

SUBSTANCIAS HÚMICAS DE ORIGEN DIVERSO EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO FRANCO-ARCILLO-LIMOSO

Humic Substances from Different Sources on Some Physical Properties of a Silty-Clay-Loamy Soil

R. López-Cervantes^{1†}, A. Gallegos-del Tejo¹, E. Peña-Cervantes¹, A. Reyes-López²,
R. Castro-Franco³ y J. F. J. Chávez-González⁴

RESUMEN

Se determinó el efecto de sustancias húmicas (SH) de diverso origen en algunas características físicas de un suelo con textura franco-arcillo-limosa. Los tratamientos fueron: ácidos húmicos (AHC), en concentración de 0.25 y 0.50 mg L⁻¹ de agua; y ácidos fúlvicos (AFC), a razón de 0.29 y 0.58 mg L⁻¹. Éstos se obtuvieron de un compost elaborado con la mezcla de estiércol de bovino y desechos de cocina. Además, se aplicaron ácidos húmicos (AHL), en concentración de 0.60 y 1.20 mg L⁻¹; y ácidos fúlvicos (AFL), a razón de 1.60 y 3.20 mg L⁻¹, extraídos de leonardita (mineral fósil). A las cuatro sustancias húmicas (SH) se les midió la acidez total (AT) y su capacidad de intercambio catiónico (CIC). Las SH se adicionaron a parcelas de 1 m², a 10 días ("antes") y a 150 días ("después"). Se les midió la densidad aparente (Da), la porosidad (E), la relación de dispersión de agregados (RD) y la velocidad de infiltración (VI). Los AFC fueron los más oxidados y presentaron mayor CIC que los AHC, AFL y AHL. No hubo efecto estadístico significativo de los tratamientos en la Da. Al aplicar los AHC, a razón de 0.50 mg L⁻¹ "antes", y los AFL, a razón de 1.60 mg L⁻¹ "después", se superó en 18 y 3%, respectivamente, al testigo en la E. En la RD, al adicionar los AHL, en concentración de 0.60 mg L⁻¹, tanto "antes" como "después", el valor aventajó en 8 y 10% al testigo. La infiltración básica (IB) fue superior (2.84 cm h⁻¹) al agregar los AFL a 3.20 mg L⁻¹. La E y la RD aumentaron con la adición de

los AHC, AFL y AHL, mientras que la IB con la de los AFL.

Palabras clave: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos.

SUMMARY

The effect of humic substances (HS) from different sources on some physical properties of a silty-clay-loamy soil was determined. The treatments were humic acids (CHA) at concentrations of 0.25 and 0.50 mg L⁻¹ water and 0.29 and 0.58 mg L⁻¹ fulvic acids (CFA). These were obtained from a compost made of cow manure and kitchen waste, as well as 0.60 and 1.20 mg L⁻¹ humic acids (LHA) and 1.60 and 3.20 mg L⁻¹ fulvic acids (LFA) extracted from leonardite (fossil mineral). Total acidity (TA) and cation exchange capacity (CEC) were measured in the four substances. HS were added to plots of 1 m², at 10 ("before") and 150 days ("after"). Bulk density (Bd), porosity (E), aggregate dispersion ratio (ADR), and infiltration ratio (IR) were measured. The CFA were the most oxidized and possessed greater CEC than CHA, LFA, and LHA. There was no significant statistical effect of treatments in Bd. When applying CHA at 0.50 mg L⁻¹ "before" and LFA at a quantity of 1.60 mg L⁻¹ "after", they surpassed the control in E by 18 and 3%, respectively. In DR, when adding LHA in a concentration of 0.60 mg L⁻¹, "before" as well as "after", the value surpassed the control by 8 and 10%. Superior basic infiltration (BI) (2.84 cm h⁻¹) was obtained by adding LFA at 3.20 mg L⁻¹. E and DR increased with the addition of CHA, LFA, and LHA, respectively, while BI increased with LFA.

Index words: humic acids, fulvic acids.

INTRODUCCIÓN

Los suelos agrícolas del municipio de Saltillo, Coahuila, México, son Calcisoles. En éstos prevalece la textura limosa, con cantidades inferiores a 1% de materia

¹ Departamento de Suelos, ² Departamento de Horticultura, Universidad Agrícola Autónoma Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

[†] Autor responsable (ruloce@yahoo.com.mx)

³ Unidad Regional de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México.

⁴ Campo Experimental Laguna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Matamoros, Coahuila, México.

orgánica; la fracción arcilla es dominada por las illitas y la densidad aparente es superior a 1.3 g cm^{-3} (FAO/UNESCO, 1994). Por estas condiciones, los suelos poseen estabilidad estructural deficiente (Piccolo y Mbagwu, 1990), altos porcentajes de poros con diámetro inferior a $70 \mu\text{m}$, por los que no circula el agua (Horn *et al.*, 1994) y, por consiguiente, disminuye la infiltración.

Es conocida la influencia de varios componentes de la materia orgánica sólida, sin humificar (residuos vegetales y animales) y humificada (compost), en estabilizar agregados del suelo, disminuir la densidad aparente, aumentar la porosidad y la velocidad de infiltración; sin embargo, la diversidad de los compuestos de la materia orgánica restringe el estudio del papel que juegan los compuestos orgánicos en las propiedades físicas de los suelos. Tisdall y Oades (1982) propusieron un modelo conceptual, el cual es ampliamente aceptado, que se basa en el efecto de tres agentes de unión: 1) **transitorios**: los polisacáridos (materiales no húmicos) son los más importantes; 2) **temporales**: principalmente raíces, hifas de hongos y bacterias; y 3) **persistentes**: macromoléculas complejas con dominios aromáticos y alifáticos resistentes a la biodegradación (substancias húmicas).

El efecto de los agentes persistentes, en las propiedades físicas de los suelos, depende de la cantidad y del tipo de ellos, además de factores relacionados con la naturaleza del complejo arcilla-humus, como: 1) la composición mineralógica de la fracción arcilla; 2) las condiciones del medio, como el pH y los cationes, entre otros; y 3) la naturaleza de las substancias húmicas (SH) (Nayak *et al.*, 1990; Diné *et al.*, 1992).

La adición de materia orgánica humificada (SH) a los suelos incrementa la estabilidad de los agregados y disminuye la densidad aparente; sin embargo, los agentes persistentes, responsables de la microagregación, aumentan muy poco el tamaño de éstos. El proceso de microagregación es lento y está en función del tipo y la cantidad de los agentes; por ejemplo, adiciones de ácidos húmicos (AH) (Piccolo y Mbagwu, 1990) y ácidos fúlvicos (AF) (Fortún *et al.*, 1989), a suelos arenolimosos, son efectivas para estabilizar la estructura.

Los materiales húmicos de alto peso molecular (AH) y alta capacidad para intercambiar cationes (CIC) son más importantes en el proceso de estabilización de los agregados que los de bajo peso molecular (AF) (Huang y Schnitzer, 1986; Piccolo y Mbagwu, 1990). Contrario a lo anterior, Fortún *et al.* (1989) establecieron que las substancias húmicas de bajo peso molecular producen

un mayor, más favorable, más fuerte y rápido mecanismo de agregación, porque éstas poseen acidez total superior, es decir, mayor cantidad de grupos funcionales oxigenados libres: carboxilos, oxhidrilos fenólicos y carbonilos ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ y $-\text{COO}$).

La agregación del suelo se inicia con la formación de complejos organo-minerales, gracias a la unión de arcillas con grupos funcionales del humus por medio de cationes bi- o polivalentes que actúan como puentes entre los compuestos inorgánicos y orgánicos (Diné *et al.*, 1992; Horn *et al.*, 1994). Gracias a fuerzas electroquímicas, los complejos forman partículas de mayores dimensiones, denominadas dominios; la unión de éstas, microagregados (Harter y Naidu, 1995); posteriormente, se forman los agregados y la secuencia sería: complejos de arcilla-cationes metálicos polivalentes-materia orgánica (grupos funcionales libres) (Piccolo y Mbagwu, 1990; Schnitzer, 2000).

El proceso de unión de los AH y los AF con cationes que sirven como puentes y la función que tienen estas substancias (agentes persistentes) en algunas propiedades físicas de los suelos, han sido poco estudiados y el o los procesos no se conocen con certeza.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el comportamiento de substancias húmicas de diverso origen en algunas propiedades físicas de un suelo franco-arcillo-limoso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área del estudio se sitúa en el campo experimental "El Bajío", en Saltillo, Coahuila, México, situado a $25^{\circ} 22' \text{ N}$ y a $101^{\circ} 01' \text{ O}$, a una altitud de 1743 m.

El principal factor pedogenético es la calcimorfía presentada en regiones donde la evaporación es superior a la precipitación; se caracteriza por el depósito de aguas carbonatadas en partes bajas, producidas por erosión y la posterior conjunción con los alumino-silicatos 2:1 (Pedro, 1991). El suelo empleado en el trabajo fue un Calcisol (FAO/UNESCO, 1994), con 25% de arena, 45% de limo y 30% de arcilla [método de la pipeta de Robinson (Kilmer y Alexander, 1949)], densidad aparente de 1.38 g cm^{-3} (extractor de núcleos), pH en agua (relación 2:1 volumen/peso) de 8.2, capacidad de intercambio catiónico (CIC) (acetato de amonio, pH 7) de $30.2 \text{ cmol kg}^{-1}$ y 0.62% de materia orgánica (Walkley y Black, 1934). La composición mineralógica es dominada por calcita y cuarzo (difracción de rayos X-DRX).

Trabajo en Laboratorio

Los AH y AF usados como tratamientos se obtuvieron de compost y de leonardita. El compost empleado se elaboró a base de estiércol de bovino mezclados con residuos de cocina. La proporción de dichos materiales fue de 3:1 y éstos se colocaron en un recipiente ("reactor") con agua; después de 30 días, se obtuvo el compost con las características: pH, 7.6; densidad aparente, 0.62 g cm⁻³; conductividad eléctrica, 2.8 dS m⁻¹; proteína cruda, 7.38%; grasas, 7.62%; carbohidratos, 11.45%; celulosa, 58%; y lignina, 29%. Estas últimas cinco características se determinaron con el método del ácido-detergente (Van Soest y Wine, 1968).

Los AH y los AF del compost se obtuvieron de la siguiente manera: a 5 g del compost, previamente secado al aire, se les agregaron 200 mL de hidróxido de sodio (NaOH, 1M). Los AH y los AF de la leonardita se obtuvieron disolviendo 5 g del mineral fósil mencionado en 200 mL de NaOH 1M. Las suspensiones se dejaron reposar durante 24 h a temperatura ambiente.

Una vez realizado lo anterior, las sustancias húmicas de los dos orígenes se separaron por precipitación, con ácido sulfúrico a 10%. Los AH de ambos orígenes se precipitaron y los AF permanecieron en solución. Los primeros se lavaron en cinco ocasiones con agua destilada y cinco con agua bidestilada, para eliminar los residuos del ácido sulfúrico. En cada ocasión de lavado, las sustancias se centrifugaron (centrífuga BHG-ROTO UNI, Instrumenta, S. A. México) durante 20 min a 5000 g.

Los AH del compost se denominaron AHC; los AF, AFC. Sus porcentajes fueron 5.6 y 5.8, respectivamente. Las correspondientes sustancias provenientes de la leonardita se nombraron AHL y AFL y éstos presentaron cantidades de 12 y 32%, respectivamente.

Los AH de ambos orígenes se deshidrataron en estufa, durante 72 h a 60 °C, con el fin de que la presentación fuera sólida. Para concentrar los AF, de las dos fuentes, se procedió a neutralizar la solución salina en que se encontraban (de pH 2 a 7), con hidróxido de amonio (NH₄OH), desecándose en un roto-evaporador (Büchi R110, Brinkmann Instruments, Westbury, NY, USA) durante 20 h a una temperatura de 50 °C, hasta presentar una consistencia de gel. Finalmente, se desecaron en estufa a 60 °C y el resultado fue un polvo grisáceo para los AF derivados del compost, mientras que los AF derivados de leonardita quedaron en forma de hojuelas negras.

Realizado lo anterior, por reacción ácido-base, se les midió la acidez total (AT), es decir, los grupos -COOH y -OH en cmol_c kg⁻¹ (Schnitzer y Gupta, 1965), y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Lax *et al.*, 1986).

Trabajo en Campo

En una parte del campo "El Bajío", con el suelo previamente barbechado y rastreado, se delimitaron 18 parcelas de 1 m², a las que se les adicionaron AHC, AFC, AHL y AFL con las cantidades y concentraciones presentadas en el Cuadro 1. Esto proporcionó ocho tratamientos más un testigo absoluto (sólo agua), lo que resultó en nueve tratamientos en total.

Cada tratamiento se adicionó a una parcela, al azar, en dos repeticiones. A cada parcela se le aplicaron 30 L de agua (lámina de riego de 30 cm). Después de 10 días de aplicados los tratamientos, se dejó secar el suelo y se determinaron las variables: densidad aparente (Da) (extractor de núcleos); densidad real, que se consideró como 2.63 g cm⁻³; y porosidad (E), la cual se midió mediante $E = 100 \cdot (Dr - Da) / Dr$. Estas dos últimas características se tomaron de Ortiz y Ortiz (1987) y la relación de dispersión (RD) se midió de acuerdo con la fórmula establecida, en 1930, por Middleton y sugerida por Piccolo y Mbagwu (1990):

$$RD = \frac{\% \text{ de limo} + \% \text{ de arcilla (muestra dispersa en agua)}}{\% \text{ de limo} + \% \text{ de arcilla (muestra dispersa en hexametáfosfato de sodio)}}$$

La RD es una medida inversa de la estabilidad estructural (EE) de agregados al agua, es decir, a mayor RD menor es la EE. También se determinaron la lámina acumulada de agua (LA), la infiltración media (IM), la velocidad de infiltración instantánea (VI) y la infiltración básica (IB) [método de Kostiakov, modificado por Torres (1982)]. A la medición de estas variables se le denominó "antes" del experimento.

Realizado lo anterior, se adicionó agua a cada parcela y así se hizo cada siete u ocho días, para mantener el suelo a capacidad de campo. Después de 30 días de iniciado el experimento, se efectuó una nueva aplicación de los tratamientos con las mismas fuentes y dosis de las sustancias húmicas. Después de 150 días de iniciado el experimento, se dejó secar el suelo y se le determinaron, de nuevo, las variables mencionadas. Éstas

Cuadro 1. Concentraciones adicionadas de las diversas sustancias húmicas, a parcelas de un suelo de textura franco-arcillo-limosa.

Substancia húmica [†]	Cantidad
	mg L ⁻¹ de agua
AHC1	0.25
AFC1	0.29
AHL1	0.60
AFL1	1.60
AHC2	0.50
AFC2	0.58
AHL2	1.20
AFL2	3.20

[†] AHC = ácidos húmicos del compost, AFC = ácidos fúlvicos del compost, AHL = ácidos húmicos de la leonardita, AFL = ácidos fúlvicos de la leonardita.

se consideraron las mediciones “después” del experimento.

El análisis estadístico se hizo de acuerdo con pruebas de t Student para números apareados, mediante el programa de computador MINITAB, Versión 13, para Windows (MINITAB, 2002), con el cual se comparó el efecto de las sustancias húmicas y sus dosis en las características del suelo medidas “antes” y “después” del experimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Grupos Funcionales de las Sustancias Húmicas

La AT y la CIC de los AFC fueron superiores a las de las otras sustancias húmicas, porque la cantidad de grupos funcionales libres oxigenados dominantes son los carboxilos (-COOH); además, aquí se revela la tendencia de que conforme aumenta la cantidad de grupos

Cuadro 2. Acidez total (AT), carboxilos (COOH), oxhidrilos fenólicos (OH) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de ácidos húmicos y fúlvicos de dos orígenes.

Substancia húmica [†]	AT	COOH	OH	CIC
	- - - - - cmol _c kg ⁻¹ - - - - -			
AHC	500	156	344	482
AHL	125	98	27	240
AFC	961	859	102	632
AFL	600	127	479	443

[†] AHC = ácidos húmicos del compost, AHL = ácidos húmicos de la leonardita, AFC = ácidos fúlvicos del compost, AFL = ácidos fúlvicos de la leonardita.

funcionales carboxilo, en un tipo de sustancia, decrecen los grupos funcionales hidroxilo fenólicos (-OH) y *viceversa* en el otro compuesto húmico (Cuadro 2). Esta variación está de acuerdo con el origen de la materia orgánica (Aleksandrova, 1994; Fründ *et al.*, 1994), aunque los AF siempre estarán más oxidados que los AH, independientemente de la fuente de origen (Schnitzer, 2000; Pettit, 2004).

Experimento en Campo

Al adicionar los ácidos fúlvicos del compost, a razón de 0.29 mg L⁻¹ de agua (AFC1), el valor medio de la densidad aparente aventajó en 15% “antes” y 12% “después” al testigo absoluto (T) (Cuadro 3); sin embargo, los tratamientos no tuvieron ningún efecto estadístico significativo en esta variable (Cuadro 4). Al aplicar los ácidos húmicos extraídos del compost en concentración de 0.50 mg L⁻¹ de agua (AHC2) “antes” y los ácidos fúlvicos de leonardita a razón de 1.60 mg L⁻¹ (AFL1) “después”, la porosidad superó en 18 y 3%, respectivamente, al testigo (T). En la RD, cuando se aplicaron los ácidos húmicos extraídos de la leonardita

Cuadro 3. Valores medios de algunas características físicas de un suelo franco-arcillo-limoso, al adicionar sustancias húmicas de diverso origen, en condiciones de campo.

Variable	Tratamiento [†]								
	AHC1	AHC2	AFC1	AFC2	AHL1	AHL2	AFL1	AFL2	T
DaA (g cm ⁻³)	1.21	1.26	1.13	1.19	1.27	1.38	1.36	1.22	1.34
DaD (g cm ⁻³)	1.24	1.32	1.21	1.26	1.34	1.42	1.40	1.29	1.38
EA (%)	54	58	57	55	55	47	48	53	49
ED (%)	53	53	54	52	49	46	71	51	47
RDA	109.9	113.1	108.5	111.0	104.3	106.6	110.3	115.3	113.6
RDD	116.3	121.9	117.1	120.3	111.8	118.1	121.6	127.2	122.1

[†] AHC = ácidos húmicos del compost, AFC = ácidos fúlvicos del compost, AHL = ácidos húmicos de la leonardita, AFL = ácidos fúlvicos de la leonardita; DaA = densidad aparente antes, DaD = densidad aparente después, EA = porosidad antes, ED = porosidad después, RDA = relación de dispersión antes, RDD = relación de dispersión después.

Cuadro 4. Análisis estadístico del efecto de la adición de sustancias húmicas de diverso origen en algunas características físicas de un suelo franco-arcillo-limoso, en condiciones de campo.

Variable [†]	F [‡]	P [§]
DaA1	-0.49	0.372 ns
DaA2	-1.20	0.263 ns
DaD1	-1.11	0.298 ns
DaD2	-1.38	0.206 ns
EA1	-48.82	0.000 **
EA2	-27.71	0.000 **
ED1	-49.03	0.000 **
ED2	-45.45	0.000 **
RDA1	-107.29	0.000 **
RDA2	-84.72	0.000 **
RDD1	-90.21	0.000 **
RDD2	-92.99	0.000 **

[†] DaA1, densidad aparente "antes" del experimento, parcela 1; DaA2, densidad aparente "antes" del experimento, parcela 2; DaD1, densidad aparente "después" del experimento, parcela 1; DaD2, densidad aparente "después" del experimento, parcela 2; EA1, porosidad "antes" del experimento, parcela 1; EA2, porosidad "antes" del experimento, parcela 2; ED1, porosidad "después" del experimento, parcela 1; ED2, porosidad "después" del experimento, parcela 2; RDA1, relación de dispersión "antes" del experimento, parcela 1; RDA2, relación de dispersión "antes" del experimento, parcela 2; RDD1, relación de dispersión "después" del experimento, parcela 1; RDD2, relación de dispersión "después" del experimento, parcela 2. [‡] F = F calculada; [§] P = probabilidad.

en concentración de 0.60 mg L⁻¹ de agua (AHL1), tanto "antes" como "después", la variable fue superior en 8 y 10% al testigo, respectivamente (Cuadro 3); además, con el análisis estadístico se aprecia que, tanto en la porosidad (E) como en la relación de dispersión (RD), sí hay efecto estadístico altamente significativo de los tratamientos (Cuadro 4).

En general, puede decirse que la densidad aparente aumentó, pero no de forma significativa, cuando se midió "antes" y "después", mientras que la E disminuyó y la RD aumentó cuando se midieron a 10 días y después de 150 días de iniciado el experimento.

La infiltración básica (IB) superior se presentó en el área donde se aplicaron 3.20 mg L⁻¹ de agua de ácidos fúlvicos de leonardita (AFL2); además, este tratamiento mostró un efecto estadístico altamente significativo (Cuadro 5). En los 10 cm superficiales, la IB fue rápida en los 2 min iniciales hasta los 15 min y permaneció constante hasta los 73 min. Por el contrario, el movimiento del agua en la parcela testigo fue lento durante todo el tiempo de medición. Lo anterior sucedió tanto "antes" como "después" de la adición de los materiales orgánicos (Figura 1).

Las sustancias húmicas no mostraron efecto en la densidad aparente, tal vez por la naturaleza líquida de los compuestos orgánicos, en comparación con la materia orgánica sólida. La porosidad del suelo disminuyó conforme pasó el tiempo del experimento, como resultado de la reorganización de las partículas del suelo para formar agregados, lo que concuerda con lo establecido por Barral *et al.* (1998); sin embargo, los AH y AF empleados fueron la clave para que se presentara un efecto significativo en la estabilidad de los agregados, porque los grupos funcionales libres carbonado-oxigenados de ellos, a través de puentes probablemente con calcio, se unieron a la arcilla. Además, con una estructura estable del suelo, el espacio poroso es mayor y, por consiguiente, la velocidad de infiltración aumenta (Horn *et al.*, 1994; Orlov, 1995; Pettit, 2004).

CONCLUSIÓN

No hay efecto de los tratamientos en la densidad aparente, mientras que los ácidos húmicos y fúlvicos de ambos orígenes aumentaron la porosidad (E), la estabilidad de los agregados (RD) y la infiltración básica (IB).

LITERATURA CITADA

- Aleksandrova, I. V. 1994. Interactions of structural units and the strength fixation in molecules of humic-like substances. *Euras. Soil Sci.* 26: 35-43.
- Barral, M. T., M. Arias y J. Guérif. 1998. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. *Soil Tillage Res.* 46: 261-272.
- Dinel, H., P. E. M. Lévesque, P. Jambu y D. Righi. 1992. Microbial activity and long-chain aliphatics in the formation of stable soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1455-1463.
- FAO/UNESCO (Food and Agriculture Organization). 1994. World reference base for soil resources. Rome, Italy.
- Fortún, A., C. Fortún y C. Ortega. 1989. Effect of farmyard manure and its humic fractions on the aggregate stability of a sandy-loam soil. *J. Soil Sci.* 40: 293-298.
- Fründ, R., K. Guggenberg, K. Haider, H. Knicker, I. Kögel-Knaber, H-D. Lüdeman, J. Luster, W. Zech y M. Spiteller. 1994. Recent advances in the spectroscopic characterization of soil humic substances and their ecological relevance. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 157: 175-186.
- Harter, R. D. y R. Naidu. 1995. Role of metal-organic complexation in metal sorption by soils. *Adv. Agron.* 55: 219-263.
- Horn, R., H. Taubner, M. Wuttke y T. Baumgart. 1994. Soil physical properties related to soil structure. *Soil Tillage Res.* 30: 187-216.
- Huang, P. M. y M. Schnitzer. 1986. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Special publication 17. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.

Cuadro 5. Modelos de regresión de la lámina acumulada de agua (LA), la infiltración media (IM), la velocidad de infiltración instantánea (VI) y la infiltración básica (IB) de las parcelas tratadas con las sustancias húmicas extraídas de compost y leonardita.

Tratamiento [†]	LA	LA	IM	IM	VI	VI	IB	IB
	A	D	A	D	A	D	A	D
	----- cm -----				----- cm·h ⁻¹ -----			
AFC1	7.28 T ^{-0.544}	7.12 T ^{-0.524}	437.14 T ^{-0.456}	417.10 T ^{-0.342}	237.97 T ^{-0.342}	221.78 T ^{-0.342}	2.02	2.00
AFC2	3.35 T ^{-0.846}	3.53 T ^{-0.798}	201.22 T ^{-0.154}	199.13 T ^{-0.132}	170.25 T ^{-0.154}	156.12 T ^{-0.132}	1.44	1.13
AHC1	5.07 T ^{-0.612}	5.12 T ^{-0.573}	304.42 T ^{-0.388}	300.32 T ^{-0.299}	186.18 T ^{-0.388}	196.19 T ^{-0.299}	1.58	1.31
AHC2	36.80 T ^{-0.0105}	33.61 T ^{-0.0120}	2208.22 T ^{-0.989}	2009.11 T ^{-0.967}	23.18 T ^{-0.989}	26.16 T ^{-0.967}	1.96	1.69
AFL1	37.46 T ^{-0.0098}	36.26 T ^{-0.0087}	2247.88 T ^{-0.990}	2317.67 T ^{-0.890}	22.02 T ^{-0.990}	23.19 T ^{-0.890}	1.87	1.64
AFL2	53.51 T ^{-0.0104}	51.22 T ^{-0.0100}	3211.02 T ^{-0.99}	3121.01 T ^{-0.88}	33.39 T ^{-0.99}	36.43 T ^{-0.88}	2.83	2.71
AHL1	3.48 T ^{-0.743}	3.27 T ^{-0.633}	208.95 T ^{-0.257}	218.73 T ^{-0.167}	155.23 T ^{-0.257}	146.24 T ^{-0.167}	1.31	1.21
AHL2	28.84 T ^{-0.01}	26.82 T ^{-0.93}	1730.63 T ^{-0.99}	1721.54 T ^{-0.89}	17.30 T ^{-0.99}	18.29 T ^{-0.89}	1.47	1.42
T	6.01 T ^{-0.01}	5.09 T ^{-0.02}	360.78 T ^{-0.99}	340.86 T ^{-0.89}	236.31 T ^{-0.345}	216.12 T ^{-0.355}	1.85	1.73

[†]AFC = ácidos fúlvicos del compost, AHC = ácidos húmicos del compost, AFL = ácidos fúlvicos de la leonardita, AHL = ácidos húmicos de la leonardita; A = "antes" del experimento, D = "después" del experimento.

Concentrado del análisis estadístico de la velocidad de infiltración básica (IB) de las parcelas tratadas con las sustancias húmicas extraídas de compost y leonardita.

Tratamiento	F	P > F	Media	Tratamiento superior
"Antes"	1544.01	0.000**	2.84	AFL2 _a
"Después"	488.75	0.000**	2.73	AFL2 _d

AFL2_a = 1.60 mg L⁻¹ de agua de ácidos fúlvicos de la leonardita antes del experimento.

AFL2_d = 3.20 mg L⁻¹ de agua de ácidos fúlvicos de la leonardita después del experimento.

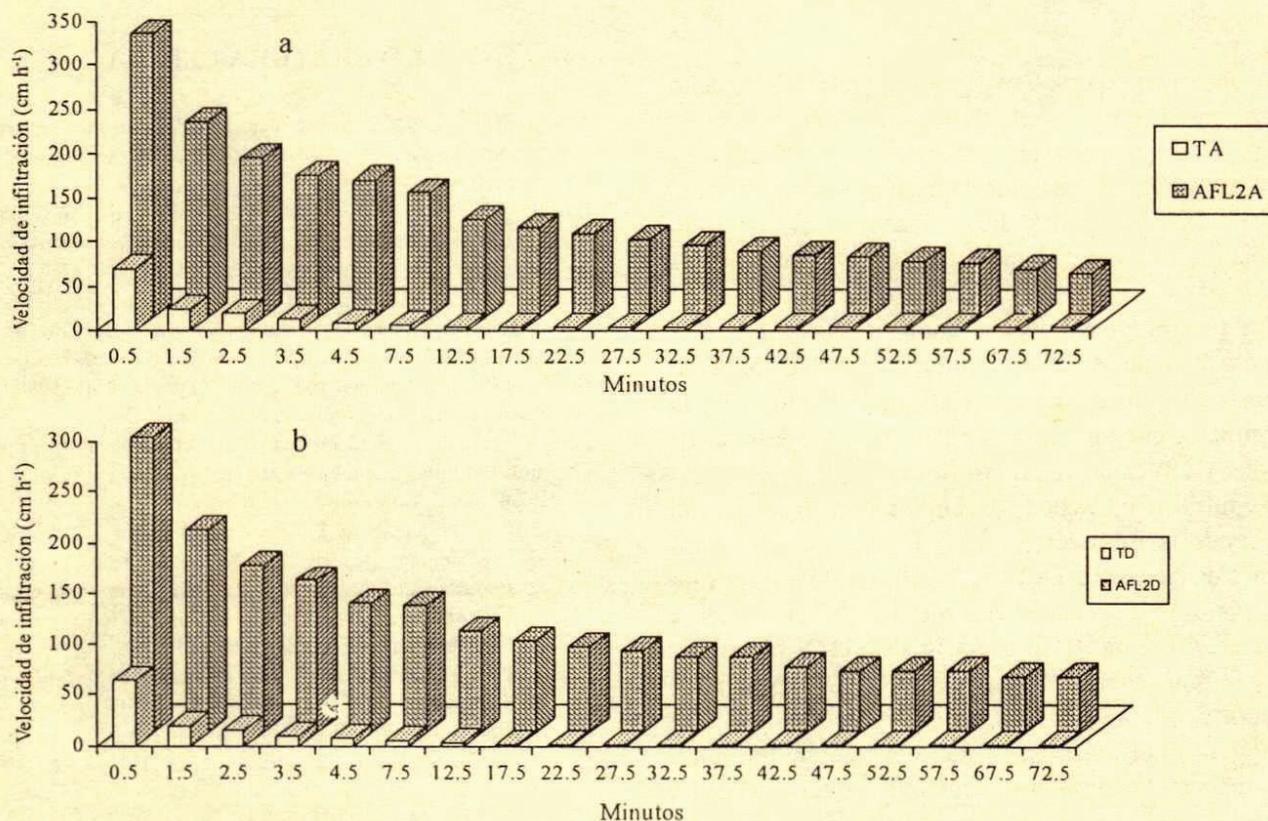


Figura 1. Velocidad de infiltración de los 10 cm superficiales de una parcela con suelo de textura franca-arcillo-limosa, al adicionar ácidos fúlvicos de leonardita, medida a) "antes" (A) y b) "después" del inicio del experimento (D); T = testigo.

- Kilmer, V. J. y L. T. Alexander. 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 68: 15-24.
- Lax, A., A. Roig y F. Costa. 1986. A method for determining the cation-exchange capacity of organic materials. *Plant Soil* 94: 349-355.
- Minitab. 2002. MINITAB 13. State College, PA, USA.
- Nayak, D. C., Ch. Varadachari y K. Ghosh. 1990. Influence of organic acidic functional groups of humic substances in complexation with clay minerals. *Soil Sci.* 149: 268-271.
- Orlov, D. S. 1995. Humic substances of soils and general theory of humification. Balkema. Brookfield, VT, USA.
- Ortiz, V. B. y C. A. Ortiz-Solorio. 1987. Edafología. 6a edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Pedro, G. 1991. Module de Pedologie Generale. Diplome d'Etudes à Profondie de Pedologie. Institute National Agromomique Paris-Grignon. Paris, France.
- Pettit, R. E. 2004. Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid, and humin: their importance in soil fertility and plant health. HumaTech. <http://www.humate.info/>
- Piccolo, A. y J. S. C. Mbagwu. 1990. Effects of humic substances and surfactants on the stability of soil aggregates. *Soil Sci.* 147: 47-54.
- Schnitzer, M. 2000. Life time perspective on the chemistry of soil organic matter. *Adv. Agron.* 68: 3-58.
- Schnitzer, M. y U. C. Gupta. 1965. Determination of acidity in soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 274-277.
- Tisdall, J. M. y J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Torres R., E. 1982. Manual de conservación de suelos. Diana. México, D. F.
- Van Soest, P. J. y R. H. Wine. 1968. Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 51: 780-787.
- Walkley, A. y C. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.