes cementantes entre los compuestos inorgánicos y orgánicos (López *et al.*, 2006) de tal manera que la presencia o ausencia de los AF es importante para la formación y estabilidad de los agregados (Ramírez y Zapata, 2010). Al tener agregados estables en el suelo se favorece a la retención de humedad y aireación (Bronick y Lal, 2005) lo que conlleva al desarrollo de la raíz de las plantas (Gutschick y Simonneau, 2002) y a su vez el desarrollo de los cultivos. Por ello, la raíz puede ser un indicador de las características que tiene el ambiente en

el que se desarrolla la planta, ya sea de la disponibilidad de nutrimentos o la humedad (Ahmadi *et al.*, 2010).

La raíz está compuesta por dos tejidos vasculares; xilema y el floema (Campbell y Reece, 2007). El floema es un tejido vivo que transporta agua y solutos (tanto orgánicos como inorgánicos), mientras que los vasos del xilema consisten de células muertas que transportan agua y solutos inorgánicos (Miqueloto *et al.*, 2014). En la mayoría de las plantas, el xilema constituye la parte más larga de la ruta del transporte de agua; comparada con la compleja ruta a través de los tejidos radicales, la del xilema es una ruta sencilla de baja resistencia (Taiz y Zeiger, 2006). No obstante, en la etapa de fructificación de los cultivos

existe una pérdida de xilema debida a una disminución en nutrimentos como Ca, Mg, K y N (Miqueloto *et al.*, 2014); sin embargo, el efecto de la adición de AF en el comportamiento del xilema durante el desarrollo fenológico de cultivos ha sido escasamente reportado.

Las Cucurbitaceae, que incluyen un importante cultivo hortícola como es el melón (*Cucumis melo* L.), comprenden 15 tribus, con 942-978 especies de 95 géneros (Tanaka *et al.*, 2013). El melón es uno de los cultivos de mayor importancia económica y social en México, teniendo un rendimiento promedio de 29,4t·ha⁻¹ y, dependiendo del precio, el valor de la producción varía entre 25000 y \$120000 MXN/ha y genera ~120 jornales/ha (Arellano

et al., 2011). Sin embargo, al analizar la pérdida de xilema durante la fructificación (Miqueloto *et al.*, 2014) sería factible que mediante manejo adecuado esta pérdida no se presente, lo que significaría un incremento del rendimiento. Al considerar el efecto de los AF en el suelo, es probable que al agregar estos ácidos, obtenidos a partir de leonardita, se incrementa la estabilidad de los agregados de un suelo bajo condiciones de casa sombra; así como también, así como que el xilema de la parte radicular de especies hortícolas como el melón se mantenga sin cambio durante su desarrollo fenológico. Por lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron determinar la influencia de ácidos fúlvicos obtenidos de leonardita en el incremento de la estabilidad de

agregados de un aridisol bajo condiciones de casa sombra y evaluar la morfología del xilema de la parte radicular durante el desarrollo fenológico de una planta hortícola, el melón (*Cucumis melo* L.).

Materiales y Métodos

Sitio experimental

El estudio se realizó en una casa sombra de 300m² de superficie, localizada en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA) del Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP), en el municipio de Gómez Palacio, Durango, México, ubicado a 25°58'57"N y 103°45'17"O y 1138msnm. El clima local es Bw (h) hw (e), que corresponde a un seco desértico cálido con régimen de lluvias en verano y oscilación extrema. La precipitación total anual promedio es de 250mm, concentrada de junio a setiembre. Esta precipitación contrasta con la evaporación media anual de 2400mm (García, 1988). El material parental que dio origen a los suelos son sedimentos aluviales del cuaternario (INEGI, 1988). El suelo es un Calcisol eutri-arídico, con bajo contenido de materia orgánica (0,7-1,6%), conductividad eléctrica de 2,1dS·m⁻¹ y una clase textural franco arenosa (Álvarez, 2010).

Origen del material experimental y aplicación

Los ácidos fúlvicos (AF) utilizados en el experimento se obtuvieron del producto comercial *Organic Field*, el cual una solución con 36,04% AF y el resto (63,96%) de ingredientes inertes, con un pH de 2,7. El pH se llevó a valores de 6 y de 7, considerando las recomendaciones del fabricante ya que el producto comercial se desempeña de forma óptima a un pH entre 6,5 y 7,5 (CB Marketing Group®, 2009). Se empleó NaOH 1N para incrementar el pH y se ajustó a los

valores deseados con sulfato ferroso (FeSO₄) 1N, revisando los valores con un potenciómetro marca pH500A CLEAN Instruments -OStriders®. El AF fue aplicado como una solución del producto comercial diluido en agua en relación de 1:250. La solución se aplicó en forma manual, en cantidad de un litro por planta, que se administró en dos ocasiones: la primera al inicio del experimento y la segunda a los 25 días después, de acuerdo a la recomendación del fabricante.

Material vegetal

Para la evaluación del desarrollo del xilema de raíz de una planta hortícola, se utilizaron plantas de melón (*Cucumis melo* L.) de la variedad Crusier. La preparación del terreno y el manejo del cultivo se realizaron de acuerdo al paquete tecnológico propuesto por INIFAP (2012). Nueve camas meloneras que constituyeron las unidades experimentales, fueron preparadas dentro de la casa sombra. La distancia entre camas fue de 1,6m de ancho y una longitud de 20m. El trasplante en la cama se realizó a doble hilera, con una distancia entre hileras de 0,60m y entre plantas de 0,30m.

Diseño experimental

Para conocer la influencia que tuvo la aplicación de los ácidos fúlvicos a distintos pH en este experimento sobre la estabilidad de agregados, se tuvo un diseño completamente al azar, con tres tratamientos (sin aplicación de ácidos fúlvicos (AF0), ácidos fúlvicos a pH6 (AF6) y ácidos fúlvicos a pH7 (AF7) con tres repeticiones, distribuidos aleatoriamente en las camas (uno por cama).

Variables a evaluar y muestreo

Se evaluaron dos variables físicas del suelo: densidad aparente (Da) y estabilidad de agregados (Ea), las cuales se seleccionaron por ser factores

importantes en la calidad del suelo, además de permitir verificar el efecto aglutinante de los AF en la estabilidad de los agregados y el incremento de la porosidad (Zagall y Córdova, 2005). Para ello, muestras de suelo de la capa superficial (0-30cm de profundidad) en tres puntos distribuidos en forma aleatoria en cada tratamiento, tal como lo realizaron Mendoza-Cortez *et al.* (2014), fueron colectadas en tres fechas diferentes: 0, 30 y 45 días después del trasplante (ddt). Las muestras fueron secadas a la sombra y a temperatura ambiente. La Da se determinó por el método de la parafina (Van Reeuwijk, 2002) y para la Ea se utilizó la técnica descrita en USDA (2009).

Aparte se estudio el comportamiento del xilema de la raíz de melón con el fin de verificar el desarrollo de este órgano vegetativo (Díaz *et al.*, 2008). La raíz de melón se obtuvo mediante dos muestreos destructivos de la planta, en las etapas vegetativas de floración y fructificación (a los 30 y 45 ddt). Fragmentos de la raíz principal de 10cm de largo, medidos a partir de la base del tallo, fueron obtenidos de tres plantas de melón en cada muestreo que se colectaron aleatoriamente en cada tratamiento, tal como lo establecen Mendoza-Cortez *et al.* (2014). Los fragmentos de raíz se dividieron en tres partes donde una de ellas correspondió a la parte media. En el centro de cada parte media se realizó un corte transversal de 2mm de ancho, el cual fue iluminado con luz incidente y fotografiado con una cámara digital Olympus CCD de 4Mpix. La caracterización morfológica de los cortes transversales del xilema se realizó según el tamaño, expresado por el área de su sección sobre la imagen descrita por la ecuación $T = 4\pi \times \text{área}$, agrupando tres clases de tamaño de conductos: pequeños, medianos y grandes (González *et al.*, 2004). Antes de la toma de la fotografía digital, un papel milimétrico (25×20mm) se colocó en la base de la platina

del microscopio a fin de calibrar el programa de análisis de la imagen. Las imágenes tuvieron una resolución 1µm² por pixel. El análisis de los conductos del xilema se realizó con la ayuda de un analizador ImagePro Plus® Ver. 6.0.0.260, como lo indican Sánchez *et al.* (2005), Segura *et al.* (2008) y Valenzuela *et al.* (2012).

Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en una prueba de medias de Tukey (P≤0,05), así como regresiones lineales simples entre las variables evaluadas, tratamientos y días después del trasplante. Se realizó una correlación de Pearson entre las variables evaluadas con el fin de establecer la significación estadística de la aplicación de los ácidos fúlvicos a distintos pH sobre la estabilidad de los agregados. Este análisis se realizó con el programa estadístico Minitab® Ver. 16.2.3, para Windows (Minitab, 2013).

Resultados y Discusión

Estabilidad de agregados

El suelo tuvo una estabilidad de agregados de ~1,13% al inicio del experimento, observándose un incremento en la estabilidad en el segundo y tercer muestreo (30 y 45 ddt) en los tres tratamientos. En el caso del tratamiento donde no se agregaron ácidos fúlvicos (AF0), el incremento en la estabilidad (hasta 2,72%) se puede deber a los agentes cementantes que existen en el suelo (óxidos de Fe o carbonatos de Ca) que en condiciones de ausencia de material orgánico, actúan en el enlace de las partículas del suelo (Alagöz y Yilmaz, 2009). En cambio, en los tratamientos AF6 y AF7 se puede atribuir al efecto de los AF, ya que promueve la unión de partículas en cada etapa conforme transcurre el tiempo, debido a que las sustancias húmicas tienen un importante papel en la estructuración y estabilidad del suelo (Lozano *et al.*, 2011). Por otra parte, al

analizar las dosis aplicadas en cada etapa fenológica, los agregados con un diámetro de 0,5mm presentan las más grandes estabildades (de 5,24 a 7,67%) en el tratamiento con AF7, con diferencias de medias entre tratamientos (Tabla I) estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$), con respecto a los demás tratamientos.

Lo anterior se puede explicar por el incremento del pH en los AF. Al respecto Zhang *et al.* (2012) indican que el aumento del pH en el suelo favorece la unión de las arcillas silicatadas por enlaces entre cationes y los AF. El modelo de regresión lineal entre el tiempo transcurrido después del trasplante y la Ea mostró una tendencia positiva ($Ea = 1,3048 + 0,0917 ddt$; $R^2 = 0,6268$), independientemente del pH utilizado, lo cual indica que conforme pasa el tiempo la estabilidad se incrementa, como lo establecen Alagöz y Yilmaz (2009). Asimismo, cada tratamiento por separado tuvo efectos en la Ea, observándose una tendencia positiva (Figura 1), aunque entre tratamientos la razón de incremento cambia ($P \leq 0,05$), siendo mayor el tratamiento AF7

TABLA I
ESTABILIDAD DE AGREGADOS Y DENSIDAD APARENTE DE LOS TRATAMIENTOS

Tratamiento	Ea (%)	Da ($g\text{cm}^{-3}$)
AF0	2,72 c	1,52 a
AF6	3,62 ab	1,49 b
AF7	5,01 a	1,48 b

Medias con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0,05$).

TABLA II
CORRELACIONES ENTRE ÁCIDOS FÚLVICOS Y VARIABLES DE ESTUDIO

	Ea	Da	AF
Da	0,128 ns		
AF	0,478 **	0,210 ns	
ddt	0,586 **	0,67 ns	0,000 ns

** Correlación altamente significativa ($P \leq 0,05$), ns: no significativo.

(0,148), con $R^2 = 0,984$. Sin embargo, la estabilidad es muy baja (<30%) al considerar la clasificación de que proponen Lobo y Pulido (2006). Asimismo, el porcentaje de agregados estables permite evaluar la calidad del suelo (Alvear *et al.*, 2007; Aravena *et al.*, 2007), por lo cual el suelo en estudio tiene una mala estabilidad estructural, puesto que la estabilidad es <70% (Madero, 2003). Es probable que este comportamiento se haya presentado como consecuencia de la dosis y el número de aplicaciones que se dieron al suelo; de tal manera que si se aumentara la dosis y el número de aplicaciones, la estabilidad se incrementaría. Según Alagöz y Yilmaz (2009) la efectividad de las enmiendas orgánicas depende del número y la frecuencia de sus aplicaciones.

Aún cuando se tiene poco incremento en la Ea por efecto de la adición de AF, se presenta una disminución en la Da (Figura 2); es decir, cuando la Ea aumenta la Da disminuye (Meza y Geissert, 2003), aunque lo anterior se observó únicamente en los tratamientos con AF. Prieto *et al.* (2013) mencionan que la estabilidad de agregados es un indicador de la densidad aparente, lo cual en nuestro estudio se aplica sólo cuando se utilizan los AF, puesto que la correlación entre Ea y Da no es significativa (Tabla II). Asimismo, cuando se estableció la relación entre la Da con respecto al tiempo o ddt por tratamiento (Figura 3), se pudo observar que el AF7 presentó $R^2 = 0,8994$ y el análisis de varianza de la regresión ($P \leq 0,05$) indica que es estadísticamente significativa. Esto muestra que la Da disminuyó con respecto al tiempo al aplicar los AF a distinto pH; no obstante, nuevamente la correlación entre Da y ddt resultó no significativa (Tabla II). De acuerdo a Zavala *et al.* (2005) este efecto se presenta por el incremento de carbono orgánico en el suelo por efecto de enmiendas orgánicas, lo que influye en la disminución de la Da. En cambio en el AF0 se

observa una tendencia positiva, lo cual se puede deber a que al no existir aplicación de carbono orgánico por la adición de AF y al transcurrir el tiempo, el suelo se compacta provocando que la Da aumente (Sánchez *et al.*, 2003).

Raíz

La raíz principal presentó en este estudio una variación en

su diámetro promedio desde 2,4 y 2,6mm (floración), hasta 3,0 y 3,5mm (fructificación) conforme transcurre el tiempo en los tratamientos con AF (Tabla III); la raíz de las plantas del tratamiento AF6 tuvo el mayor diámetro, mientras que el menor fue del AF7. En cambio, en longitud de raíz, el AF7 fue más larga tanto en la etapa de floración (206mm) como en la fructificación

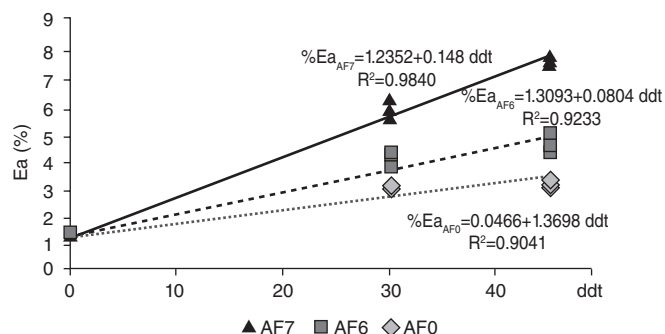


Figura 1. Relación entre la estabilidad de agregados del suelo (Ea) y el tiempo transcurrido después de la aplicación de soluciones con ácidos fúlvicos en el suelo (ddt).

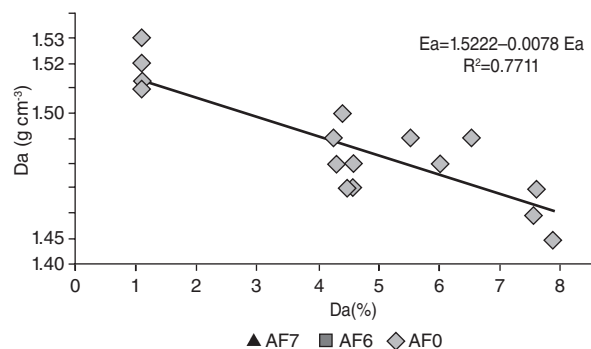


Figura 2. Relación entre la densidad aparente (Da) y la estabilidad de agregados (Ea) de un suelo después de adicionar soluciones de ácidos fúlvicos.

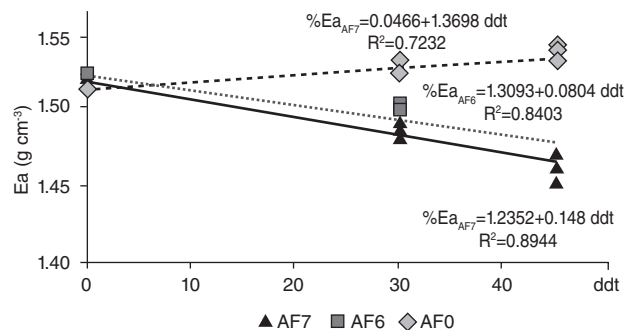


Figura 3. Relación entre la densidad aparente del suelo (Da) y el tiempo transcurrido (ddt) en función del pH de la solución de ácidos fúlvicos que se aplicó al suelo.

(349mm), seguida por el AF6 y AF0. López (2002) indica que las fracciones húmicas influyen en el crecimiento de diferentes partes de la planta, como la raíz; puesto que existe una estimulación del crecimiento en las raíces cuando se adicionan sustancias húmicas al suelo (Chen *et al.*, 2004), ya que estas sustancias provocan crecimiento celular y estimulan cambios morfológicos en las plantas, similares a los que inducen las auxinas (Domínguez *et al.*, 2010). Asimismo, Dobbss *et al.* (2007) concluyen que las sustancias húmicas pueden influir directamente sobre la fisiología de la planta, mayormente en el sistema radicular.

Xilema

La presencia de xilema en la raíz de las plantas de melón se pudo constatar; el área que ocupa muestra variaciones en cada etapa del cultivo y por tratamiento (Tabla IV). A los 30 ddt (floración) el tratamiento AF7 mostró el área más grande (3,93mm²), 100,5% mayor que el área del AF6, mientras que el AF0 tuvo la más pequeña (1,72mm²), tamaños que pueden considerarse como medianos (de 1-2mm²) para AF0 y AF6, mientras que el xilema de la raíz con el tratamiento a AF7 es grande

(>2mm²). Al analizar la etapa de fructificación (45ddt) el xilema de la raíz de las plantas del tratamiento AF7 disminuyó en un 285,3%, siendo entonces el tamaño del área del xilema mediano. En cambio, el área del xilema en AF0 y AF6 se incrementó con respecto a la floración (Figura 4). Al respecto, Torres *et al.* (2011) mencionan que el área de los vasos del xilema aumenta cuando existen enmiendas

orgánicas e incluso si la acidez del suelo disminuye (Chen *et al.*, 2010); de ahí la diferencia entre los tratamientos de AF6 y AF7. Por otra parte, la disminución en el área del xilema durante la fructificación se puede deber a una disminución en nutrimentos en el suelo (Miqueloto *et al.*, 2014) o por la asignación de fotosintatos a las diferentes partes de la planta, los cuales en esta etapa se canalizan al llenado

de frutos y no a la formación de estructuras de conducción (Orozco *et al.*, 2011). Tal situación no se observó en el AF0, pues el área de sus estructuras de conducción aumentó, mientras que el rendimiento decreció. Lo anterior se constató al verificar el rendimiento de los tratamientos, ya que aún cuando no se encontraron diferencias significativas, AF6 tuvo el de mayor rendimiento (Tabla IV), lo que sugiere que los ácidos fúlvicos ayudaron en la absorción y distribución de fotoasimilados, comportamiento que se debe a la actuación de estas sustancias como auxinas (Domínguez *et al.*, 2010). Sin embargo, es escasa la información que permita esclarecer lo anterior, por lo que se requiere mayor investigación en este aspecto.

Conclusiones

Los ácidos fúlvicos obtenidos a partir de leonardita incrementan la estabilidad de los agregados de suelos cultivados bajo condiciones de casa sombra. El pH de la solución de ácidos fúlvicos es un factor que influye en el efecto de éstos en el suelo, siendo mejor el que tiene un pH7, puesto que influye directamente en la estabilidad de agregados e inversamente en la densidad aparente del suelo. Sin embargo, aún cuando se incrementó la estabilidad de los agregados, éstos se consideran como inestables o de poca estabilidad. Por otra parte, la aplicación de este tipo de ácidos ayuda también en el desarrollo radicular de las plantas de melón, ya que promueve la longitud de la raíz e induce el incremento de sus xilemas, sin disminuirla en la etapa vegetativa de fructificación, donde el ácido fúlvico con pH 6 tuvo el mayor rendimiento (5,69kg·m⁻²). Aún cuando en este trabajo se demostró la influencia de los ácidos fúlvicos de origen mineral en la estabilidad de agregados, es necesario realizar estudios adicionales para verificar la efectividad de este tipo de ácidos en las características físicas y químicas del suelo y en el

TABLA III
PROMEDIOS DE DIÁMETRO DE LOS CORTES DE RAÍZ Y LONGITUD DE LA RAÍZ COMPLETA DE PLANTAS DE MELÓN EN DOS ETAPAS FENOLÓGICAS

Tratamiento	Floración (30 ddt)		Fructificación (45 ddt)	
	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
AF7	2,4	206	3,0	349
AF6	2,6	180	3,5	202
AF0	2,5	159	2,4	190

TABLA IV
ÁREA DEL XILEMA EN EL CORTE TRANSVERSAL DE LA RAÍZ PRINCIPAL EN DOS ETAPAS FENOLÓGICAS Y RENDIMIENTOS DE MELÓN

Tratamiento	Floración (mm ²)	Fructificación (mm ²)	Rendimiento (kg·m ⁻²)
AF7	3,93 a	1,02 b	4,65 a
AF6	1,96 b	2,19 a	5,69 a
AF0	1,72 b	2,26 a	4,22 a

Medias con la misma letra entre columnas son estadísticamente iguales (Tukey; P≤0,05).

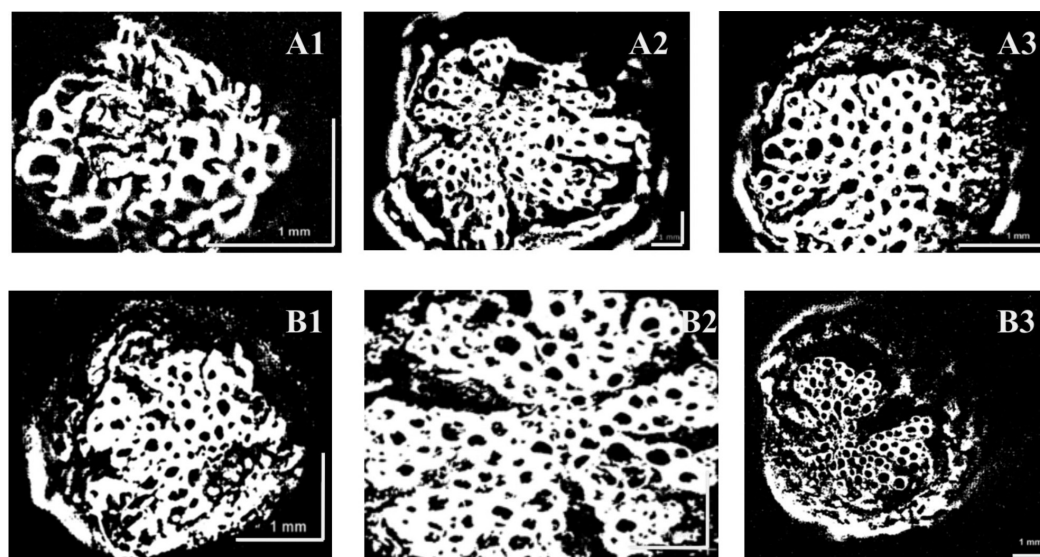


Figura 4. Microfotografías binarias del xilema de melón bajo tres tratamientos de ácidos fúlvicos en dos momentos, floración (A1: AF0, A2: AF6 y A3: AF7) y fructificación (B1: AF0, B2: AF6 y B3:AF7).

rendimiento de melón al incrementar la dosis y la frecuencia de aplicación.

REFERENCIAS

- Abiven S, Menasseri S, Chenu C (2009) The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A literature analysis. *Soil Biol. Biochem.* 41: 1-12.
- Ahmadi SH, Andersen MN, Plauborg F, Poulsen RT, Jensen CR, Sepaskhah AR, Hansen S (2010) Effects of irrigation strategies and soils on field-grown potatoes: Gas exchange and xylem. *Agric. Water Manag.* 97: 1486-1494.
- Aimin LI, Minjuan X, Wenhui LI, Xuejun W, Jingyu D (2008) Adsorption characterizations of fulvic acid fractions onto kaolinite. *J. Environ. Sci.* 20: 528-535.
- Alagöz Z, Yilmaz E (2009) Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: A laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey. *Soil Till. Res.* 103: 419-424.
- Álvarez GLC (2010). El Arsénico en Cuatro Suelos de la Región Lagunera y su Relación con el Fósforo. Tesis. Instituto Tecnológico de Torreón. México. 84 pp.
- Alvear M, Reyes F, Morales A, Arriagada C, Reyes M (2007) Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecol. Austral* 17: 113-122.
- Aravena C, Diez MC, Gallardo F, Mora ML, Valentín C (2007) Utilización de lodo de la industria de celulosa y su efecto sobre las propiedades físico-químicas en suelos volcánicos degradados. *Cienc. Suelo Nutr. Veg.* 7: 1-14.
- Arellano J, Lozada M, Leyva S (2011) Posibilidades y restricciones para la exportación de melón cantaloupe producido en el municipio de Mapimí, Dgo., México al mercado de los Estados Unidos. *Rev. Mex. Agroneg.* 15: 593-604.
- Arroita M, Causapé J, Comín FA, Díez J, Jimenez JJ, Lacarta J, Lorente C, Merchán D, Muñiz S, Navarro E, Val J, Elosegí A (2013) Irrigation agriculture affects organic matter decomposition in semi-arid terrestrial and aquatic ecosystems. *J. Haz. Mat.* 263P: 139-145.
- Bastida F, Jindo K, Moreno JL, Hernández T, García C (2012) Effects of organic amendments on soil carbon fractions, enzyme activity and humus-enzyme complexes under semi-arid conditions. *Eur. J. Soil Biol.* 53: 94-102.
- Bongiovanni MD, Lobartini JC (2009) Efecto de sustancias orgánicas solubles del suelo sobre la absorción de hierro en plántulas de girasol. *Suelo* 27: 171-176.
- Boon SCT (2012) Aggregate stability of tropical soils in relation to their organic matter constituents and other soil properties. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 35: 135-148.
- Bronick CJ, Lal R (2005) Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Campbell NA, Reece JB (2007) *Biología*. 7ª ed. Médica Panamericana. p. 713.
- Casas FN, Cáez RG (2011) Cambios morfométricos y de calidad por aplicación de tres fuentes de calcio bajo tratamiento térmico suave en melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 10: 431-444.
- CB Marketing Group (2009) *Productos - Organic Field para Plantas*. www.cbm.com.mx/productos.htm
- Chen Y, De Mobili M, Aviad T (2004) Stimulating effects of humic substances on plant growth. En Magdoff FR Weil RR (Eds.) *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press. New York, EEUU. pp. 103-129.
- Chen L, Wu FH, Liu TW, Chen J, Li ZJ, Pei ZM, Zheng HL (2010) Soil acidity reconstruction based on tree ring information of a dominant species *Abies fabri* in the subalpine forest ecosystems in southwest China. *Environ. Pollut.* 158: 3219-3224.
- DeFries RS, Foley JA, Asner GP (2004) Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. *Front. Ecol. Environ.* 2: 249-257.
- Díaz B, Morales M, Cairo P, Rodríguez O, Jiménez R, Abreu I, Torres P, Dávila A (2008) Evaluación del manejo del suelo pardo mullido medianamente lavado a largo plazo a través de la razón de estratificación de la materia orgánica y el índice de calidad del suelo. *Centro Agric.* 35: 25-29.
- Díez JJ, García ME, Menéndez Y, Gil LA (1995) Relaciones hídricas en olmo y su posible implicación en la resistencia a *Ophiostoma novo-ulmi*. En *Mem. IV Congr. Luso-Español de Fisiología Vegetal*. Sociedad Española de Fisiología Vegetal. Estoril, Portugal. p. 65.
- Dobbbs LB, Medici LO, Peres LEP, Pino NLE, Rumjanek VM, Facxanha AR, Canellas LP (2007) Changes in root development of *Arabidopsis* promoted by organic matter from oxisols. *Ann. Appl. Biol.* 151: 199-211.
- Domínguez J, Lazcano C, Gómez BM (2010) Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zool. Mex.* (Nº Esp. 2): 359-371.
- Fernández ZM (2003) *Evaluación Agronómica de Sustancias Húmicas Derivadas de Humus De Lombriz*. www.inventati.org/columnanegra/ecoagricultura/wordpress/wp-content/uploads/2010/10/Humus.pdf
- García E (1988) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Offset Larios. México. 217 pp.
- González G, Sánchez I, García D (2004) Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. *Terra Latinoam.* 22: 279-287.
- Gutschick VP, Simonneau T (2002) Modelling stomatal conductance of field-grown sunflower under varying soil water content and leaf environment: comparison of three models of stomatal response to leaf environment and coupling with an abscisic acid-based model of stomatal response to soil drying. *Plant Cell Environ.* 25: 1423-1434.
- INIFAP (2012) *Paquetes Tecnológicos - Melón*. Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria. México. http://sites.securemgr.com/folder/11341/index.cfm?fuseaction=browse&id=2450992&pageid=55
- Lao C, Zeledon Z, Gamisans X, Solé M (2005) Sorption of Cd (II) and Pb(II) from aqueous solutions by a low-rank coal (leonardite). *Separ. Purif. Technol.* 45: 79-85.
- Liu P, Yang L, Yu SF, Liu ZH, Wei JL, Wang XJ, Wang YQ (2008) Evaluation on environmental quality of heavy metal contents in soils of vegetable green-houses in Shouguang City. *Res. Environ. Sci.* 21: 66-71.
- Lobo D, Pulido M (2006) *Métodos e Índices para evaluar la Estabilidad Estructural de los Suelos*. Instituto de Edafología. Universidad Central de Venezuela. 27 pp.
- López CR (2002) *Comportamiento de Sustancias Húmicas de Diverso Origen en la Física de un Suelo Limo-Arcilloso y en la Fisiología del Tomate*. Tesis Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". México. 124 pp.
- López CR, Gallegos TA, Peña CE, Reyes LA, Castro FR, Chávez GJFJ (2006) Substancias húmicas de origen diverso en algunas propiedades físicas de un suelo franco-arcilloso-limoso. *Terra Latinoam.* 24: 303-309.
- Lozano Z, Rivero C, Bravo C, Hernández HRM (2011) Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de coberturas. *Rev. Fac. Agron.* 28: 35-56.
- Madero E (2003) *Criterios para la Interpretación de Propiedades Físicas. Compactación y Cementación de Suelos*. Universidad Nacional de Colombia. http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/2057/lecciones/subleccion34.html
- Meléndez G, Soto G (2003) *Taller de Abonos Orgánicos-Residuos Orgánicos y la Materia Orgánica del Suelo*. www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%3C%Alnicos.pdf.
- Mendoza-Cortez JW, Cecilio FAB, Costa GL, Tavares OFH (2014) Crecimiento, acumulación de macronutrientes y producción de melón cantaloupe y amarillo. *Caatinga* 27: 72-82.
- Meza PE, Geissert KD (2003) Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruz*. 5: 57-61.
- Minitab (2013) Minitab Inc. State College, PA, EEUU. www.minitab.com/es-mx/products/minitab/ (Cons. 20/11/2013).
- Miqueloto A, Talamini ACV, Steffens CA, dos Santos A, Mitcham E (2014) Relationship between xylem functionality, calcium content and the incidence of bitter pit in apple fruit. *Sci. Hort.* 165: 319-323.
- Oikos Solution (2012) Qué es la leonardita? www.soiglobal.net/oikosolutions/uploaded/mod_documentos/La_Leonardita.pdf
- Porta CJ, Poch RM, López AMY (2010) *Introducción a la Edafología: Uso y Protección del Suelo*. MundiPrensa. México. 535 pp.
- Prieto MJ, Prieto GF Acevedo SOA, Méndez MMA (2013) Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agron. Mesoam.* 24:83-91.

- Ramírez PR, Zapata RN (2010) Influencia del tamaño de agregados del suelo, en el crecimiento de zanahoria (*Daucus carota L.*) cultivada en un andisol virgen de marinilla. 15 pp. www.unalmed.edu.co/~es-geocien/documentos/rramirez/influencia_del_tamano_de_agregados_del_suelo_en_el_crecimiento_de_zanahoria__daucus_carota_l_cultivada_en_un_andisol_virgen_de_marinilla.pdf VERIFICAR URL
- Rivero C, Senesi N, D'Orazio V (2004) *Los Ácidos Húmicos de Leonardita sobre las Características Espectropicas de la Materia Orgánica de un Suelo en la Cuenca del Lago de Valencia*. Instituto de Edafología. Universidad Central de Venezuela. pp. 134, 135.
- Sánchez HR, Ordaz CVM, Benedicto VGS, Hidalgo MCI, Palma LDJ (2005) Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricomposteo de cachaza y estiércol. *Interciencia* 30: 775-779.
- Sánchez VG, Obrador O JJ, Palma LDJ, Salgado GS (2003) Densidad aparente en un vertisol con diferentes agrosistemas. *Interciencia* 28: 347-351.
- Segura CMA, Preciado RP, González CG, Ernesto FJ, García LG, Orozco VJA, Sánchez ME (2008) Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia*, 33: 923-928.
- Schnitzer M (2000) A Life time perspective on the chemistry of soil organic matter. *Adv. Agron.* 68: 1-58.
- SEMARNAT (2002) *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf
- Spaccini R, Piccolo A, Mbagwu JSC, Zena TA, Igwe CA (2002) Influence of the addition of organic residues on carbohydrates content and structural stability of some highlands soils in Ethiopia. *Soil Use Manag.* 18: 404-411.
- Sugier D, Kołodziej B, Bielińska E (2013) The effect of leonardite application on *Arnica montana* L. yielding and chosen chemical properties and enzymatic activity of the soil. *J. Geochem. Explor.* 129: 76-81.
- Taiz L, Zeiger E (2006) *Fisiología Vegetal*. Edita. Castelló de la Plana, España. Vol. 1. pp. 88, 89, 91.
- Tanaka K, Akashi Y, Fukunaga K, Yamamoto T, Aierken Y, Nishida H, Long CL, Yoshino H, Sato Y, Kato K (2013) Diversification and genetic differentiation of cultivated melon inferred from sequence polymorphism in the chloroplast genome. *Breed. Sci.* 63: 183-196.
- Torres GJA, Benavides MA, Ramírez H, Robledo TV, González FJA, Díaz NV (2011) Aplicación de lodo industrial crudo en la producción de *Lilium* sp. en invernadero. *Terra Latinoam.* 29: 467-476.
- USDA (2009) *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual*. United States Department of Agriculture. Washington, EEUU. pp. 108-110.
- Valenzuela CP, Bustos AC, Lasserre, JP, Gacitúa EW (2012) Caracterización nanomecánica de la estructura celular y anatómica de *Eucalyptus nitens* y su relación con la frecuencia de grietas y rajaduras en madera redonda. *Maderas. Ciencia Tecnol.* 14: 321-327.
- Van Rheeuwijk LP (2002) *Procedures for Soil Analysis*. 6th ed. Tech. Pap. N° 9. ISRIC. Wageningen, Holanda. 99 pp.
- Zagal E, Córdova C (2005) Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un andisol cultivado. *Agric. Téc.* 65: 186-197.
- Zavala CJF, Gavi RRH, Adams SHR, Ferrera-Cerrato DJ, Palma-López DJ, Vaquera HY, Domínguez EJM (2005) Derrames de petróleo en suelos y adaptación de pastos tropicales en el activo cinco presidentes, Tabasco. *Terra Latinoam.* 23: 293-302.
- Zhang L, Luo L, Zhang S (2012) Integrated investigations on the adsorption mechanisms of fulvic and humic acids on three clay minerals. *Coll. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 406: 84-90.
- Zhang, W, Rattanadompol U, Li H, Bouchard D (2013) Effects of humic and fulvic acids on aggregation of aqu/nC60 nanoparticles. *Water Res.* 47: 1793-1802.