

## Efecto de ácidos húmicos de Leonardita en la estabilidad de agregados del suelo y raíces de melón en condiciones de invernadero

Effect of humic acids from Leonardite on the stability of soil aggregates and melon roots under greenhouse conditions

Gutiérrez C JL<sup>1</sup>, G González C<sup>2</sup>, MA Segura C<sup>3</sup>, I Sánchez C<sup>2</sup>, JA Orozco V<sup>3</sup>, M Fortis H<sup>3</sup>

**Resumen.** La Leonardita es una forma oxidada de lignitos de carbono que se obtiene de materiales orgánicos fosilizados. Este tipo de materiales se utilizan para la extracción de ácidos húmicos (AH). Aún cuando se conoce el resultado de la adición de AH de origen orgánico sobre la estructura del suelo, el comportamiento de la estructura después de agregar AH de Leonardita es escaso. Los objetivos de esta investigación fueron (1) determinar la influencia de ácidos húmicos obtenidos de Leonardita en el incremento de la estabilidad de agregados de un Aridisol bajo condiciones de invernadero, y (2) evaluar la morfología del xilema de la parte radical durante el desarrollo fenológico de plantas de melón (*Cucumis melo* L.). Tres tratamientos de aplicación de solución de AH al suelo fueron utilizados: suelo sin aplicación (AH0), o con aplicación de solución de AH de pH 6 (AH6) o pH 7 (AH7). La estabilidad de agregados (Ea) y la densidad aparente (Da) fueron evaluadas como variables edáficas. En las plantas se estudiaron el desarrollo y cuantificación del área xilemática. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas en la estabilidad de agregados. También hubo un aumento en el área xilemática de la raíz, y el mejor tratamiento fue cuando se aplicó la solución AH7. Los ácidos húmicos obtenidos a partir de Leonardita incrementaron la estabilidad de los agregados de suelos cultivados bajo condiciones de invernadero, y promovieron el desarrollo de conductos xilemáticos en la etapa de fructificación.

**Palabras clave:** Sustancias húmicas; Enmiendas orgánicas; Estructura del suelo.

**Abstract.** Leonardite is an oxidized form of lignite carbon, which is obtained from fossilized organic materials. Such materials are used for the extraction of humic acids (HA). The result of the addition of HA of organic origin on soil structure is known; however, the effects of adding HA of Leonardite on soil structure have been scarcely investigated. The objectives of this research were (1) to determine the influence of humic acids derived from Leonardite in increasing the aggregate stability of an Aridisol under greenhouse conditions, and (2) evaluate the morphology of the root xylem during the phenological development of melon plants (*Cucumis melo* L.). Three treatments of HA solution application to the soil were used: soil without solution application (HA0), and application of HA solution to the soil with pH 6 (HA6) or (HA7). Aggregate stability (As) and bulk density (Da) were evaluated as soil variables. Development and quantification of xylem area were studied on plants. There were significant differences in aggregate stability. Also, there was an increase in the root xylem area, and the best treatment was when AH7 solution was applied. Humic acids derived from Leonardite increased the stability of soil aggregates when plants grew under greenhouse conditions, and fostered the development of xylem conduits during the fruiting stage.

**Keywords:** Humic substances; Organic amendments; Soil structure.

<sup>1</sup>Estudiante MCs en Suelos DEPI Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro Km. 75 Ejido Ana. Torreón, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID-RASPA) Km. 6.5 margen derecha canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, México.

<sup>3</sup>DEPI Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro Km. 75 Ejido Ana. Torreón, Coahuila, México.

Address Correspondence to: Dr. Guillermo González Cervantes; e-mail: gonzalez.guillermo@inifap.gob.mx; Ing. José Arturo Carrillo Gutiérrez, e-mail: gutierrez\_101288@hotmail.com  
Recibido / Received 8.II.2014. Aceptado / Accepted 26.X.2014.

## INTRODUCCIÓN

El deterioro de los recursos naturales en regiones áridas y semiáridas, resultado de prácticas de producción agrícola intensivas, ha llevado a la implementación de alternativas de manejo para un uso sustentable del ecosistema (DeFries et al., 2004; Arroita et al., 2013). El empleo de invernaderos o casas sombras es una opción para hacer un uso eficiente de los recursos (Liu et al., 2008), así como la utilización de enmiendas orgánicas para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo bajo dichas condiciones (Alagöz y Yilmaz, 2009). Una de estas enmiendas son las sustancias húmicas (Bastida et al., 2012), dentro de las cuales están los ácidos Húmicos (AH) (Aimin et al., 2008). Los AH son sustancias coloidales con un alto grado de humificación y estructura compleja (Elizarraras et al., 2009), que contienen alrededor de 50 a 62% de carbono (Nieto, 2005). Estos ácidos son producto de (1) la humificación de la materia orgánica (<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias...C3%A1nicos.pdf>, 2012); (2) material orgánico fosilizado, como turbas y lignitos que provienen de minas de carbón (Rivero et al., 2004). La Leonardita es una forma oxidada de lignitos de carbón. Debe su nombre en honor al Dr. A.G. Leonard, primer científico que estudió las propiedades de esta sustancia ([http://www.soiglobal.net/.../La\\_Leonardita.pdf](http://www.soiglobal.net/.../La_Leonardita.pdf), 2012). La misma se ha utilizado para la extracción de AH en los últimos años (Sugier et al., 2013). La Leonardita es un material complejo constituido predominantemente de carbono (55% en peso), y materiales húmicos (moléculas orgánicas complejas como Carboxilos, Hidroxilos y Carbonilos). Los AH se encuentran principalmente entre estos materiales que pueden intervenir en los enlaces químicos en un compuesto (Schwarzenbach et al., 1993). Diferentes estudios han demostrado la capacidad adsorbente de metales pesados de la Leonardita (Lao et al., 2005.; Zeledón et al., 2005). Además, es un material de bajo costo (Zeledón et al., 2007). No obstante, el efecto de la adición de AH de Leonardita al suelo, y por ende en su estructuración y estabilidad de agregados, ha sido escasamente estudiado (López et al., 2006).

La importancia de los AH en el suelo radica en el mantenimiento de los cationes en forma disponibles para las plantas, además de favorecer su transporte hacia la raíz (Bongiovanni y Lobartini, 2009). También contribuyen a dar estabilidad a los agregados del suelo (Lao et al., 2005; López et al., 2006; Abiven et al., 2009; Boon, 2012). Sin embargo, la acción estabilizante de los ácidos, depende de la naturaleza del material de origen (Zhang et al., 2013), composición química de los AH, los grupos funcionales que presenten en su estructura molecular (Zhang et al., 2012) y del clima (Spaccini et al., 2002). Los agregados o peds son unidades secundarias de diferentes tamaños definidos como estructura del suelo, productos del ordenamiento de los granos minerales individuales (arena, limo y arcilla) y la materia orgánica (Porta et al., 2010). La agregación del suelo se inicia con la formación de complejos

órgano-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 esta manera, la presencia o ausencia de estos ácidos es importante para la formación y estabilidad de los agregados (<http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/...marinilla.pdf>, 2010). Bronick y Lal (2005) indicaron que la existencia de agregados estables en el suelo favorece la retención de humedad y aireación, lo que contribuye a un mejor desarrollo de las raíces de las plantas (Gutschick y Simonneau, 2002) y a su vez de los cultivos.

La raíz puede ser un indicador de las características que tiene el ambiente en el que se desarrolla; por ejemplo, de la disponibilidad de nutrientes o la humedad (Ahmadi et al., 2010). La raíz está compuesta por dos tejidos vasculares: xilema y floema (Campbell y Reece, 2007). El floema es un tejido vivo que conduce 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., 2013). En la mayoría de las plantas, el xilema constituye la parte más larga de la ruta del transporte de agua. Además, y 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 nutrientes como calcio, magnesio, potasio y nitrógeno (Miqueloto et al., 2013). El efecto de la adición de AH en el comportamiento del xilema durante el desarrollo fenológico de cultivos, sin embargo, ha sido escasamente reportado.

Las Cucurbitaceae comprenden 15 tribus, con alrededor de 942-978 especies de 95 géneros, e incluye un importante cultivo hortícola: el melón (*Cucumis melo* L.) (Tanaka et al., 2013). El melón es una fruta que se produce principalmente en China, Irán, Turquía, Estados Unidos y España (Casas y Cález, 2011), y México es el mayor productor en Latinoamérica (<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>, 2011). Debido a ello se considera como una fruta de gran importancia económica y social (Arellano et al., 2011). Sin embargo, al analizar la pérdida de xilema durante la fructificación (Miqueloto et al., 2014), sería deseable que esta pérdida no se presente mediante un manejo adecuado del cultivo; si esto se lograra, significaría un incremento en el rendimiento. Al considerar el efecto de los AH en el suelo, es probable que al agregar estos ácidos, obtenidos a partir de Leonardita, se incremente la estabilidad de los agregados del suelo bajo condiciones de invernadero. Asimismo, también es probable que el xilema de la parte radical de especies hortícolas se mantenga sin cambio durante su desarrollo fenológico. Los objetivos de este trabajo fueron (1) determinar el efecto de ácidos húmicos obtenidos de Leonardita en el incremento de la estabilidad de agregados de un aridisol bajo condiciones de invernadero, y (2) evaluar la morfología del xilema de la parte radical durante el desarrollo fenológico del melón (*Cucumis melo* L.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio experimental.** El estudio se realizó en un invernadero de 300 m<sup>2</sup> 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 (25° 58' N, 103°45' O, 1138 m.s.n.m.). El clima es seco desértico cálido [Bw (h') hw (e)] con un régimen de lluvias muy variable en verano. La precipitación total anual promedio es de 250 mm, concentrada en los meses de junio a septiembre. Esta precipitación contrasta con la evaporación media anual de 2400 mm (García, 1988). El material parental que dio origen a los suelos son sedimentos aluviales del Cuaternario [Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1988]. El suelo es un Calcisol eutrídico, con bajo contenido de materia orgánica (0,7 a 1,6%), conductividad eléctrica de 2,1 dS/m y textura franco arenosa (Álvarez, 2010).

**Origen del material experimental y aplicación.** Los ácidos húmicos de Leonardita que se utilizaron en este experimento se obtuvieron del producto comercial Organic Field para suelo (CB Marketing Group©). Este producto es una solución con ácidos húmicos (14,55%) e ingredientes inertes (85,45%), con un pH de 8,6. No obstante, el pH en el que el producto se desempeña de forma óptima es de 6,5 a 7,5. Por lo tanto, el pH fue ajustado en base a las recomendaciones del producto (CB Marketing Group©, 2009) adicionando Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1N, hasta llegar a un pH entre 6 y 7. Se utilizó un medidor de pH *pH500A* de la marca *CLEAN Instruments - Ostriders*©. La cantidad aplicada del producto al suelo fue de un litro de solución por planta, correspondiendo 4 mL de ácidos húmicos por 996 mL de agua. La cantidad y la periodicidad de aplicación se realizaron como lo recomienda el producto. La solución se aplicó en forma manual, en una cantidad de un litro por planta, que se administró en dos ocasiones en un lapso de veinticinco días (la primera al inicio del experimento, y la segunda luego de 25 días).

**Material vegetal.** Se evaluó el desarrollo del xilema radical en 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 (<http://sites.securemgr.com/folder11341/index...eid=55>, 2012).

**Diseño experimental.** El efecto de los ácidos húmicos sobre la estabilidad de los agregados se estudió usando un diseño completamente al azar con tres repeticiones en cada uno de tres tratamientos: sin ácido húmico (AH0), y con ácido húmico pH 6 (AH6) o ácido húmico pH 7 (AH7).

**Variables evaluadas y muestreo.** Se obtuvieron muestras de suelo de la capa superficial (0-30 cm de profundidad) en tres puntos distribuidos en forma aleatoria en cada tratamiento. Dicho muestreo se efectuó en tres fechas diferentes [a los 0, 30 y 45 días después de los tratamientos (ddt)]. Las muestras se secaron a la sombra y a temperatura ambiente. Las variables evaluadas fueron densidad aparente (Da), estabilidad de agregados (Ea), longitud de raíz y conducto xilemático. La Ea se obtuvo por la técnica del tamizado húmedo, la Da se determinó por el método de la parafina (USDA, 2009). Estas variables físicas fueron seleccionadas porque son indicadores de la calidad del suelo, y para verificar el efecto aglutinante de los AH (Zagall y Córdova, 2005).

El comportamiento del xilema de la raíz de melón se estudió con el fin de verificar el desarrollo de este órgano vegetativo (Díaz et al., 2008). La raíz de melón se obtuvo mediante dos destructivos muestreos de planta en las etapas fenológicas de floración y fructificación (a los 30 y 45 ddt). Primero se midió la longitud de la raíz con la ayuda de una cinta métrica, para posteriormente proceder a fragmentarla. Fragmentos de la raíz principal (10 cm de longitud) fueron obtenidos de tres plantas de melón por tratamiento en cada muestreo. Dichos fragmentos se midieron a partir de la base del tallo. Los fragmentos se dividieron en tres partes iguales, donde la parte media se seleccionó para el estudio. En el centro de cada parte media, se realizó un corte transversal, el cual se sometió a una sesión de fotografías con una cámara digital marca Olympus CCD de 4 megapíxeles. Las fotografías se utilizaron para realizar una caracterización morfológica del xilema. Antes de la toma de la fotografía digital, se colocó un papel milimétrico (rectangular de 25 x 20 mm) en la base de la platina del microscopio. Dicho papel se utilizó como guía de medición y para calibrar el programa una vez que se iniciara el análisis de la imagen. Una vez que el papel estuvo listo, se colocó el corte transversal de la raíz y se iluminó con luz incidente. Escenas de cada corte fueron tomadas. Las escenas tuvieron una resolución por pixel de un micrómetro cuadrado (1 µm<sup>2</sup>). El análisis de los conductos del xilema se realizó con la ayuda de un analizador ImagePro Plus© Ver. 6.0.0.260 (Sánchez et al., 2005; Segura et al., 2008; 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. También se efectuó una correlación de Pearson entre las variables evaluadas a fin de establecer la significancia de la aplicación de los ácidos húmicos a distintos pH en la estabilidad de agregados. Este análisis se realizó con el programa estadístico Minitab® Ver. 16.2.3, para Windows (Minitab Inc.®, 2013).

## RESULTADOS

**Estabilidad de Agregados y Densidad Aparente.** El suelo en este estudio tuvo una estabilidad de los agregados de ~1,13% al inicio del experimento (Fig. 1), aunque se observó un incremento en la estabilidad de los mismos en el segundo y tercer muestreo (30 y 45 ddt). Por otra parte, al analizar las dosis aplicadas en cada etapa fenológica, los agregados con un diámetro de 0,5 mm tuvieron una estabilidad que alcanzó un 5,65% en el tratamiento con AH7, con una diferencia estadística significativa ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a los demás tratamientos (Tabla 1).

El modelo de regresión lineal entre el tiempo transcurrido después del trasplante y la Ea mostró una tendencia positiva [ $Ea = 1,1958 + 0,0776 \text{ ddt}$  ( $R^2 = 0,8362$ )], independientemente del pH utilizado. Esto indica que la estabilidad se incrementó

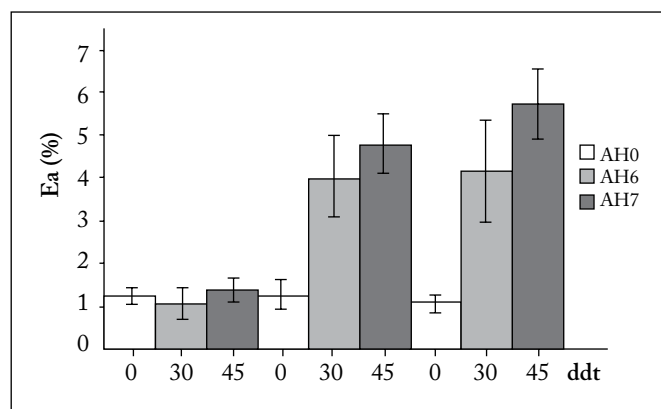


Fig. 1. Estabilidad de agregados (Ea) en función del tiempo (ddt) y el pH (0, 6, 7) de las soluciones de ácidos húmicos.  
 Fig. 1. Aggregate stability (Ea) as a function of time after treatment (ddt) and pH (0, 6, 7) of humic acid solutions.

con el tiempo. Asimismo, cada tratamiento por separado tuvo efectos en la Ea, observándose una tendencia positiva (Fig. 2). Sin embargo, la pendiente cambió entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ), siendo mayor el tratamiento AH7 (0,0997), con una  $R^2 = 0,9792$ . De esta manera, la estabilidad de los agregados fluctuó entre 1,13-5,65% en este experimento. Esta estabilidad se considera baja y por lo tanto indica un suelo con mala estructuración.

Aún cuando tuvo poco incremento en la Ea, por efecto de la adición de AH, se presentó una disminución en la Da (Fig. 3). De esta forma, existió una relación entre la Da y la Ea estadísticamente significativa ( $p = 0,001$ ), con una correlación negativa ( $r = -0,622$ ) (Tabla 2). Es decir, cuando aumentó la Ea, la Da disminuyó. Asimismo, al establecer la relación entre la Da con respecto al tiempo, o ddt por tratamiento (Fig. 4), se pudo observar que el AH7 presentó un  $R^2$  de 0,8053.

Tabla 1. Correlación entre ácidos húmicos (AH) y variables edáficas (Da, Ea).

Table 1. Correlation between humic acids (AH) and edaphic variables (Da, Ea).

|     | AH       | ddt      | Da       |
|-----|----------|----------|----------|
| ddt | 0,000ns  |          |          |
|     | 1,000    |          |          |
| Da  | -0,704** | -0,332ns |          |
|     | 0,000    | 0,091    |          |
| Ea  | 0,267 ns | 0,881**  | -0,622** |
|     | 0,179    | 0,000    | 0,001    |

\*\*Correlación altamente significativa ( $p \leq 0,05$ ).

ns = no significativo

\*\*Highly significant correlation ( $p \leq 0,05$ ).

ns = not significant

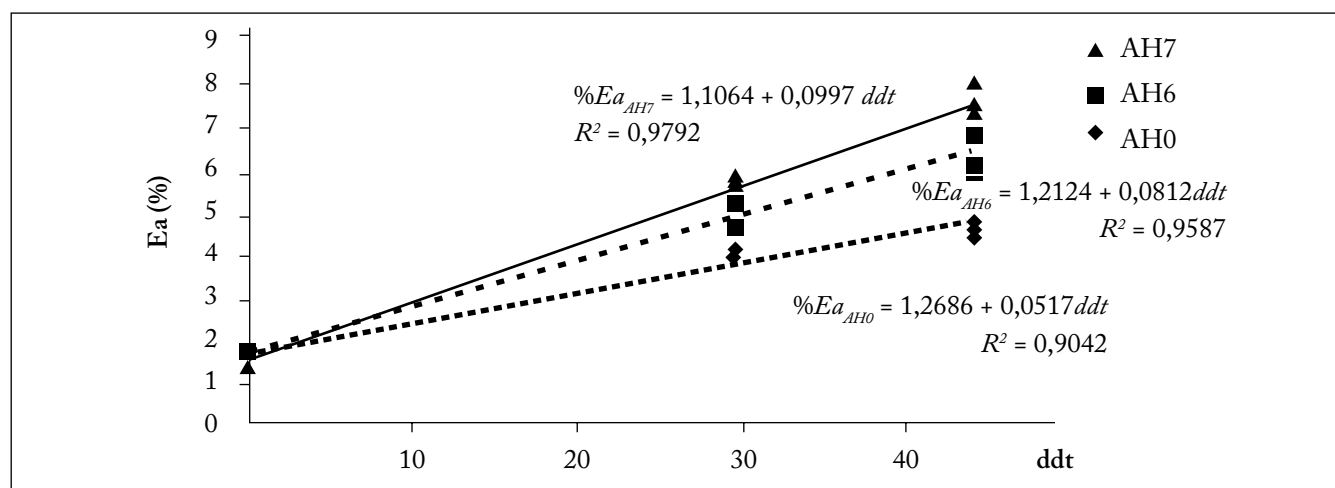
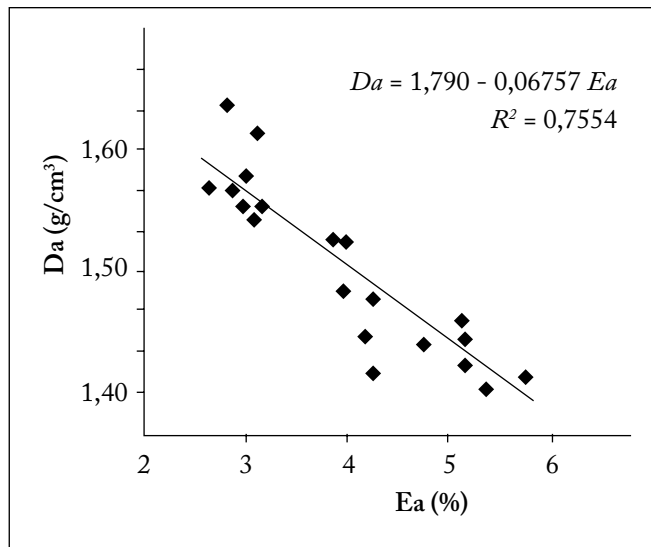


Fig. 2. Relación entre la estabilidad de agregados del suelo (Ea) y el tiempo transcurrido después de la aplicación (ddt) de soluciones con ácidos húmicos en el suelo.

Fig. 2. Relationship between the aggregate stability of soil (Ea) and time (ddt) after application of humic acid solutions in the soil.

El análisis de varianza de la regresión ( $p \leq 0,05$ ) para AH7 fue estadísticamente significativa ( $P=0,035$ ), mayor que para el AH6 (con una  $P=0,048$ ). Esto muestra que la  $D_a$  disminuyó con respecto al tiempo al aplicar los ácidos húmicos a distinto pH. En cambio, en el AF0 se observó una tendencia positiva.



**Fig. 3.** Relación entre la densidad aparente ( $D_a$ ) y la estabilidad de agregados ( $E_a$ ) de un suelo después de adicionar soluciones de ácidos húmicos.

**Fig. 3.** Relationship between the bulk density ( $D_a$ ) and aggregate stability ( $E_a$ ) of soil after application of humic acid solutions.

**Desarrollo y cuantificación del área xilemática.** La raíz principal en este estudio presentó una variación en su diámetro de 2,49 a 2,73 mm (floración), y de 2,4 a 2,8 mm (fructificación) conforme transcurrió el tiempo en los tratamientos con AH. Las raíces de las plantas del tratamiento AH0 tuvieron el menor diámetro, mientras que aquellas del tratamiento AH7 mostraron el mayor diámetro. Respecto a la longitud de raíz, los mayores valores se obtuvieron en el AH7 tanto en la etapa de floración (206,0 mm) como en la de fructificación (349,6 mm), seguidos por el AH6 y AH0 (Tabla 3).

La presencia de xilema en la raíz de las plantas de melón pudo constatar en este estudio. El área que ocupó el xilema mostró variaciones en cada etapa del cultivo y por tratamiento (Tabla 4). A los 30 ddt, (etapa de floración) el tratamiento AH6 mostró un área de 1,99 mm<sup>2</sup>, valor que fue un 2,0% mayor que el área del AH7 (Fig. 5). Al mismo tiempo, el AH0 mostró el área más pequeña (1,72 mm<sup>2</sup>). Estos tamaños se

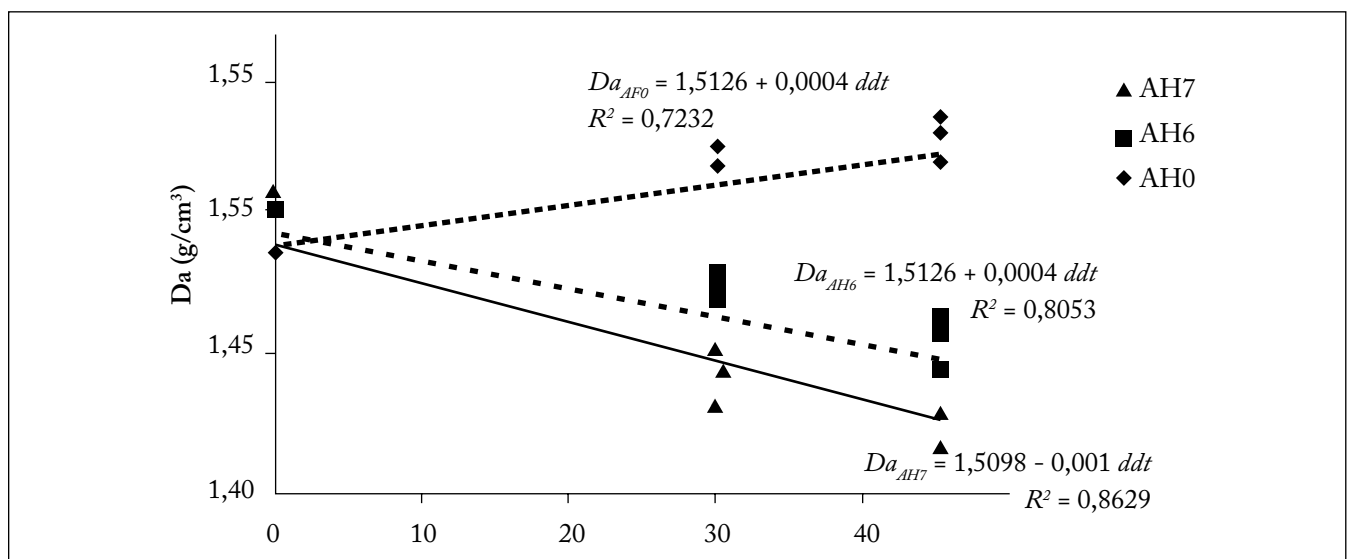
**Tabla 2.** Análisis de medias de la estabilidad de agregados ( $E_s$ ) y densidad aparente final ( $D_a$ ).

**Table 2.** Means analysis of aggregate stability ( $E_s$ ) and final bulk density ( $D_a$ ).

| Tratamientos | $E_s$  | $D_a$  |
|--------------|--------|--------|
| AH0          | 1,13 c | 1,52 a |
| AH6          | 3,24 b | 1,49 b |
| AH7          | 5,65 a | 1,48 b |

Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales ( $p > 0,05$ ).

Means with the same letter in any given column are not statistically different ( $p > 0,05$ ).



**Fig. 4.** Relación entre la densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) y el tiempo transcurrido (ddt) en función del pH de la solución de ácidos húmicos (AH0, AH6, AH7) que se aplicó al suelo.

**Fig. 4.** Relationship between the soil bulk density ( $D_a$ ) and time (ddt) as a function of the pH (AH0, AH6, AH7) of humic acid solutions that were applied to the soil.

pueden considerar como medianos (de 1 a 2 mm<sup>2</sup>). Durante la etapa de fructificación (45 ddt), el xilema de las raíces de las plantas se incrementó en los tres tratamientos. En esta etapa, el tratamiento AH0 tuvo el área más grande, y la mayor proporción de incrementó (31,3%) con respecto a la floración, seguida de los tratamientos AH6 y AH7 consecutivamente.

**Tabla 3.** Promedios de diámetro de los cortes de raíz y longitud de la raíz completa de plantas de melón en dos etapas fenológicas.

**Table 3.** Mean diameter of root cuttings and total root length on melon plants at two phenological stages.

| Tratamiento | Floración    |          | Fructificación |          |
|-------------|--------------|----------|----------------|----------|
|             | Diámetro     | Longitud | Diámetro       | Longitud |
|             | -----mm----- |          |                |          |
| AH7         | 2,73         | 206,0    | 3,80           | 349,6    |
| AH6         | 2,55         | 179,6    | 3,60           | 203,6    |
| AH0         | 2,49         | 158,3    | 2,40           | 196,6    |
| CV (%)      | 4,00         | 11,0     | 20,0           | 29,0     |

AH7: ácido húmico pH 7; AH6: ácido húmico pH 6; AH0: sin ácido húmico; CV: coeficiente de variación

**Tabla 4.** Área de los conductos xilemáticos en el corte transversal de la raíz principal de melón en dos etapas fenológicas.

**Table 4.** Area of xylem conduits in cross sections of the main root of melon at two phenological stages.

| Tratamiento | Floración                  |  | Fructificación |  |
|-------------|----------------------------|--|----------------|--|
|             | -----mm <sup>2</sup> ----- |  |                |  |
| AH7         | 1,95                       |  | 2,09           |  |
| AH6         | 1,99                       |  | 2,19           |  |
| AH0         | 1,72                       |  | 2,26           |  |
| CV (%)      | 6,80                       |  | 3,92           |  |

AH7: ácido húmico pH 7; AH6: ácido húmico pH 6; AH0: sin ácido húmico; CV: coeficiente de variación

## DISCUSIÓN

El incremento en la estabilidad de agregados se puede atribuir al efecto de los AH en el suelo, que promueven la unión de partículas en cada etapa conforme transcurre el tiempo. El hecho de que las sustancias húmicas tienen un importante papel en la estructuración y estabilidad de agregados del suelo fue informado por varios autores (Pulido et al., 2009; Lozano et al., 2011). También se ha demostrado que el incremento del pH en los AH favorece la formación de agregados. Al respecto, Zhang et al. (2012) indicaron que el aumento del pH en el suelo promueve la unión de las arcillas silicatadas por enlaces entre cationes y los AH. Además, el aumento del tiempo que

transcurre después de la aplicación de sustancias húmicas en el suelo también contribuye a que se incremente la estabilidad de los agregados (Alagöz y Yilmaz, 2009). Sin embargo, considerando la clasificación de estabilidad propuesta por Lobo y Pulido (2006), la estabilidad de los agregados fue muy baja (<30%) en nuestro estudio. Desde que el porcentaje de agregados estables permite evaluar la calidad de un suelo (Alvear et al., 2007; Aravena et al., 2007), el suelo en nuestro estudio tuvo una mala estabilidad estructural, puesto que la misma fue menor que 70% (Madero, 2003).

Se ha indicado que la Ea y la Da tienen una relación inversamente proporcional (Meza y Geissert, 2003), como se observó en nuestro estudio. Es decir, la estabilidad de los agregados fue un indicador de la densidad aparente (Prieto et al., 2013). La disminución de la Da con el transcurso del tiempo se puede deber al incremento de carbono orgánico en el suelo por efecto de enmiendas orgánicas al mismo (Zavala et al., 2005; Tejada y González, 2008). Cuando no existen enmiendas de este tipo, el suelo se compacta al transcurrir el tiempo, lo que provoca el aumento de la Da (Sánchez et al., 2003).

Por otra parte, las fracciones húmicas influyen en el crecimiento de diferentes partes de la planta, como la raíz (López et al., 2002). Chen et al. (2004) indicaron que al adicionar estas sustancias al suelo se estimula el crecimiento de las raíces. Esto es debido a que dichas sustancias producen crecimiento celular y estimulan cambios morfológicos en las plantas, similares a los que inducen las auxinas (Domínguez et al., 2010). De este modo, las sustancias húmicas pueden influir directamente sobre la fisiología de la planta, mayormente en el sistema radical (Dobbss et al., 2007). En cambio, el área de los vasos del xilema se incrementa cuando existen este tipo de enmiendas (Torres et al., 2011). Sin embargo, la reducción en el área del xilema durante la fructificación podría deberse a una disminución de nutrientes en el suelo (Miqueloto et al., 2014). También se podría atribuir a una asignación diferencial de fotosintatos a las diferentes partes de la planta, canalizando dicha asignación preferencialmente al llenado de frutos y no a la formación de estructuras de conducción (Orozco et al., 2011). La adición de AH con pH 6 al suelo contribuyó a que este efecto no se presentara en las plantas de este tratamiento, debido a que estas sustancias estarían actuando como auxinas (Domínguez et al., 2010).

## CONCLUSIONES

Los ácidos húmicos obtenidos a partir de Leonardita incrementaron la estabilidad de los agregados de suelos cultivados bajo condiciones de invernadero. El pH de la solución de ácidos húmicos fue un factor que influyó en el efecto de éstos en el suelo; el efecto de los AH fue mejor a pH 7. Esto se debe a que dichos efectos influyen directamente en la estabilidad de agregados e inversamente en la densidad aparente del suelo. Sin embargo, aun cuando se incrementó la estabilidad

de los agregados, éstos se consideraron como inestables o con poca estabilidad. Por otra parte, la aplicación de los AH también contribuye al desarrollo radical de las plantas de melón. Esto es debido a la promoción de dicho desarrollo e inducción del incremento de sus xilemas, sin disminuirlos en la etapa de fructificación. En este estudio se demostró la influencia de los ácidos húmicos de origen mineral en la estabilidad de los agregados del suelo. Sin embargo, es necesario realizar más investigación para verificar la efectividad de este tipo de ácidos cuando se incrementen sus dosis y frecuencia de aplicación.

## REFERENCIAS

- Abiven, S., S. Menasseri y C. Chenu (2009). The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1-12.
- Ahmadi, S.H., M.N. Andersen, F. Plauborg, R.T. Poulsen, C.R. Jensen, A.R. Sepaskhah y S. Hansen (2010). Effects of irrigation strategies and soils on field-grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. *Agricultural Water Management* 97: 1486-1494.
- Aimin, L.I., X. Minjuan, L.I. Wenhui, W. Xuejun y D. Jingyu (2008). Adsorption characterizations of fulvic acid fractions onto kaolinite. *Journal of Environmental Sciences* 20: 528-535.
- Alagöz, Z. y E. Yilmaz (2009). Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: A laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey. *Soil and Tillage Research* 103: 419-424.
- Álvarez G., L.C. (2010). El arsénico en cuatro suelos de la Región Lagunera y su relación con el fósforo. Tesis Maestría en Ciencias. Instituto Tecnológico de Torreón. México.
- Arroita, M., J. Causapé, F.A. Comín, J. Díez, J.J. Jimenez, J. Lacarta, C. Lorente, D. Merchán, S. Muñoz, E. Navarro, J. Val y A. Elosegí (2013). Irrigation agriculture affects organic matter decomposition in semi-arid terrestrial and aquatic ecosystems. *Journal of Hazardous Materials* 263P: 139-145.
- Bastida, F., K. Jindo, J.L. Moreno, T. Hernández y C. García (2012). Effects of organic amendments on soil carbon fractions, enzyme activity and humus-enzyme complexes under semi-arid conditions. *European Journal of Soil Biology* 53: 94-102.
- Bongiovanni, M.D. y J.C. Lobartini (2009). Efecto de sustancias orgánicas solubles del suelo sobre la absorción de hierro en plántulas de girasol. *CI. Suelo (Argentina)* 27: 171-176.
- Boon S., C.T. (2012). Aggregate stability of tropical soils in relation to their organic matter constituents and other soil properties. *Pertanika J. Trop. Agric. Sei.* 35: 135-148.
- Bronick, C.J. y R. Lal (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Campbell, N.A. y J.B. Reece (2007). Biología. 7ª Edición. Editorial Médica Panamericana S.A. p. 713.
- Casas F., N. y C. Ramírez G. (2011). Cambios morfológicos y de calidad por aplicación de tres fuentes de calcio bajo tratamiento térmico suave en melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10: 431-444.
- CB Marketing Group (2009). Productos - Organic Field Plantas. (<http://www.cbm.com.mx/productos.htm>). Consultado el 09 de Junio de 2013.
- Cesco, S., M. Nikolic, V. Römheld, Z. Varanini y R. Pinton (2002). Uptake of <sup>59</sup>Fe from soluble <sup>59</sup>Fe-humate complexes by cucumber and barley plants. *Plant and Soil* 241: 121-128.
- Chen, Y., M. De Mobili y T. Aviad (2004). Stimulating effects of humic substances on plant growth. En: Magdoff F.R. y R.R. Weil (Eds.), pp: 103-129. *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC. Press, New York, USA.
- Cooper, R.J., L. Chunhua y D.S. Fisher (1998). Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creep in bent grass. *Crop Sci.* 38: 1639-1644.
- DeFries, R.S., J.A. Foley y G.P. Asner (2004). Land-use choices: balancing human need and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 249-257.
- Díaz B., M. Morales, P. Cairo, O. Rodríguez, R. Jiménez, I. Abreu, P. Torres y A. Dávila (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 Agrícola* 35: 25-29.
- Díez J., J., E. García M., Y. Menéndez y A. Gil L. (1995). Relaciones hídricas en olmo y su posible implicación en la resistencia a *Ophiostoma novo-ulmi*. En: Memoria IV Congreso. Luso-Español de Fisiología Vegetal. Sociedad Española de Fisiología Vegetal. Estoril, Portugal.
- Elizarraras, S., J.C. Serratos, E. López y L. Román (2009). La aplicación de ácidos húmicos sobre las características productivas de (*Clitoria ternatea* L.) en la región centro Occidente de México. Universidad de Colima. Revista de investigación y difusión científica agropecuaria.
- Estévez, V. (2006). Efectos de la aplicación de tres ácidos húmicos comerciales con diferentes dosis en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en la hacienda pastaví, canton otavalo, parroquia quichinche. Pontificia Universidad Católica De Ecuador. Sede Ibarra (Puce-Si) Escuela De Ciencias Agrícolas Y Ambientales. pp.63-64.
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (México: Ind).
- Gutschick, V.P. y T. Simonneau (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 and Environment* 25: 1423-1434.
- <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx> (2011). Faostat: Producción - Cultivos.
- <http://sites.securemgr.com/folder11341/index.cfm?fuseaction=browseyid=2450992ypageid=55> (2012). Paquetes tecnológicos - melón. INIFAP-Chihuahua.
- [http://www.soiglobal.net/oikossolutions/uploaded/mod\\_documentos/La\\_Leonardita.pdf](http://www.soiglobal.net/oikossolutions/uploaded/mod_documentos/La_Leonardita.pdf) (2012). ¿Qué es la leonardita?
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (1988). Atlas Nacional del Medio Físico (Aguascalientes, México).
- Lao, C., Z. Zeledon, X. Gamisans y M. Solé (2005). Sorption of Cd (II) and Pb (II) from aqueous solutions by a low-rank coal (leonardite). *Separation and Purification Technology* 45: 79-85.
- Liu, P., L. Yang, S.F. Yu, Z.H. Liu, J.L. Wei, X.J. Wang y Y.Q. Wang (2008). Evaluation on environmental quality of heavy metal contents in soils of vegetable green-houses in Shouguang City. *Research Environment Science* 21: 66-71.

- Lobo, D. y M. Pulido (2006). Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología. p. 27.
- López C., R., A. Gallegos T., E. Peña C., A. Reyes L., R. Castro F., J.F.J. Chávez G. (2006). Substancias húmicas de origen diverso en algunas propiedades físicas de un suelo franco-arcillo-limoso. *Terra Latinoamericana* 24: 303-309
- López C., R. (2002). Comportamiento de sustancias húmicas de diverso origen en la física de un suelo limo-arcilloso y en la fisiología del tomate. Tesis Doctoral en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Lozano Z., C. Rivero, C. Bravo y R.M Hernández H. (2011). Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de coberturas. *Rev. Fac. Agron.* 28:35-56.
- Lua H. y M. Böhme (2009). Influence of humic acid on the growth of tomato in hydroponic systems. International Symposium on Growing Media and Hydroponics.
- Madero, E. (2003). Criterios para la interpretación de propiedades físicas. Compactación y cementación de suelos. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.
- Pulido M., M.A., D. Lobo L., Z. Lozano P. (2009). Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Aragua. Venezuela.
- Media Cybernetics© (2012). 401 N. Washington Street, Suite 350 Rockville, MD 20850 USA.
- <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf> (2012). Meléndez, G. y G. Soto (2003). Taller de Abonos Orgánicos - Residuos Orgánicos y la Materia Orgánica del Suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica.
- Meza P., E. y D. Geissert K. (2003). Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre De Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, Vol. 5, Núm. 2. p. 0. Recursos Genéticos Forestales, México.
- Minitab Inc® (2013). Minitab Inc. Quality Plaza #1829 Pine Hall Rd State College PA 16801-3008, USA.
- Miqueloto, A., C.V. Talamini do Amarante, C.A. Steffens, A. dos Santos y E. Mitcham (2014). Relationship between xylem functionality, calcium content and the incidence of bitter pit in apple fruit. *Scientia Horticulturae* 165: 319-323.
- Nieto V., S. (2005) Análisis y caracterización de ácidos húmicos y su interacción con algunos metales pesados (tesis de maestría) Universidad autónoma del estado de Hidalgo, México.
- Pettit, R.E. (2004). Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid, and humin: their importance in soil fertility and plant health. HumaTech.
- Porta, J., M. López A. y R.M. Poch (2010). Introducción a la Edafología: Uso y Protección del Suelo. M-Prensa. Madrid.
- [http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/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](http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/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) (2010). Ramírez P., R. y N. Zapata R. (2010). Influencia del tamaño de agregados del suelo, en el crecimiento de Zanahoria (*Daucos carota L.*) cultivada en un andisol virgen de marinilla.
- Rivero, C., N. Senesi y V. D'Orazio (2004). Los ácidos húmicos de leonardita sobre las características espectropicas de la materia orgánica de un suelo en la cuenca del lago de valencia. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Maracay 2101, Estado Aragua. Venezuela. pp. 134,135.
- Seguel, O., E. Marín y E. Michaud (2012). Mejoramiento de propiedades físicas del suelo mediante ácido húmico y rastrojo de trigo. Departamento de Suelos Facultad de Agronomía, U.CH.
- Schwarzenbach, R.P., P.M. Gschwend and D.M. Imboden (1993). Environmental Organic Chemistry. John Wiley & Sons Inc.
- Spaccini, R., A. Piccolo, J.S.C. Mbagwu, A. Zena, y C.A. Igwe (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., B. Kołodziej y Bielińska E. (2013). The effect of leonardite application on *Arnica montana* L. yielding and chosen chemical properties and enzymatic activity of the soil. *Journal of Geochemical Exploration* 129 (2013): 76-81.
- Taiz, L. y E. Zeiger (2006). Fisiología Vegetal. Edita - Publicacions de la Universitat Jaume I. Sevei de Comunicació i Publicacions Campus del Riu. Castelló de la Plana, España. Volumen 1. pp. 88, 89, 91.
- Tanaka, K., Y. Akashi, K. Fukunaga, T. Yamamoto, Y. Aierken, H. Nishida, C.L. Long, H. Yoshino, Y. Sato y K. Kato (2013). Diversification and genetic differentiation of cultivated melon inferred from sequence polymorphism in the chloroplast genome. *Breeding Science* 63: 183-196.
- Tejada, M., y J.L. Gonzalez (2008). Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Gendarme* 145: 325-334.
- Torres G., J.A., A. Benavides M., H. Ramírez, V. Robledo T., J.A. González F. y V. Díaz N. (2011). Aplicación de lodo industrial crudo en la producción de *Lilium* sp. en invernadero. *Terra Latinoamericana* 29: 467-476.
- USDA (2009). "Aggregate Stability". Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. U.S. Department of Agriculture. pp. 108-110.
- Zagal, E. y C. Córdova (2005). Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un andisol cultivado. *Agricultura Técnica (Chile)* 65: 186-197.
- Zhang, L., L. Luo y S. Zhang (2012). Integrated investigations on the adsorption mechanisms of fulvic and humic acids on three clay minerals. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 406: 84-90.
- Zhang, W., U. Rattanaudompol, H. Li y D. Bouchard (2013). Effects of humic and fulvic acids on aggregation of aqu/nC60 nanoparticles. *Water research* 47: 1793-1802.
- Zeledón, Z., C. Lao y M. Solé (2005). Nickel and copper removal from aqueous solution by an immature coal (leonardite): effect of pH, contact time and water hardness. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 80: 649-656.
- Zeledón, Z., C. Lao, F.X.C. de las Heras y M. Solé (2007). Removal of PAHs from water using an immature coal (leonardite). *Chemosphere* 67: 505-512.