

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERIA**



**EFFECTIVIDAD DE DOS ÁCIDOS HÚMICOS DE LEONARDITA EN LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS DE UN SUELO LIMO-ARCILLOSO**

**Por:**

**Víctor Tizoc Morales Basilio**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**Ingeniero Mecánico Agrícola**

**Buenvista Saltillo, Coahuila, México.**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"

DIVISION DE INGENIERIA

EFFECTIVIDAD DE DOS ÁCIDOS HUMICOS DE LEONARDITA EN LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS DE UN SUELO LIMO-ARCILLOSO.

Por:

Victor Tizoc Morales Basilio

Tesis

Que somete a consideración del H. Jurado examinador


Como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO MECANICO AGRICOLA

Aprobada

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rubén López Cervantes  
Asesor principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Martín Cadena Zapata  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Guillermo González Cervantes  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez  
Coordinador de la División de Ingeniería



Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"  
Coordinación de Ingeniería

Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

# ÍNDICE

## AGRADECIMIENTO

## DEDICATORIA

Índice de Cuadros.....	i
Índice de Figuras.....	ii
Resumen.....	iv
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
Objetivo.....	3
Hipótesis.....	3
<b>Revisión de literatura.....</b>	<b>4</b>
Origen de las sustancias húmicas.....	4
Las sustancias húmica.....	5
Composición de sustancias húmicas.....	6
Estructura de sustancias húmicas.....	9
Funciones de sustancias húmicas.....	10
Ácidos húmicos de leonardita.....	14
Efecto de los ácidos húmicos en la estabilidad de agregados.....	16
<b>Materiales y Métodos.....</b>	<b>22</b>
Localización del experimento.....	22
Metodología.....	23

Resultados.....	27
Discusión.....	51
Conclusión.....	52
Literatura Citada.....	53

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios** por darme la vida y la fortaleza necesaria para salir adelante.

**A mi “ALMA TERRA MATER”** por haberme brindado la oportunidad de pasar a formar parte de ella, por aprender y de formarme como profesionista así como también a crecer como persona.

**Al Dr. Rubén López Cervantes** por haberme brindado su amistad y por su gran apoyo para realizar este trabajo.

**A todos los maestros de la Universidad** los cuales se encargaron de guiarme por el camino del aprendizaje, agradezco infinitamente por todo el apoyo moral y de estudio que me brindaron al trasmitirme su conocimiento y experiencias propias, las cuales formaron las bases de mi formación profesional.

**A todo el personal del Departamento de Maquinaria Agrícola** por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera por corregirme y ubicarme al Ing. Héctor Uriel Serna Fernández, Ing. Juan Antonio Guerrero Hernández, Ing. Juan Arredondo Hernández, Ing. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, Ing. Jesús R. Valenzuela García, Ing. Rosendo González Garza, Dr. Martín Cadena Zapata, Dr. Santos Gabriel Campos Magaña.

**A Motores y Tractores del Norte S.A. de C.V.** por haberme dado la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales, a los ingenieros mecánicos, Ignacio Alvarado, Lino Eduardo Esparza, Héctor Cantú, Carlos Hernández, Sergio Antonio Navarro, Jesús lucio Cardona, Ismael López, Gustavo Espinoza y José Luis coronado por todo el apoyo y conocimiento que ellos me transmitieron cuando forme parte del equipo de trabajo.

**A mis amigos de dormitorio palomar dos planta alta,** pollo, zague, gollito, dago, barrabas, dui, tío, sempa, cacheton, sapo, cando, chelo, edvino, bolas, cabezon, marcia, camello, avestruz, carnal Monclova, carlitos, gabo, negro, alien, topo, charal, avismito, chancla, cuervo, sacahuil, jefe, por brindarme su apoyo y compartir buenos y malos momentos juntos.

**A mis compañeros de la generación CVIII:** Samuel, Josafat, Nahúm, Ignacio, Joel, Cesar, Álvaro, Cándido, Nelson, Obet, José, Darwin, Smorfin, Choco, Deya, Romain, colocho, Michel,

**A Esmeralda Barrios Aguilar** por todo el apoyo que me ha brindado desde que la conocí a hasta la fecha al aguantarme y dejarme estar a su lado, por todos los momentos de felicidad y tristeza que pasamos juntos.

**A todas las personas que me asistieron en saltillo.** Por estar siempre al pendiente y abrirme las puertas de sus hogares sin conocerme agradezco infinitamente eso apoyo que siempre me dieron.

## DEDICATORIA

*A mis padres*

**Margarita Basilio de Jesús**

**Adán Morales Vázquez**

Gracias por haberme dado el regalo más valioso que es “la vida” por haberme formado como un hombre de bien, humilde y sencillo pero en especial a mi madre por todo el amor y cariño que siempre me brindo incondicionalmente, al dirigirme y guiarme por el camino del bien con sus consejos y regaños los cuales siempre estarán presentes en mi mente y que de una u otra manera siempre fueron pensando en mi bienestar los cuales me ayudaron a sobresalir en mi vida cotidiana. Es cierto no existen padres perfectos pero no pude haber tenido unos mejores que ustedes y que a pesar de las indiferencias que existieron entre ustedes nunca dejaron de ser unas personas a las cuales admiro y amo por el solo hecho de ser mis padres. Por haber tenido siempre la confianza en mí y con mucho cariño para ti mamá porque fuiste y serás mi gran ejemplo siempre. Con todo el cariño del mundo porque eres el ser que más admiro respeto y amo, que Dios te bendiga te cuide y mantenga a mi lado mucho más tiempo.

*A mis tíos:*

Patricia	Joaquín
Lorenza	Gonzalo
Balbina	Anselmo
Josefina	Vicente
Vidal	Francisco

Por brindarme siempre un apoyo incondicional desde el primer momento en el cual yo les informe que me venía a estudiar a saltillo, porque siempre me impulsaron a salir adelante y seguir estudiando, por estar en las buenas y malas decisiones, en momentos triste y agradables de mi vida, por formar parte de mi educación ya que fueron personas

que siempre estuvieron al pendiente de mi en muchos aspectos moral, económico y emocional. Los quiero mucho y gracias porque ustedes también son parte de este proyecto.

***A mis compañeros de dormitorio.***

Porque fueron para mí como una familia ya que siempre estuvieron en esos momentos de diversión y tristezas todos formaron parte de mi persona por que todos me enseñaron algo de cada uno de los lugares de donde son originarios los cuales con humildad y sencillez siempre te dieron la mano cuando estabas tirado gracias amigos compañeros y hermanos siempre lo llevare conmigo porque ha sido la etapa más bonita de mi vida haberme encontrado con ustedes que dios los bendiga y les deseo lo mejor.

“GRACIAS A TODOS”



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Composición elemental de los ácidos húmicos y fúlvico.....	7
Cuadro 2.- Análisis elemental y peso molecular de algunos modelos de ácidos húmicos.	8
Cuadro 3.- Características determinadas al suelo al principio del experimento.....	23
Cuadro 4.- Tratamientos con su respectiva dosificación.....	24
Cuadro 5.- Análisis de varianza para materia orgánica (MO) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	28
Cuadro 6.- Análisis de varianza para carbonatos totales (CO <sub>3</sub> ) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	28
Cuadro 7.- Análisis de varianza para el contenido de arena (A) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	29
Cuadro 8.- Análisis de varianza para el contenido de arcilla (Ar) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	30
Cuadro 9.- Análisis de varianza para el contenido de limo (L) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	30
Cuadro 10.- Análisis de varianza para la estabilidad de agregados (Ag) de un suelo limo arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	31
Cuadro 11.- Matriz de correlaciones de las variables medidas a un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	33
Cuadro 12.- Análisis sobre la regresión lineal de la Ag y la relación con cada una de las variables medidas en un suelo limo-arcilloso. (% mo, % caco <sub>3</sub> , %arena, %arcilla, % limo).....	34
Cuadro 13. Análisis de regresión lineal y la relación que tienen todas las variables medidas con la Ag de un suelo limo-arcilloso.....	34

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Distribución de la estabilidad de agregados en tamaños por tratamiento y profundidad de suelo.....	20
Figura 2.- Calibración del microscopio petrográfico para definir la escala y las unidades a (16x).....	25
Figura 3.- Calibración del microscopio petrográfico para definir las unidades y la escala (50x).....	26
Figura 4.- Porcentaje de MO y $\text{CaCO}_3$ con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	29
Figura 5.- Porcentaje de arena, arcilla y limo con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	31
Figura 6.- Porcentajes de Ag con la adición de sustancias húmicas de leonardita.....	32
Figura 7. Imagen de nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de $2\text{ml.litro}^{-1}$ de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales.....	35
Figura 8. Imagen nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de $2\text{ml.litro}^{-1}$ de agua de ácidos húmicos experimentales.....	36
Figura 9. Imagen nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de $4\text{ml.litro}^{-1}$ de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales.....	37
Figura 10. Imagen de nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de $4\text{ml.litro}^{-1}$ de agua de ácidos húmicos experimentales.....	38
Figura 11. Imagen de nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de $6\text{ml.litro}^{-1}$ de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales.....	39
Figura 12. Imagen nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de $6\text{ml.litro}^{-1}$ de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales.....	40
Figura 13. Imagen del nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de $2\text{ml.litro}^{-1}$ de agua de ácidos húmicos comercial.....	41

Figura 14. Imagen del nivel porosidad (50x), de un suelo limo-arcilloso con la adición de 2ml.litro <sup>-1</sup> de agua de ácidos húmicos de leonardita comerciales.....	42
Figura 15. Imagen del nivel de estructura (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de 4ml.litro <sup>-1</sup> de agua de ácidos húmicos de leonardita comerciales.....	43
Figura 16. Imagen del nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de 4ml.litro <sup>-1</sup> de agua de ácidos húmicos de leonardita comerciales.....	44
Figura 17. Imagen del nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición 6ml.litro <sup>-1</sup> de agua de ácidos húmicos comerciales.....	45
Figura 18. Imagen del nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de 6ml.litro <sup>-1</sup> de agua de ácidos húmicos comerciales.....	46
Figura 19. Imagen del nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de fertilizante químico 120-80-40 al 50 %.....	47
Figura 20. Imagen del nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de fertilizante químico 120-80-40 al 50 %.....	48
Figura 21. Imagen de nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de agua.....	49
Figura 22. Imagen del nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de agua.....	50

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar la efectividad de ácidos húmicos de leonardita en la estabilidad de agregados de un suelo limo-arcilloso, se colocaron 10 kg del horizonte Ap del suelo limo-arcilloso, en macetas de plástico y se les agregaron 2, 4 y 6 ml.litro<sup>-1</sup> de dos ácidos húmicos de leonardita: uno experimental (AHE) y otro ya comercial (AHC); además, se empleó fertilizante químico 120-80-40 (FQ) y solo agua como testigo absoluto (TA). Las variables medidas fueron materia orgánica (MO), carbonatos totales (CaO<sub>3</sub>), textura (Porcentaje de arena, limo y arcilla), estabilidad de agregados (Ag) y se elaboraron secciones delgadas de suelo, a las que con el microscopio petrográfico se les determinó los niveles estructural (16x) y porosidad (50x). Se encontró que al aplicar 2ml.litro<sup>-1</sup> de agua del AHE se presentó el mayor valor de MO. Con la adición de 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de AHE, la superior cantidad de CaO<sub>3</sub> estuvo presente. Los tratamientos no realizaron efecto significativo en los contenidos de arena y arcilla; mientras que en el limo sí. En la Ag los tratamientos realizaron efecto significativo, ya que a la dosis de 4 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los AHC, se aventajo al TA en 3.5 % y hay 99.7 % de correlación, de esta variable, con la MO, CaCO<sub>3</sub>, arena, limo y arcilla. En el suelo donde se adicionaron los AHE, se formaron la mayor cantidad de poros y la estructura con buena agregación, que donde se aplicaron los AHC. Se concluye que la mezcla de las dosis bajas de los ácidos húmicos de leonardita experimentales, aumenta la cantidad de materia orgánica y junto con la arena y la arcilla, tienen efecto positivo en la estabilidad de agregados, de un suelo limo-arcilloso; mientras que los ácidos húmicos de leonardita comercial, produjeron que la estructura del suelo fuera granular.

**PALABRAS CLAVE:** Ácidos Húmicos de leonardita, Estabilidad de agregados, Materia Orgánica.

## INTRODUCCION

Los suelos agrícolas de los estados del noreste de México, como son Coahuila con 454713 Has., Nuevo León con 392,415 Has. , Tamaulipas con 1,574,193 Has y Zacatecas 1,351,224 Has., respectivamente, son Calcisoles (INEGI 2010); estos se caracterizan por poseer menos del uno por ciento de materia orgánica, más del 25 por ciento de carbonato de calcio, porosidad inferior al 40 por ciento, y poros con diámetro menor a 70  $\mu\text{m}$  (poros por donde circula el agua) y en los horizontes superficiales del suelo domina la textura limo-arcillosa (FAO/UNESCO, 1994); La fracción arcilla es dominada por las illitas y la densidad aparente oscila entre 1.2 y 1.3  $\text{g cm}^{-3}$  (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; además, cuando están secos son fácilmente erosionables y cuando están húmedos son de difícil laboreo. 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; Dinel *et al.* 1992).

Las sustancias húmicas (SH) son los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR).

Los AH son de bajo peso molecular, producen un rápido mecanismo de agregación, porque estas poseen acidez superior a los AF, es decir mayor cantidad de grupos funcionales oxigenados libres carboxilos, oxhidrilos fenólicos y carbonilos (-COOH, -OH y -COO) (Schnitzer, 2000). Para Oades en (1984), los agentes transitorios y temporales son los responsables de la estabilidad de los macroagregados, mientras que los persistentes lo hacen con los microagregados. En los AF dominan los grupos funcionales carboxilos (-COOH) y para los AH los grupos oxhidrilos fenólicos (OH), porque más del 80 por ciento de la estructura molecular de dichos ácidos, está formada por los grupos funcionales mencionados (Schnitzer, 2000), también López (2002), encontró algo similar al analizar compuestos extraídos de composta.

López *et al.* (2006), al adicionar diversas cantidades de AH y AF extraídos de un compost elaborado con estiércol de bovino y residuos de cocina y otros de leonardita (mineral fósil de carbón), concluyeron que los AF tienen influencia significativa en algunas características físicas de un Calsisol como: la porosidad, la estabilidad de agregados pero no hay efecto significativo en la densidad aparente. Además, aunque la mayoría de los trabajos se han centralizado en el uso de materiales orgánicos con SH de diverso peso molecular, para mejorar la estructura no presenta con claridad el o los mecanismos y factores involucrados en la estabilidad de agregados.

La gran mayoría de los agricultores, emplean generalmente residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal para aumentar la fertilidad nativa del suelo y así suministrar elementos nutrimentales a las plantas; sin embargo, no los adicionan con el fin de mejorar las características físicas del suelo, entre ellas la estructura. Por lo comentado, es necesario buscar alternativas que ayuden en el mejoramiento de las características físicas y sobre todo con materiales orgánicos líquidos, los que tienen la ventaja sobre los compuestos orgánicos sólidos, de que su acción es mucho más rápida sobre el suelo.

## **OBJETIVO**

Correlacionar la efectividad de dos ácidos húmicos de leonardita uno experimental (AHE) el otro comercial (HUC), en la estabilidad de agregados de un suelo limo-arcilloso, en maceta y en condiciones de invernadero en la UAAAN en Buenavista Saltillo.

## **HIPOTESIS**

EL peso molecular y la capacidad para intercambiar cationes del ácido húmico, permiten la agregación de las partículas minerales del suelo y su estabilización al aumentar la fuerza intrínseca de los agregados.

## REVISION DE LITERATURA

### Origen de la leonardita

La leonardita es una forma de ácidos húmicos encontrada exclusivamente en Dakota del Norte. Es llamada así en homenaje al Dr. A.G. Leonard, el primer director del Servicio Geológico del Estado de Dakota del Norte y primer científico que estudió las propiedades de esa sustancia. La formación de la leonardita se remonta a la era carbonífera del Paleozoico, cerca de 280 millones de años atrás. La amplia y jugosa vegetación existente entonces en lo que es hoy Dakota del Norte fue destruida y carbonizada, pero en ese proceso fueron exprimidos los ricos jugos orgánicos formando originalmente lagunas de poca profundidad que también se carbonizaron dando origen a la leonardita. La masa fibrosa se transformó en carbón en cima del cual se formó la delgada capa de leonardita. A través de los millones de años de su formación, la leonardita ha estado sujeta a toda clase de acciones físicas y químicas, como también microbiológicas, para llegar a su forma actual (Jackson, 1993)

El mismo autor dice que la leonardita es una forma de ácidos húmicos, existen muchos ácidos húmicos. Lo que todos los ácidos húmicos tienen en común es que son el producto final de la descomposición de materias orgánicas (principalmente vegetales). Pero, lógicamente, el material de origen ha sido diferente en cada caso.

También ha sido diferente el proceso de formación y su duración. Como contraste se citan los ácidos húmicos encontrados en La Florida que provienen de una muy reciente (máximo 50.000 años) formación de turba. Aunque tratándose en ambos casos de “ácidos húmicos”, hay una gran diferencia en su estructura molecular y sobre todo en sus propiedades biológicas. Queda claro que no hay una definición exacta de “ácidos húmicos”. Se trata más bien de una designación genérica. Pero, incluso en el caso de la leonardita, es probable que no existan dos moléculas exactamente iguales, aún si vienen del mismo lugar de la misma mina. Hemos usado el término “ácidos húmicos” (plural) no sólo por la diversidad de esas sustancias, sino también porque se trata de un nombre colectivo de tres (Naturwissenschaften, 1993)



## Las Substancias húmicas

El término sustancias húmicas (SH), se refiere a una categoría de materiales originados naturalmente encontrados en: suelos, sedimentos y aguas naturales; son el producto de la descomposición de residuos de plantas y animales (Stevenson, 1994; MacCarthy, 2001); constituyen la fracción de la materia orgánica del suelo (MOS) más importante por su efecto en la ecología, estructura y fertilidad del suelo, así como en el crecimiento de las plantas (Huang *et al.*, 2006); han sido reconocidas como ensamblajes complejos de moléculas derivadas de la degradación de plantas en el suelo y sedimentos (Hatcher *et al.*, 2001); son de primordial importancia en el control del destino de los contaminantes del ambiente y la Biogeoquímica del Carbono Orgánico (CO) en el ecosistema global (Piccolo, 1996), no obstante su papel en la sustentabilidad de la vida, su naturaleza química básica y su reactividad son aún poco entendidas (Piccolo, 2001).

Desde el punto de vista estructural, las SH consisten de un sistema macromolecular caótico dentro del cual sus propiedades no pueden ser determinadas ni expresadas en términos de sus diferentes unidades independientes (Almendros *et al.*, 1994). Lehn (1995), define las SH como: “Conjuntos supramoleculares que resultan de la asociación espontánea de un gran número no definido de componentes dentro de una fase específica, dando más o menos organización microscópica bien definida y características macroscópicas, dependiendo de su naturaleza (tal como películas, capas, membranas, vesículas, micelas, fases mesomórficas, estructuras de estado sólido, etc.). Las SH constituyen una categoría de compuestos orgánicos heterogéneos que pueden ser caracterizados por su color amarillo a negro, de alto peso molecular y refractariedad (Aiken *et al.*, 1985).

Las definiciones de las fracciones de las SH están basadas en las características de solubilidad en sistemas acuosos (Hayes y Clapp, 2001), representan la suma total de ácidos húmicos (AH) (sustancias solubles en soluciones alcalinas e insolubles en ácidos) + ácidos fúlvicos (AF) (sustancias solubles en soluciones alcalinas y ácidas) + huminas (Hm) (sustancias insolubles tanto en soluciones alcalinas como ácidas). Inevitablemente, esta clasificación es necesaria para aislar y caracterizar a estas fracciones (Schnitzer, 2000). Cuando se aíslan químicamente las SH son alteradas y los productos son

artefactos que no son producidos en los procesos naturales del suelo (Hayes y Clapp, 2001).

En consideración del concepto de asociaciones supramoleculares, las definiciones clásicas de AH y AF pueden ser reconsideradas. Los AF pueden ser considerados como asociaciones de pequeñas moléculas hidrofílicas que tienen bastantes grupos funcionales ácidos que permiten que los grupos fúlvicos se dispersen en solución a cualquier pH. Los AH están constituidos por asociaciones de moléculas predominantemente hidrofóbicas (cadenas polimetilénicas, ácidos grasos, compuestos esteroideos) que se estabilizan a pH neutro por fuerzas dispersivas hidrofóbicas (Van der Waals, pi-pi, y enlaces CH-pi) su crecimiento conformacional en tamaño se da cuando se forman progresivamente los enlaces intramoleculares de hidrógeno a bajo valor de pH hasta que flocculan (Piccolo, 2001). Los AH son un producto relativamente estable de la descomposición de la MOS (Mackowiak *et al.* 2001).

### **Composición de las sustancias húmicas**

Un procedimiento invaluable para caracterizar los ácidos húmicos y fúlvicos es a través de la degradación de sus monómeros individuales. El objetivo principal es producir compuestos simples representativos de las unidades estructurales en la macromolécula húmica. Idealmente, los productos obtenidos pueden proveer información que puede trazar el tipo de estructura y su fórmula (Stevenson, 1994). Los ácidos húmicos del suelo muestran propiedades muy variables, sus características dependen del suelo y condiciones climáticas, uso de la tierra, manejo del suelo y fertilización, propiedades de material orgánico, etc. (Dziadowiec, 1994).

El análisis elemental de las sustancias húmicas provee información sobre la distribución de los elementos constitutivos principales (Schnitzer, 1982). De acuerdo a Schnitzer (1978) los principales elementos en las sustancias húmicas son el C y el O. El C se encuentra en el rango de 50% a 60 % y el contenido de O en el rango de 30% a 35%, mientras que los porcentajes de H y N varían de 4% a 6% y de 2% a 6%, respectivamente. En los AF el contenido de C es menor (40% a 50%) y el de O de 40% a

50%. Los datos vertidos en el cuadro uno han sido generados por investigaciones en el laboratorio, y la interpretación de la información proveniente de esas investigaciones es que los ácidos húmicos y fúlvicos son diferentes, puesto que al acidificar la solución alcalina donde se encuentran disueltos hasta pH de 2.0, se precipitan los ácidos húmicos; además, a través de una disolución alcohólica se pueden separar los ácidos himatomelánicos, consecuentemente, hay una anomalía en la manera de interpretar la composición de estas macromoléculas (Venegas, 2004). Steelink (1983), propone los compuestos que se presentan en el cuadro 1.

<b>Cuadro 1. Composición elemental de los ácidos húmicos y fúlvicos</b>		
Elemento	Ácidos Húmicos (%)	Ácidos Fúlvicos (%)
Carbono	53.8 – 58.7	46.7 – 56.6
Oxígeno	32.8 – 38.3	39.7 – 49.8
Hidrógeno	03.2 – 06.3	03.8 – 07.0
Nitrógeno	00.8 – 04.3	00.9 – 03.3
Azufre	00.1 – 01.5	00.1 – 03.6

Del análisis del cuadro se desprende que muchas moléculas de los ácidos húmicos y fúlvicos tienen composiciones elementales traslapadas, las moléculas cuyas composiciones de C están entre 53.8 y 56.6 %, de H entre 3.8 y 6.5 %, de N entre 0.9 y 3.3 % y de S entre 0.1 y 1.5 %, aparecen como ácidos húmicos o fúlvicos, por lo que se puede decir que ambas clases de moléculas pertenecen a un mismo tipo de compuestos; además, Stevenson (1994) dice que aunque los ácidos húmicos y fúlvicos comparten algunas características estructurales, existen diferencias significativas entre ellos. Schnitzer (2000) señala que los ácidos húmicos y fúlvicos no son sustancias químicamente diferentes, aunque, Piccolo (2002) indica que las SH tienen propiedades específicas que las diferencian.

A partir del cuadro 2 se puede establecer que hay una variación bastante significativa en la composición de los ácidos húmicos, y en general muy diferente respecto a la reportada por Steelink (1983); además, el contenido de C es inverso al peso molecular, en tanto que los del oxígeno y nitrógeno tienden a aumentar con el peso molecular, lo que

significa baja alifaticidad de estas macromoléculas. En los resultados de estos trabajos los autores no reportan datos sobre la composición de los ácidos fúlvicos que permitan tener un punto de comparación con los obtenidos por Steelink (1983). Cuadro 2. Algunos modelos de ácidos húmicos tienen las siguientes características (Schnitzer, 2000).

<b>Cuadro 2: Análisis elemental y peso molecular de algunos modelos de ácidos húmicos</b>							
<b>Año</b>	<b>Composición Elemental</b>	<b>Peso Molecular</b>	<b>Análisis Elemental (%)</b>				
			<b>C</b>	<b>H</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>S</b>
1993	C308O90N5	5547.90	66.78	5.79	25.90	1.26	-
1993	C342H388O 124N12	6650.80	61.80	5.90	26.80	2.50	-
1997	C305H299O 134N16S1	6365.00	57.56	4.73	33.68	3.52	0.50
1997	C349H401O 173N26S1	7760.00	66.78	5.79	25.9	1.26	0.40
2000	C308O90N5	5540.00	66.80	6.00	26.0	1.30	--

La composición elemental de las sustancias húmicas no es muy clara y no se puede considerar como un elemento de juicio para clasificarlas en un grupo o en otro. Además, las diferentes técnicas para su extracción, purificación y análisis reportan contenidos diferentes de estas sustancias en un mismo material (Hayes *et al.*, 1996).

Dziadowiec (1994), indica que la composición elemental de los AH depende del tipo y grado de humificación. La maduración de los AH está acompañada por el aumento en la carboxilación. Un grado de humificación bajo para los AH, presenta un alto porcentaje de H y un bajo contenido de O comparado con materiales de alto grado de humificación. Resultados similares presentan Huang *et al.*, (2006) en el análisis elemental hay una disminución en el contenido de H y C y un aumento en el contenido de N y O de los AH. Los AF tienen una tendencia similar; sin embargo, muestran disminución en el

contenido de N. La disminución del contenido de C puede ser explicada por la descomposición de carbono orgánico durante el compostaje. La disminución del contenido de H indica la sustitución o fusión de cadenas alifáticas para formar grupos aromáticos. Un aumento relativo de N en los AH puede deberse a la incorporación de N a los AH a través de la condensación de la lignina con las proteínas o debido a la complejación del N con la lignina. El aumento de O provoca un aumento en grupos funcionales que contienen O como los cetónicos-carboxílicos (C=O) y grupos alcohólicos-fenólicos (OH). Las relaciones C/H de los AH y los AF aumenta después del compostaje, indicando un aumento relativo en estructuras insaturadas sobre las saturadas. La disminución de las relaciones C/O en los AH y los AF indican que los grupos que contienen O (C=O) aumentan después del compostaje. El aumento en las relaciones C/N de los AF sugieren que el N se mineraliza más rápidamente que el C durante el proceso de compostaje. De acuerdo a Stevenson (1994), la relación H/C se cree que mide el grado de insaturación de los AH.

### **Estructura de las sustancias húmicas**

Un mejor entendimiento de la evolución de la estructura de las sustancias húmicas es fundamental para una mayor comprensión de los procesos naturales que ocurren en los materiales orgánicos (Fuentes *et al.*, 2006; Mineni *et al.*, 1999). Las evidencias espectromicroscópicas *In situ*, muestran que la estructura macromolecular de ellas (tamaño y forma) varían en función del origen de las SH, de la solución química y de la mineralogía asociada (Mineni *et al.*, 1999). Griffith y Schnitzer (1989) y Stevenson (1994) indican que las estructuras son las responsables de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las AH del suelo; así mismo, que el conocimiento de las estructuras básicas de los ácidos húmicos y fúlvicos es indispensable para entender las funciones de los constituyentes de las sustancias húmicas del suelo.

Se han propuesto muchos modelos estructurales de las SH destacando los de Steelink, (1985), Buffle, (1977), Stevenson, (1982), Griffith y Schnitzer, (1989) Schulten y Schnitzer, (1997) y Epstein *et al.* (1997). Sin embargo, MacCarthy *et al.* (1990) indican que estos materiales no pueden ser representados mediante una fórmula estructural o

molecular discreta, ya que se encuentran completamente unidas de una manera aleatoria que resulta en un material de extraordinaria complejidad y heterogeneidad. Por su parte, Hayes *et al.* (1996), rechazan cualquier propuesta de estructura de las SH, sobre la base de que su formación sigue un patrón aleatorio, pues dicen que sería errónea y podría sugerir extrapolaciones para predecir las propiedades e interacciones que puedan guardar semejanza con las SH.

La tecnología de punta, a través de la aplicación del espectro de resonancia magnética nuclear y la pirolisis, ha demostrado que no existen dos moléculas húmicas iguales, ni en composición ni en estructura, por ejemplo, de la información vertida con esta tecnología y sobre la base de la composición elemental, contenido de grupos funcionales y macromoléculas orgánicas no humificadas (carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, etc.) asociadas con las SH, se ha concluido que los ácidos húmicos, los ácidos fúlvicos y las huminas, pertenecen al mismo tipo de compuestos (Schnitzer, 2000) y se considera que no hay suficientes elementos de juicio para ubicarlos en grupos diferentes.

### **Funciones de las sustancias húmicas**

La adición de la materia orgánica humificada (SH) a los suelos incrementa la estabilidad de agregados y disminuye la densidad aparente; sin embargo, los agentes persistentes responsables de la microagregación aumentan muy poco el tamaño de estos. El proceso de microagregación es lento y está en función del tipo y la cantidad de los agentes; por ejemplo la adición de AH (Piccolo y Mbagwu, 1990) y AF (Fortun *et al.* 1989), a suelos areno-limosos son efectivos 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, Fortun *et al.*, (1989) establecieron que las sustancias húmicas de bajo peso molecular producen un mayor, más favorable, mas fuerte y rápido mecanismo de agregación, porque estas poseen acides total superior, es decir, mayor cantidad de grupos funcionales oxigenados libres: oxhidrilos fenólicos y carbonilos (-COOH, -OH,-

COO). La agregación del suelo se inicia con la formación de complejos órgano-minerales gracias a la unión de arcillas con grupos funcionales el humus por medio de cationes bi- o polivalentes que actúan como puentes entre los compuestos inorgánicos y orgánicos (Dinel *et al.*, 1992; Horm *et al.*, 1994). Gracias a fuerzas electroquímicas los complejos forman partículas de mayores dimensiones denominadas dominios; la unión de estas 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 la unión de los AH y los AF con cationes que sirven como puentes y la función que tienen estas como sustancias (agentes persistentes), en algunas propiedades físicas de los suelos han sido poco estudiadas y el o los procesos no se conoce con certeza.

Los compost originados de residuos de plantas o estiércol son conocidos por su alto nivel de SH. Las concentraciones óptimas de SH para todos los parámetros de crecimiento (peso de raíz y de tallo, concentración de clorofila, área de la hoja, altura de la planta) se encontró en el rango de 35 a 55 mg L<sup>-1</sup> (Chen *et al.*, 1994). Directamente, las SH promueven el crecimiento de las plantas actuando en la permeabilidad de la membrana como proteínas acarreadoras de iones, activando la respiración, el ciclo de Krebs, la fotosíntesis y la producción de trifosfato de adenosina y aminoácidos (Malcolm y Vaughan, 1978, 1979; Vaughan y Malcolm, 1985).

El material húmico tiene una actividad biológica muy compleja, dependiendo de su origen, tamaño molecular, características químicas y concentración. Esto exhibe un rango de efectos diferentes en el metabolismo de las plantas en diversos sistemas que han sido ensayados (Nardi *et al.*, 2002). Durante los últimos años, se ha investigado la actividad biológica de las SH derivadas de diferentes suelos y de diferentes sustratos (Vaughan y Malcolm, 1985; Dell'Angola y Nardi, 1987; Muscolo *et al.* 1993; Biondi *et al.* 1994; Csicsor y Gerse, 1994; Chen *et al.* 1994; Dell Amico *et al.* 1994; Figliolia *et al.* 1994; Nardi *et al.* 1999; Nardi *et al.* 2000; Piccolo, 2002; Canellas *et al.* 2002; Spaccini *et al.* 2006; Zandonadi, *et al.* 2007).

Nardi *et al.* (1999) mostraron que las SH inducen cambios morfogénicos y biológicos en hojas de *Nicotiana plumbaginifolia*, afectando los modelos de peroxidasa y estearasa,

enzimas que están involucradas en la organogénesis y pueden ser indicadoras de embriogénesis somática. Este efecto peculiar a la fracción húmica con una masa molecular relativamente baja (< 3500 Da), fueron similares a los producidos por el ácido indol-3-acético (IAA); las fracciones húmicas con un peso molecular relativamente alto (>3500 Da) no tuvieron efecto en este sistema vegetal. Es claro que los componentes de bajo peso molecular de las SH son biológicamente activas (Nardi *et al.*, 2002). Resultados contrastantes fueron encontrados por Muscolo *et al.*, (2007), quienes dicen que la actividad diferente de las SH parece estar relacionada a la diversa composición química más que a los diferentes pesos moleculares.

Las SH son conocidas por incrementar la agregación del suelo (Bremmer, 1954; Whitehead, 1963), evitar la compactación (Soane, 1990), aumentar la capacidad de retención de agua (De Jong *et al.* 1983) y la capacidad de intercambio catiónico (Stevenson, 1994). Además, pueden servir como un reservorio para retener micronutrientes (Mackowiak *et al.* 2001) y macronutrientes (Beneditti *et al.* 1994; Biondi *et al.* 1994; Abou-Hadid *et al.* 2001; Senesi y Loffredo, 1999; Zachariakis *et al.* 2001;) en el suelo y hacerlos disponibles después a los pelos radicales de plantas.

Piccolo y Mbagwu (1990) sugirieron que la estabilidad de agregados está significativamente correlacionada a la concentración de AH y no a la de AF, ya que los AH están directamente involucrados en la formación de complejos orgánico-arcilla, mientras que los AF no.

En los primeros estudios (Piccolo y Mbagwu, 1989, 1994), explicaron los resultados experimentales con un mecanismo por el cual las SH mejoran la estabilidad de agregados a través de la formación de enlaces arcillas-metal-sustancia húmica con los grupos hidrófilicos que contienen O de las SH. Tales enlaces serían orientados hacia las mitades hidrofóbicas de las SH fuera de los agregados del suelo para formar una capa repelente al agua (con alta tensión superficial) que es capaz de reducir la entrada de agua en los agregados, así aumentando su estabilidad en agua. A través de la formación de los complejos arcilla-metal-húmico fue confirmado por varios estudios (Singer y Huang, 1993; Theng, 1976; Varadachari *et al.*, 1991), un elevado número de estudios apunta la importancia de enlaces no iónicos o factores entrópicos en las interacciones entre arcillas y compuestos húmicos del suelo (Varadachari *et al.*, 1994). Así, la influencia del tamaño



molecular de las SH y de su flexibilidad estereoquímica fue mostrada en varios estudios (Piccolo y Mbagwu, 1990).

Resultados recientes (Conte y Piccolo, 1999), indicaron que más que tener polimerismo, las SH están compuestas de moléculas relativamente pequeñas de las cuales la mitad de ellas está asociada principalmente por fuerzas hidrofóbicas y su aparente conformación de alto peso molecular en solución, puede ser reversiblemente dispersada por la acción de ácidos orgánicos. Esta observación sugiere que el aumento de la asociación molecular del humus por acumulación de compuestos hidrofóbicos mejora la agregación de las partículas especialmente microagregados (Piccolo y Mbagwu, 1990). La estabilización por componentes hidrofóbicos de la MOS por estar fuertemente adsorbida en las fases inorgánicas del suelo. El efecto de los compuestos hidrofóbicos en la estabilidad de los agregados puede resistir más que los compuestos hidrófilicos tal como carbohidratos, los cuales pueden residir principalmente en la solución del suelo, siendo más rápidamente biodegradados (Piccolo y Mbagwu, 1999).

Los ácidos húmicos tienen un mayor efecto sobre las raíces respecto a las partes aéreas de las plantas; los tallos son menos afectados que las hojas; la intensidad del efecto depende de la especie. Viser (1986), clasifica a las plantas en cuatro grupos de acuerdo a la respuesta que manifiestan a la aplicación de sustancias húmicas:

1. Plantas ricas en carbohidratos (papa, betabel, tomate y zanahoria) las cuales reaccionan fuertemente, y bajo condiciones óptimas pueden obtener hasta un 50% más rendimiento.
2. Cereales (trigo, maíz, cebada, avena, arroz) que reaccionan poco favorablemente.
3. Plantas ricas en proteínas (fríjol, lenteja, chícharo) reaccionan poco.
4. Plantas oleaginosas (algodón, lino, girasol) sólo reaccionan en forma insignificante o son afectadas en forma negativa.

Las SH suelen ser objeto de estudio desde planteamientos propios de la Edafología, Ecología y Microbiología del Suelo, Geoquímica Orgánica o de la Química de Macromoléculas. El estudio de la variabilidad espacial de la composición y de las propiedades fisicoquímicas aporta información ambiental. Por lo tanto, es necesario la

realización de procedimientos de extracción para avanzar en el conocimiento de la composición de las SH y por consiguiente sus mecanismos de acción en el ambiente.

### **Ácidos húmicos de leonardita**

La actividad de los ácidos húmicos y fúlvicos ha sido objeto de una larga lista de trabajos de investigación, y Jackson, (1993), ha condensado la riqueza de datos en las siguientes categorías:

#### **Condiciones Físicas del Suelo**

Mejora la estructura y textura del suelo. De particular importancia en el caso de suelos arcillosos pesados. El suelo se hace más “esponjoso”. Mejora la capacidad de manejar el agua del suelo. Aumenta el drenaje cuando hay exceso de agua, pero siempre retiene agua suficiente. Importante en caso de sequía. Aumento el grado de aireación. Facilita el suministro de oxígeno a los microorganismos aerobios. Facilita la absorción de calor y tiene propiedades “tampón”, concretamente la prevención de cambios rápidos en el pH del suelo gracias a que la SH facilita el intercambio de iones libres de hidrógeno en el suelo.

#### **Condiciones Mecánicas**

Los ácidos húmicos proporcionan, Un medio más favorable para el desarrollo de los sistemas radiculares, es decir, un medio que estimula y multiplica la actividad de los microorganismos beneficiosos del suelo.

#### **Actividad Química en el Suelo**

Los ácidos húmicos son de particular importancia por su contribución a:

La desintegración continua de las rocas en el suelo para así liberar cantidades adicionales de nutrientes importantes.

Las reacciones químicas en el suelo que convierten un número importante de compuestos químicos disponibles para la absorción radicular. Por ejemplo, la conversión de fósforo en la forma disponible para el uso por la planta, y la quelación de compuestos

de hierro en el suelo para que sean aptas para la utilización en el metabolismo de clorofila.

La reducción del “bloqueo” de fósforo en el suelo, particularmente en los suelos arcillosos. La liberación del dióxido de carbono del carbonato de calcio, aumentando así la disponibilidad de este importante nutriente a través de las raíces para la síntesis de carbohidratos.

La neutralización de sustancias químicas potencialmente tóxicas en el suelo.

La alta capacidad de intercambio catiónico en los suelos, permitiendo la mejor retención y utilización de varios elementos, incluyendo minerales y nitrógeno del suelo, al prevenir contra las pérdidas de esos compuestos por drenaje desde la zona radicular. En la presencia de cantidades adecuadas de ácidos húmicos los nutrientes se mantienen en el suelo y se hacen disponibles a las raíces según la demanda. El almacenamiento de nutrientes. La gradual descomposición de sustancias orgánicas por la acción de los microorganismos del suelo resulta en la disponibilidad de: (a) dióxido de carbono, (b) el nitrógeno en forma de amoníaco se transforma rápidamente en nitritos y nitratos por la acción bacteriana, (c) fósforo y otros elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, como azufre y potasio.

Los compuestos orgánicos de alto peso molecular sean reducidos, gracias a los microorganismos y bioquímica del suelo, haciendo disponible hasta 5.000 calorías por gramo de energía para el uso por las plantas hasta que se produzca más biodegradación.

El retardo del crecimiento de los organismos patógenos.

La promoción y conversión (quelación) de un número de elementos en forma de nutrientes para las plantas.

### **Valores Bioquímicos**

Los siguientes efectos generales han sido observados por botánicos, fisiólogos de plantas y horticultores en todo el mundo:

Estimulante del crecimiento y de la división celular de las plantas, incluyendo el crecimiento acelerado debido a la presencia de reacciones de tipo auxínico.

Desarrollo efectivo de los sistemas circulatorios de las plantas.

Funcionamiento más favorable de los sistemas de respiración y transpiración de las plantas.

Reducción en el estrés y el deterioro prematuro.

Las actividades fisiológicas de las plantas relacionadas arriba reciben beneficios adicionales de los ácidos húmicos debido a que contribuyen a la formación de sustancias estimulantes de las plantas conocidas como auximonas que parecen ser absorbidas por las raíces para ocasionar actividades fisiológicas deseables en mayor grado al aumentar la permeabilidad del plasma y membrana celular. Esto promueve la absorción de nutrientes al aumentar el desarrollo de polifenoles que funcionan como catalizadores respiratorios, causando así un aumento en el metabolismo de la planta. La estimulación del sistema enzimático de la planta acelera la división celular.

### **Resultados Pragmáticos**

Como resultado de los factores relacionados arriba, se estimula el crecimiento de las plantas de las siguientes maneras: mejor germinación de semillas; mayor crecimiento radicular; aumento en la formación de nódulos de leguminosas (número y tamaño); mayor resistencia a insectos y enfermedades; mayor resistencia a sequías y heladas.

### **Efecto de los ácidos húmicos en la estabilidad de Agregados**

La materia orgánica del suelo (MOS) es un factor estabilizador de la estructura del suelo, ya que ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a las fuerzas desestabilizadoras como el humedecimiento e impacto de las gotas de lluvia (Lado *et al.*, 2004). Se ha encontrado una alta correlación entre el contenido de carbono orgánico del suelo (CO) y la agregación (Hermawan y Bomke, 1997), así como con la estabilidad de los agregados formados (Haynes *et al.*, 1997), debido a la acción enlazante de las sustancias húmicas y otros productos generados por la actividad microbiana (Shepherd *et al.*, 2001).

Así, al referirse al estado estructural del suelo, además de determinar las partículas minerales que dominan en su superficie, es importante cuantificar la cantidad y el tipo de

materia orgánica presente. En general, la MOS promueve la estabilidad de los agregados porque reduce el hinchamiento del agregado, disminuye la permeabilidad del agregado, reduce las fuerzas destructivas del fenómeno de estallido y aumenta la fuerza intrínseca de los agregados (Fortun y Fortun, 1989). La efectividad del CO en formar agregados estables, está relacionada con su tasa de descomposición, la cual a su vez está influenciada por su protección física y química de la Acción microbiana (Bronick y Lal, 2005).

El contenido de MOS no siempre tiene correlación, o ésta es baja, con la estabilidad de los agregados. Lo anterior sugiere que la cantidad de MOS *per se*, no es directamente responsable del número y estabilidad de los agregados, por tanto, la estabilidad puede depender más del tipo de MOS y su disposición con respecto a las partículas minerales (Fortun y Fortun, 1989; Holeplass *et al.* 2004).

Los compuestos de la MOS enlazan física y químicamente las partículas primarias en los agregados (Lado *et al.* 2004). La cantidad y distribución de los agregados estables e inestables en el suelo tienen una asociación estrecha con la dinámica de la MOS y la calidad del suelo. Por ello, los problemas de erosión de un suelo se evalúan estudiando los agregados estables (Márquez *et al.* 2004). Además, los principales factores que afectan la estabilidad de los agregados están asociados con la distribución del tamaño de partículas y a los niveles de materiales cementantes (Pagliai, 2003; Comerma *et al.* 1921).

La materia orgánica (MO) es un fundamental pero transitorio componente que controla muchas propiedades químicas, físicas y biológicas afectando la habilidad del suelo para producir alimentos, fibras o combustible. Es importante en la difusión de aire, retención e infiltración de agua, reducción de la erosión y controlando la eficacia y destino de los pesticidas aplicados (Bendi D K, 1998).

La provocación de cambios en el ambiente edáfico conduce a una disminución de la productividad de las plantas lo que puede causar una rápida disminución en los niveles de MO en el suelo, mientras un incremento en los aportes de restos de cultivos o enmiendas orgánicas puede conducir a la síntesis de nueva MO, en el suelo (Devosz K, 2002). De este modo la MO, es una propiedad dinámica, sensible y que responde a los cambios en el ecosistema (Edwards A P, 1967).

Los tipos de clima y suelo pueden influenciar significativamente la acumulación y almacenamiento de MO, debido a la interacción de la temperatura y humedad sobre la productividad de las plantas y de la habilidad de los componentes minerales para retener MO (Emerson W, 1977).

En cuanto a la agregación (da origen a la estructura o forma de arreglarse las partículas del suelo) o estabilidad estructural del suelo, esta está relacionada a la MO de la siguiente manera: la MO o fracciones de ésta son elementos básicos en el proceso de agregación del suelo, mientras la MO, orgánica secuestrada dentro de los agregados es protegida contra la degradación (Gregoric, 1994).

El mismo autor dice que en la mayoría de los suelos tropicales, la eliminación de la vegetación nativa y el desarrollo de tierras para la producción de cultivos alimenticios, generalmente lleva a cambios drásticos en las propiedades del suelo.

Disminución en las reservas de nutrientes para las plantas, contenido de materia y carbono orgánico, también como la degradación de la estructura son observados en suelos con arcillas de baja actividad, regularmente aquellos manejados por prácticas de cultivo de baja intensidad. Las consecuencias agronómicas son una disminución en la producción de los cultivos y un incremento en la erosión del suelo (Devosz K, 2002).

Una buena estructura agregación del suelo es importante para la conservación, y eventualmente el reciclaje de nutrientes en el suelo por minimización de la erosión. Los aportes orgánicos y la MO, del suelo son el centro de la formación y estabilidad de la estructura del suelo, aunque la textura, mineralogía, y actividad biológica son también importantes. La labranza y eliminación de la vegetación de forma inadecuada reducen el diámetro medio de los agregados del suelo, resultando en incremento de la densidad aparente y disminución de la aireación, conductividad hidráulica, y aumento de la erosionabilidad (Emerson, 1977; Gregirich, 1994).

Banbi *et al.*, (2000) Obtuvieron mejoras de las propiedades físicas de un Inceptisol en la India usando estiércol. Estas mejoras fueron: alta estabilidad de agregados, gran capacidad de retención de humedad, elevada conductividad hidráulica y alta tasa de infiltración.

Los componentes químicos de la MO, que mayor influencia tienen sobre las propiedades físicas son los ácidos húmicos, aunque recientemente han sido publicados algunos

trabajos en los que se sugiere que la “Glomalina”, una gluco proteína producida en copiosas cantidades por las hifas de un hongo micorrízico juega el papel más importante en la estabilización de los agregados en el suelo (Pla I, 1983).

De acuerdo con la información recabada acerca del efecto de la adición de MO, sobre la estabilidad de agregados del suelo, este trabajo tuvo como objetivo determinar el grado de influencia que tiene la MO, y su persistencia sobre la estabilidad estructural de un suelo bajo vegetación de bosque de pinos y otro producto del corte y relleno, además de obtener información acerca de la dosis óptima de MO, que se debe agregar que no cause problemas de contaminación de suelos y acuíferos (La Facultad de Agronomía de Venezuela, 1983).

Bordon J. (2010), el suelo como es sabido está formado por los constituyentes elementales (arena, limo, arcilla, materia orgánica, etc.), estos a su vez no se encuentran en forma aislada, sino que se unen formando agregaciones. Estos agregados pueden ser observados en mayor o menor grado en el perfil del suelo, dependiendo principalmente de su origen. Es así que se tienen agregados fuertemente desarrollados (suelos arcillosos), moderadamente desarrollados (suelos arcillo arenosos) y débilmente desarrollados (suelos franco arenosos a arenosos). Pero de nada sirve que se tenga una buena condición edáfica del suelo si no se realiza un buen uso y manejo del mismo.

Este mismo autor dice que para demostrar esto, se realizaron estudios para determinar la formación y estabilidad de agregados en suelos arcillosos con cuatro formas de labranza (Arado Disco niveladora, Rastra pesada Disco niveladora, Subsolador Disco niveladora y Siembra Directa). Según los datos obtenidos y que se puede observar en la (Figura 1). La Siembra Directa fue el tratamiento que promovió la formación y estabilidad de agregados de mayor tamaño (>2mm), mientras que en el tratamiento con arado la formación y estabilidad de agregados mayores de 2mm prácticamente resulto ser la mitad de la lograda por la Siembra Directa. De esto se deduce que la Siembra Directa es la mejor forma de mantener la calidad física de los suelos ya que con sistemas de manejo que proporcionen el aumento y estabilidad de agregados mayores, también se está logrando disminuir grandemente la erosión, mejoramiento de la infiltración del agua, aumento de la distribución del tamaño de poros, entre otros, y mediante estos beneficios se puede llegar a una producción sustentable.

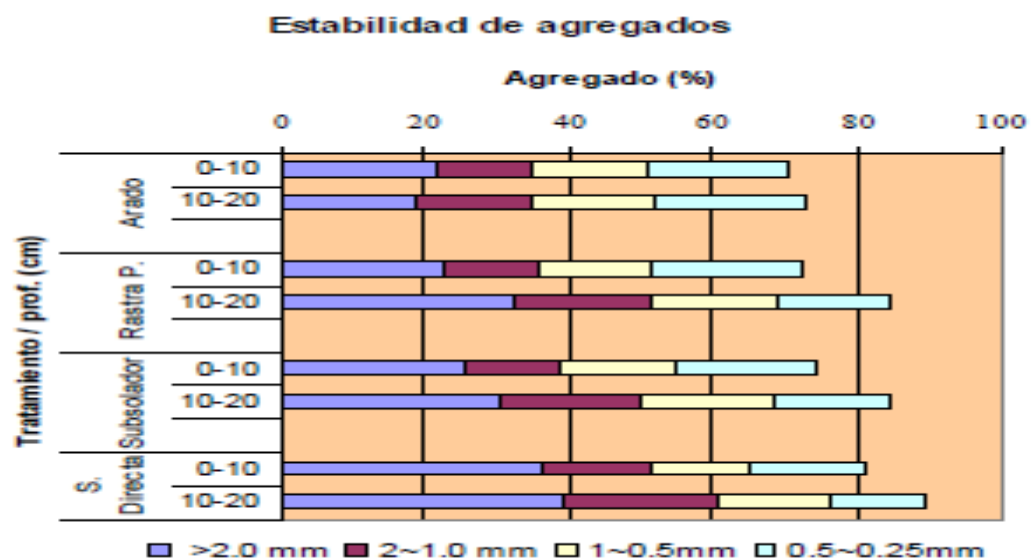


Figura 1. Distribución de la estabilidad de agregados en tamaños por tratamiento y profundidad del suelo Bordon J., (2010).

La materia orgánica sólida humificada (compost) tiene un papel preponderante en la estabilidad de los agregados (Ag), por lo cual Tisdall y Oades (1982), propusieron un modelo conceptual, el cual es ampliamente aceptado. Ésta se basa en tres agentes de unión: 1) transitorios: aquí los polisacáridos son los más importantes, 2) temporales: principalmente raíces, hifas de hongos y bacterias y 3) persistentes: macromoléculas orgánicas complejas con dominios aromáticos y alifáticos resistentes a la biodegradación, denominadas sustancias húmicas (SH), asociadas con cationes polivalentes y fuertemente adsorbidos por la matriz mineral del suelo. Las SH son los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR). Los AF son de bajo peso molecular, producen un mayor, más favorable, más fuerte y rápido mecanismo de agregación, porque éstas poseen acidez total superior a los AH, es decir, mayor cantidad de grupos funcionales libres carboxilos, oxhidrilos fenólicos y carbonilos (-COOH, -OH y -COO) (Schnitzer, 2000). Para Oades (1984), los agentes transitorios y temporales son los responsables de la estabilidad de macroagregados, mientras que los persistentes lo hacen con los microagregados.



Piccolo y Mbagwu (1990), al adicionar desechos de cerdo y bovino y lodos residuales durante tres años, separaron agregados de 250 a 125, 125 a 50 y <50  $\mu\text{m}$ . En los microagregados, revelaron un incremento en el porcentaje de arena y una reducción de limo y arcilla en los agregados de <50  $\mu\text{m}$  de todos los suelos. Estos resultados presentan el efecto inducido en la agregación por la adición de desechos orgánicos. La estabilidad de los microagregados revela correlación significativa con el contenido de SH (AH solos y AH más AF) y no significativa con el contenido total de material orgánica. Aquí, se considera que estas sustancias húmicas predominan como agentes de unión en los agregados, pero es necesario considerar el papel de los cationes que actúan como puentes de unión y concluyeron que hay una estrecha relación entre la estabilidad de agregados y las SH de alto peso molecular. La adición de material orgánico con constituyentes de alto peso molecular, a los suelos, podría representar una práctica de manejo para mejorar la estabilidad de agregados.

López *et al.* (2006), 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  $\text{mg L}^{-1}$  de agua; y ácidos fúlvicos (AFC), a razón de 0.29 y 0.58  $\text{mg L}^{-1}$ . 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  $\text{mg L}^{-1}$ ; y ácidos fúlvicos (AFL), a razón de 1.60 y 3.20  $\text{mg L}^{-1}$ , 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  $\text{m}^2$ , 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  $\text{mg L}^{-1}$  “antes”, y los AFL, a la razón de 1.60  $\text{mg L}^{-1}$  “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  $\text{mg L}^{-1}$ , tanto “antes” como “después”, el valor aventajó en 8 y 10% al testigo. La infiltración básica (IB) fue superior (2.84  $\text{cm h}^{-1}$ ) al agregar los AFL

a  $3.20 \text{ mg L}^{-1}$ . La E y la RD aumentaron con la adición de los AHC, AFL y AHL, mientras que la IB con la de los AFL.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización del Experimento**

El experimento se efectuó, en un invernadero del Departamento de Ciencias del Suelo del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México a los 25° 23’ de latitud norte, 101° 00’ de longitud oeste y a altura de 1742 msnm.

El clima es seco y templado con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 13.3°C, con una oscilación media de 10.4°C. Los meses más cálidos son Junio, Julio y Agosto con temperaturas máximas de 37°C. Durante enero a diciembre se registran temperaturas de hasta -10°C, con heladas regulares en el periodo de Diciembre a Febrero. Los vientos predominantes son del suroeste durante casi todo el año a excepción del invierno donde predominan del noreste y se presentan con mayor intensidad los meses de febrero y marzo.

## Metodología

El horizonte Ap del suelo del área experimental del *Campus* principal de la UAAAN, denominado “El Bajío”, fue colectado, secado al aire y se le determinaron las características mostradas en el (Cuadro 3). Después, 10 kg colocados en macetas de polietileno. Como tratamientos se agregaron 2, 4 y 6 ml.  $\text{litro}^{-1}$  de agua de dos ácidos húmicos de leonardita: uno experimental (AHE) y otro comercial, denominado Humitrón® (Grupo Bioquímico Mexicano) (HUC), los que poseen 14.5 y 25 por ciento de ácidos húmicos, respectivamente. La cantidad de agua agregada y el porcentaje de humedad del suelo no se determinaron.

Cuadro 3. Características determinadas al suelo al principio del experimento.

Determinaciones	Método
Materia orgánica	Walkley y Black (1997)
Carbonatos totales	Volumetría
Textura	Hidrómetro de Boyoucos
Estabilidad de Agregados	Monnier (1984)

También se generó un tratamiento de fertilización química al suelo, con la adición del 50 por ciento de la fórmula 120-80-40 (FQ) y solo agua como testigo absoluto (TA). (Cuadro 4). Lo anterior generó un total de ocho tratamientos con tres repeticiones por cada uno de ellos; éstos se distribuyeron de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente al Azar. El suelo en las macetas se mantuvo húmedo durante 90 días.

Cuadro 4. Tratamientos con su respectiva dosificación

Número	Tratamientos	Productos	Dosis
1	AHE 2	Organic field suelo 14.5% AHL	2 ml. Litro <sup>-1</sup> de agua
2	AHE 4	Organic field suelo 14.5% AHL	4 ml. Litro <sup>-1</sup> de agua
3	AHE 6	Organic field suelo 14.5 AHL	6 ml. Litro <sup>-1</sup> de agua
4	HUC 2	Humitrón <sup>®</sup> 25% AHL	2 ml. Litro <sup>-1</sup> de agua
5	HUC 4	Humitrón <sup>®</sup> 25% AHL	4 ml. Litro <sup>-1</sup> de agua
6	HUC 6	Humitrón <sup>®</sup> 25% AHL	6 ml. Litro <sup>-1</sup> de agua
7	F. Q.	N P K	120-80-40 al 50 %
8	T. A.	H <sub>2</sub> O	Solo agua

Las variables evaluadas en el experimento y consideradas como independientes fueron: materia orgánica (MO), carbonatos totales (CaCO<sub>3</sub>) y textura (% arena, arcilla y limo) la variable dependiente son la estabilidad de agregados (Ag) de un suelo limo-arcilloso, para lo cual se empleo la fórmula propuesta por Monier (1984).

$$Ag (\%) = 0.72 + 2.54 (\% MO / \% A) \times 100$$

Donde:

Ag: Estabilidad de agregados.

MO: Materia orgánica.

A: Arcilla.

El análisis estadístico consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), para lo cual se utilizo el paquete para computador MINITAB, versión 15 para Windows, además, Análisis de Regresión Lineal Simple y Múltiple, donde la Ag será la variable dependiente y las demás características medidas, las variables independientes.

Posteriormente, se elaboraron secciones delgadas del suelo y se tomo como base la metodología propuesta por Bullock *et al.* (1985). Las secciones delgadas fueron caracterizadas en su nivel estructural (16x) y en su nivel porosidad (50x) con el uso de un microscopio petrográfico (Olimpus SE-CTV) y una cámara fotográfica de alta resolución (Qimagin RHSCE) en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del CINVESTAV de la ciudad de Ramos Arizpe, Coahuila. Además en el nivel estructural 16x. Se determinara si es granular, grumosa, bloques sub angulares, bloques angulares, laminar y/o prismática. En el nivel de porosidad 50x se determinara si son cavidades, cuartos, vesículas, canales y/o fisura.

Las calibraciones del microscopio petrográfico para definir la escala (16x), (50x) y las unidades (mm) con las que se trabajaran las fotografías para que el Imag Pro elabore y aplique los factores de corrección se muestran en las (Figuras 2y 3).

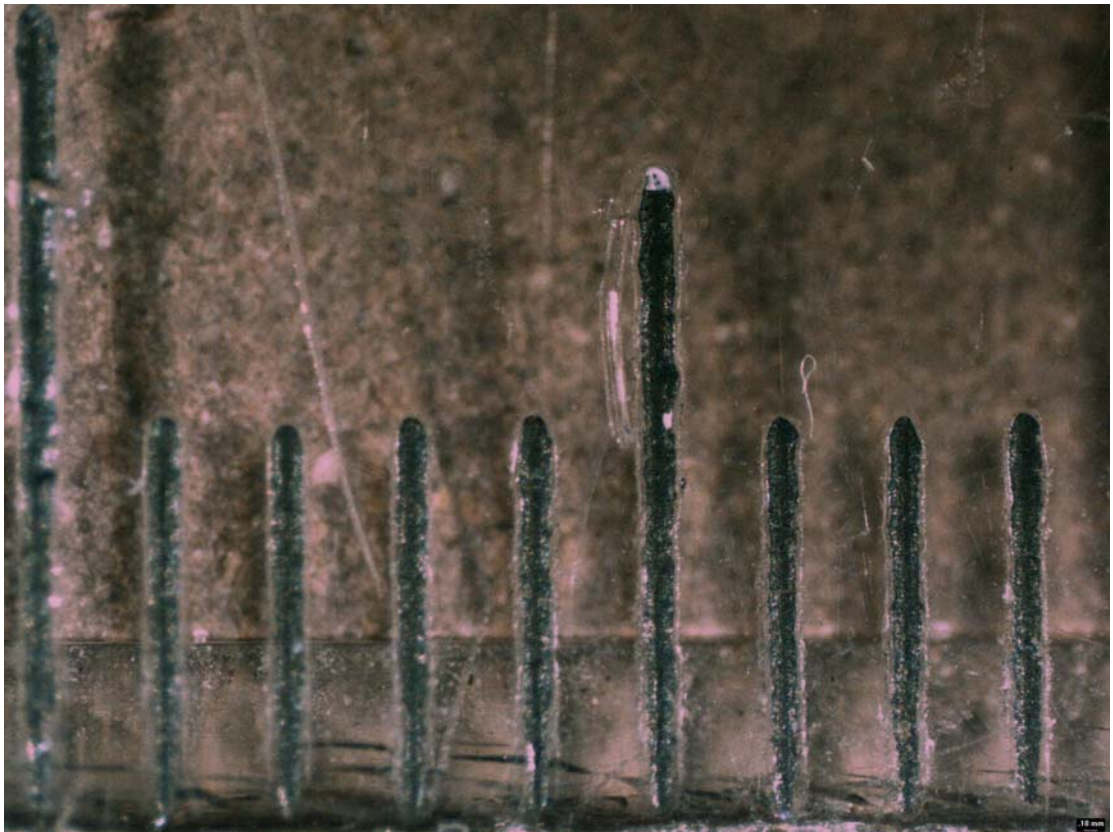


Figura 2. Calibración del microscopio petrográfico para definir la escala y las unidades a (16x), Bullock et al., (1985).

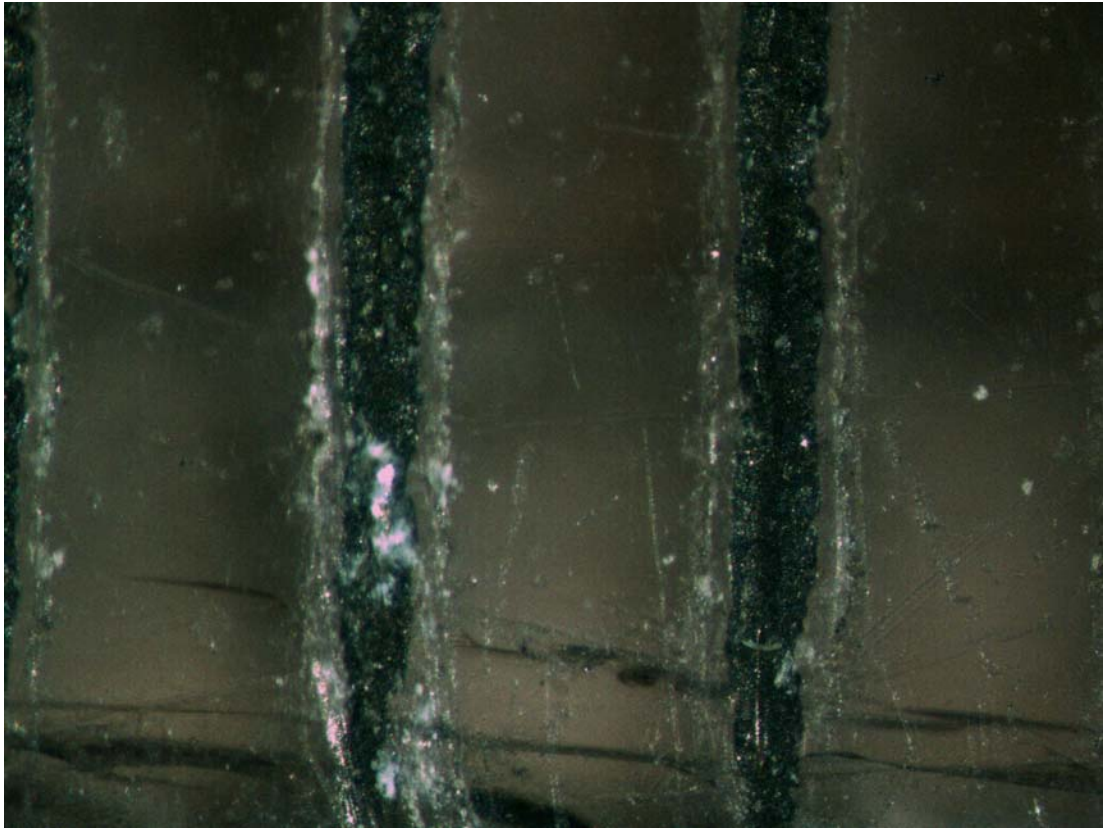


Figura 3. Calibración del microscopio petrográfico para definir las unidades y la escala (50x), Bullock et al., (1985).

## RESULTADOS

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<sup>-3</sup> (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 cmolc.kg<sup>-1</sup> y 0.62% de materia orgánica (Walkley y Black, 1934). La composición mineralógica es dominada por calcita y cuarzo (Difracción de rayos X-DRX). Posterior al análisis del horizonte Ap del bajío, presenta un contenido de materia orgánica de 1.98 por ciento, un contenido en carbonatos totales de 22.05 por ciento y una de estabilidad de agregados de según la metodología de monnier de un 86.00 por ciento.

Después de la aplicación del AHE y HUC, al suelo en las macetas, la materia orgánica (MO) presenta efecto significativo entre tratamiento (cuadro 5). De manera general se puede establecer que, al adicionar los ácidos húmicos experimentales a razón de 2ml.litro<sup>-1</sup> de agua, a la dosis de (AHE<sub>2</sub>), el valor fue de 16.83 por ciento de MO; al agregar 4ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los ácidos húmicos experimentales, no sobre pasó el 16.8 por ciento de MO; y al agregar 6ml.litro<sup>-1</sup> de agua de ácidos húmicos experimentales, el valor fue mayor equivalente a 17.13 por ciento de MO. Con la dosis de 2ml.litro<sup>-1</sup> de agua de humitrón comercial (HUC<sub>2</sub>), el valor no sobre paso el 16.66 por ciento de MO; al agregar la dosis de 4ml.litro<sup>-1</sup> de agua de agua de humitrón comercial, el valor de la MO fue menor y solo alcanzo un 15.33 por ciento; y al agregar la dosis mayor de humitrón comercial 6ml.litro<sup>-1</sup> de agua, el contenido MO aumento en comparación con la dosis anterior del mismo producto y logra alcanzar un 16.33 por ciento; pero al adicionar fertilizante químico (FQ) y solo agua (TA) el porcentaje disminuyo notablemente.

De forma particular, de acuerdo con la misma figura se puede decir que al agregar la dosis de 4ml.litro<sup>-1</sup> de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales, se presento la cantidad mayor de MO y aventajo al (TA), con un 30 por ciento.



Cuadro 5.- Análisis de varianza para materia orgánica (MO) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	7	1.02618	0.14660	2.54	0.065*
Repetición	2	0.01651	0.00825	0.14	0.868
Error	14	0.80729	0.05766		
Total	23	1.84998			

C.V. 56.36%

Los tratamientos realizaron efecto altamente significativo en la cantidad de carbonatos totales (CO<sub>3</sub>) (Cuadro 6). De manera general, se puede decir que al agregar las dos cantidades de ácidos húmicos de leonardita, los valores de los carbonatos totales (CO<sub>3</sub>) fluctuaron entre 2.22 y 2.16 por ciento, mientras que al aplicar fertilizante químico (FQ) y solo agua (TA) los valores disminuyeron y solo oscilaron entre 2.03 y 1.97 por ciento (Figura 3).

Cuadro 6.- Análisis de varianza para carbonatos totales (CO<sub>3</sub>) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	7	90.267	12.895	32.15	0.000 **
Repetición	2	3.091	1.545	3.85	0.046 *
Error	14	5.616	0.401		
Total	23	98.973			

C.V. 94.33 %

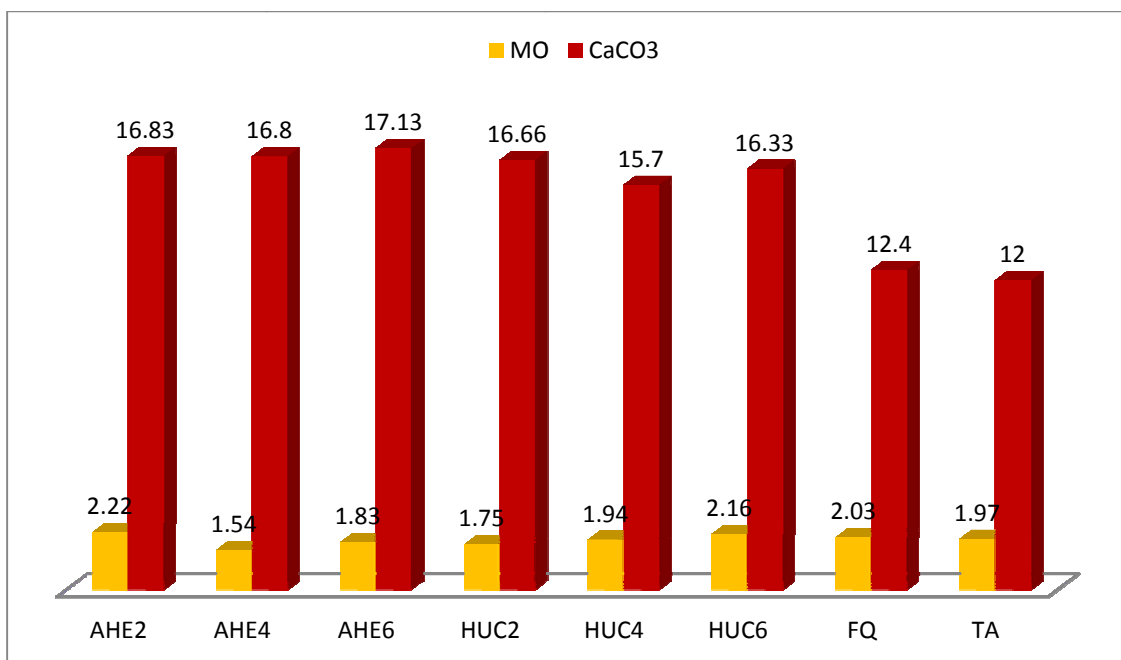


Figura 4.- Porcentaje de MO y  $\text{CaCO}_3$  de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita.

Los tratamientos no efectuaron efecto significativo en los contenidos de arena, arcilla (Cuadros 7 y 8), pero en el limo si (Cuadro 9) los valores de la arena fueron constantes, porque no sobre pasaron el 25 por ciento; las cantidades de arcilla fluctuaron entre el 30 y 40 por ciento con todos los tratamientos; mientras que los valores superiores del limo se presentan cuando se aplica la dosis de  $6\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de humitrón comercial obteniendo el efecto altamente significativo obteniendo un 46.2 por ciento de limo . Y con la dosis de  $4\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de humitrón comercial, el valor obtenido es de 45.2 por ciento de limo (Figura 4).

Cuadro 7.- Análisis de varianza para el contenido de arena (A) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	7	99.04	14.149	2.10	0.112NS
Repetición	2	10.006	5.003	0.74	0.494NS
Error	14	94.272	6-734		
Total	23	203.318			

C.V. 53.63 %

Cuadro 8.- Análisis de varianza para el contenido de arcilla (Ar) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	7	118.947	16.992	2.11	0.111 NS
Repetición	2	1.203	0.601	0.07	0.928NS
Error	4	112.738	8.053		
Total	23	232.887			

C.V. 51.59 %

Cuadro 9.- Análisis de varianza para el contenido de limo (L) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	7	252.375	36.054	4.65	0.007**
Repetición	2	17.201	8.601	1.11	0.357NS
Error	14	108.594	7.757		
Total	23				

C.V. 71.28 %

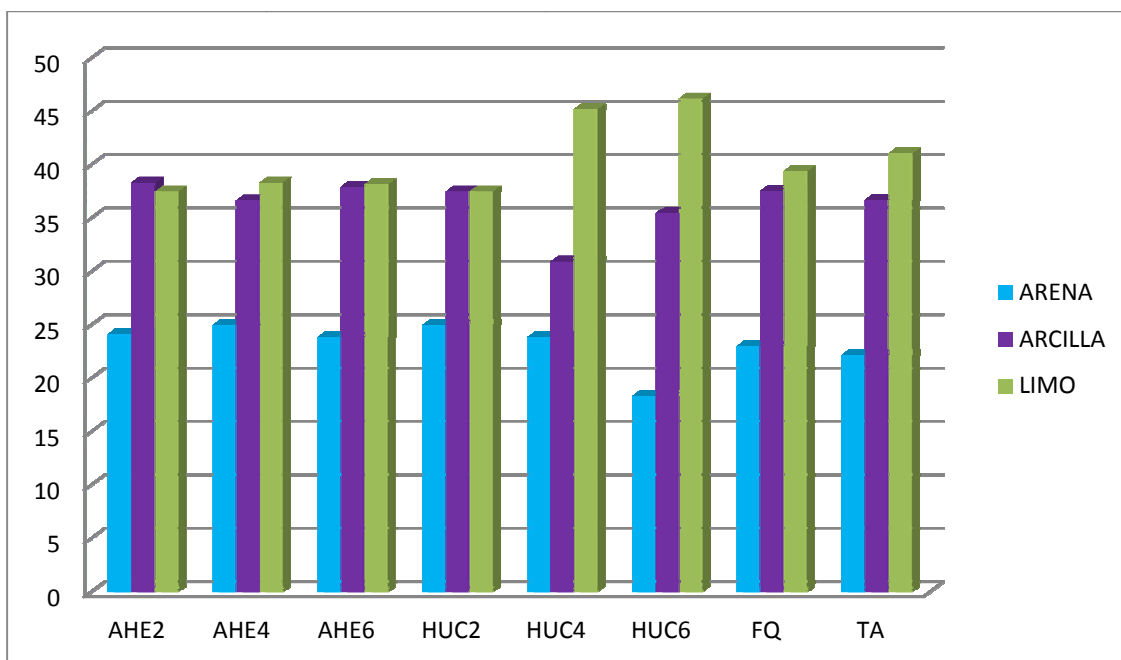


Figura 5.- Porcentaje de arena, arcilla y limo con la adición de sustancias húmicas de leonardita.

En la estabilidad de agregados (Ag), los tratamientos realizaron efecto significativo (Cuadro 10). De forma general se puede decir que al aplicar la dosis de  $2\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de los ácidos húmicos de leonardita experimentales, el valor de Ag fue de 86.76 por ciento; mientras que al aumentar la dosis a  $4\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos experimentales, el valor de la Ag de tan solo 82.78 por ciento; y al aplicar  $6\text{ml.litro}^{-1}$  de agua del mismo tipo de ácido, el valor de la Ag fue de 84.27 por ciento. Con la cantidad baja de los ácidos húmicos de leonardita comerciales la Ag oscilo por el 84.39 por ciento; mientras que al aplicar  $4\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de humitron comercial la Ag obtuvo el mayor porcentaje el cual fue de 88.11 por ciento; y al aplicar la dosis de  $6\text{ml.litro}^{-1}$  de agua el porcentaje de la Ag disminuyo, y le valor fue de un 87.66 por ciento; mientras que el fertilizante químico (FQ) y solo agua como el testigo absoluto (TA) conservaron su Ag en comparación con las dosis de 4 y 6  $\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales y  $2\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de humitron comercial (Figura 5).

Cuadro 10.- Análisis de varianza para la estabilidad de agregados (Ag) de un suelo limo arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	7	73.622	10.517	2.42	0.075*
Repetición	2	0.216	0.108	0.02	0.975 NS
Error	14	60741	4.339		
Total	23	134.580			

C.V. 54.87%

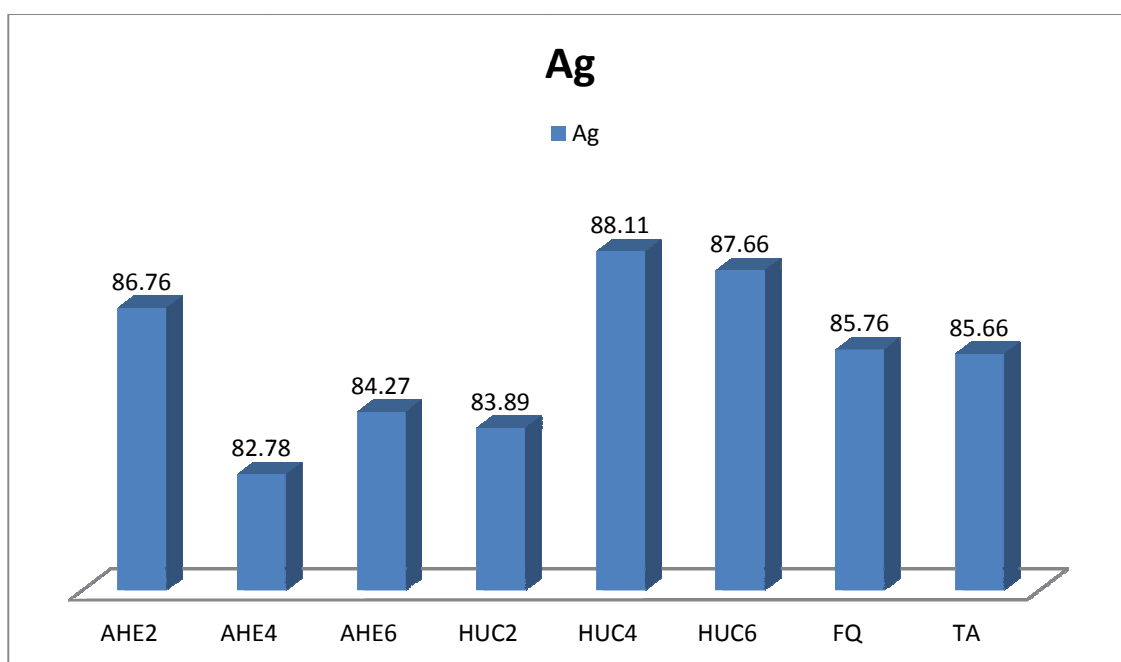


Figura 6.- Porcentajes de Ag con la adición de sustancias húmicas de leonardita.

En los (Cuadro 11, 12 y 13). Se muestra que la Ag está altamente correlacionada con los contenidos de MO, carbonatos totales (CO<sub>3</sub>), la arena y la arcilla; es decir, con la MO depende en 67.2 por ciento de ésta variable, de los (CO<sub>3</sub>) depende en 2.7 por ciento, de la arena un 1.5 por ciento y de la arcilla en 37.8 por ciento. La Ag depende en 99.7 por ciento de todas las variables medidas; así, se tiene la ecuación de Regresión Lineal Múltiple siguiente:

$$\text{Ag \%} = 82.1 + 8.30 \text{ MO} + 0.0022 \text{ CO}_3 + 0.159 \% \text{ Arena} - 0.447 \% \text{ Arcilla}$$

**Nota:** El factor \* % LIMO está altamente correlacionado con otras variables X.

\* % LIMO se ha eliminado de la ecuación.

Cuadro 11.- Matriz de correlaciones de las variables medidas a un suelo limo-arcilloso, con la adición de sustancias húmicas de leonardita

	MO (%)	CO <sub>3</sub>	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
CO <sub>3</sub> (Correlación)	-0.171				
Valor de P	0.424				
Arena (%) (Correlación)	-0.223	0.134			
Valor de P	0.295	0.534			
Arcilla (%) (Correlación)	-0.004	0.052	-0.133		
Valor de P	0.986	0.809	0.001		
Limo (%) (Correlación)	0.166	-0.164	-0.629	-0.687	
Valor de P	0.477	0.517	0.001	0.000	
Estabilidad Agregados (Correlación)	0.820	-0.164	0.121	-0.573	-0.538
Valor de P	0.000**	0.443	0.574**	0.003**	0.007**

C.V. 99.7%

Cuadro 12.- Análisis sobre la regresión lineal de la Ag y la relación con cada una de las variables medidas en un suelo limo-arcilloso. (% mo, % caco<sub>3</sub>, % arena, % arcilla, % limo)

VARIABLES	Ecuación creada por la regresión	Porcentaje de relación entre Ag y cada una de las variables.
Materia orgánica (MO)	Ag % = 72.1 + 6.99 MO %	67.2 %
Carbonatos totales CaCO <sub>3</sub>	Ag % = 88.6 - 0.192 % CaCO <sub>3</sub> totales	2.7 %
Arena	Ag % = 87.9 - 0.098 % ARENA	1.5 %
Arcilla	Ag % = 101 - 0.435 % ARCILLA	32.8 %
Limo	Ag % = 72.6 + 0.321 % LIMO	28.9 %

Cuadro 13. Análisis de regresión lineal y la relación que tienen todas las variables medidas con la Ag de un suelo limo-arcilloso.

Ecuación general de la regresión lineal múltiple	Porcentaje de todas las variables medidas y su relación con la estabilidad de agregados
Ag % = 88.2 + 6.95 mo % + 0.0085 % caco <sub>3</sub> totales - 0.0132 % arena - 0.435 % arcilla	99.7 %

El tipo de estructura es masiva, sin agregados separados, material muy denso, con poca presencia poros, los agregados son en bloques subangulares, similares a los bloques angulares pero en este caso se encuentran menos definidos, con romas y apenas vértices, los agregados tampoco encajan bien como en la microestructura de bloques angulares, por su forma de manifestarse son considerados como moderadamente desarrollados y acomodados por la manera en que sus caras se amoldan unas con otras (Figura 7).



Figura 7. Imagen de nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $2\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales.



El tipo de poros de este suelo son vesículas, de formas esféricas o elípticas, con paredes suaves, típicamente por presencia de gases (Figura 8).

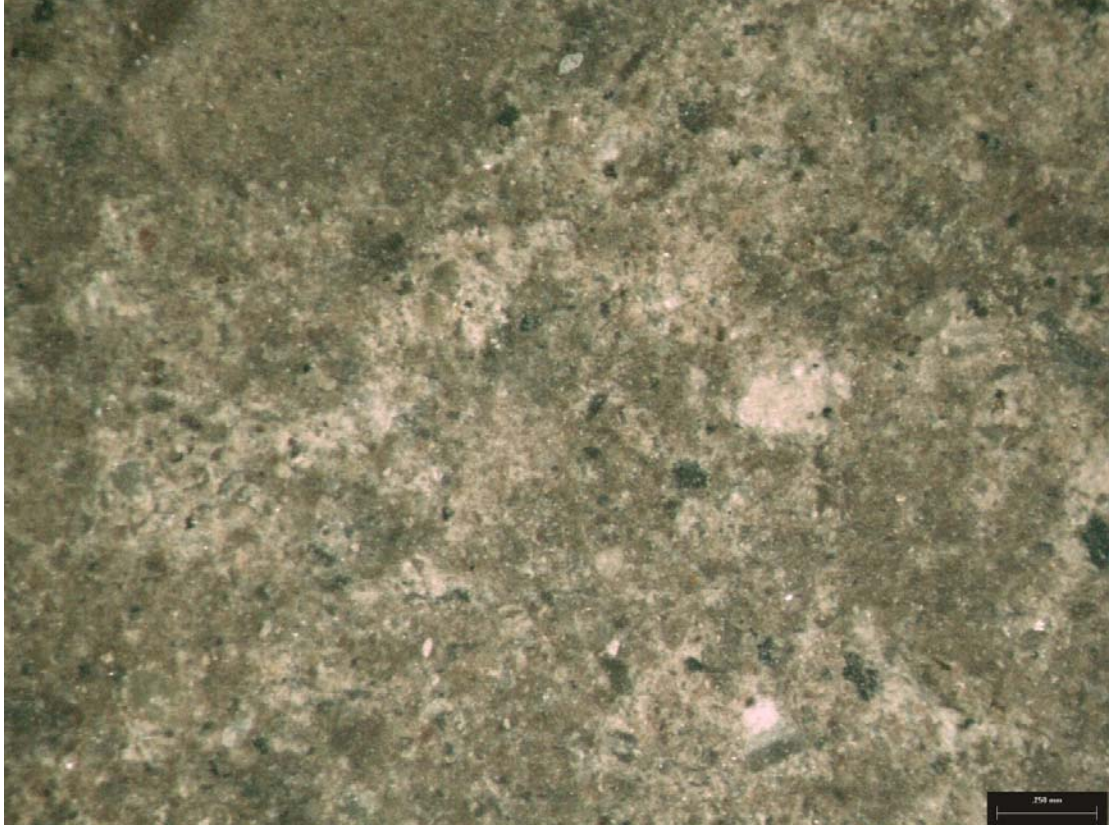


Figura 8. Imagen nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $2\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos experimentales.

El tipo de estructura es en cavidades, sin separación de agregados, masa basal rota por cavidades pero no interconectadas, con algunos canales y cámaras, los agregados de este suelo son granulares, agregados no porosos de formas con tendencias esferoidales, según con la intensidad que se manifiesten los agregados se consideran como fuertemente desarrollados y por el grado acomodación que presentan sus caras adyacentes al unirse unas con otras estos son acomodados (Figura 9).



Figura 9. Imagen nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de  $4\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales.

El tipo de poros que se encontró en este suelo es de cavidades, poros muy irregulares cuyo origen no puede atribuirse a un simple empaquetamiento de unidades y generalmente de tamaños grandes, normalmente no interconectados a otros poros de tamaño similar (Figura 10).

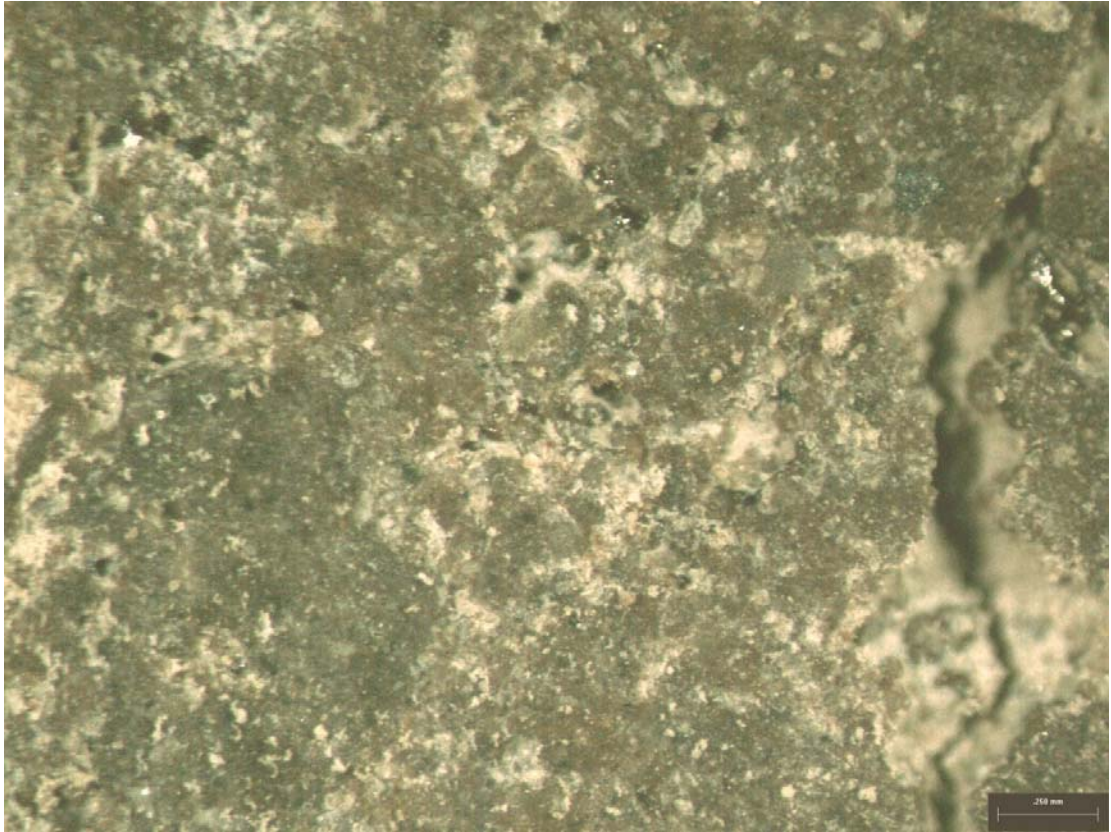


Figura 10. Imagen de nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $4\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos experimentales.



Tipo de estructura esponjosa, con pocos, si es que hay algunos agregados, abundantes poros fuertemente interconectado, los agregados son migajosos, agregados porosos de formas más o menos esferoidales, con la intensidad en que se manifiesten son moderadamente desarrollados y ya que sus caras adyacentes se amoldan unas a otras son acomodados. (Figura 11).

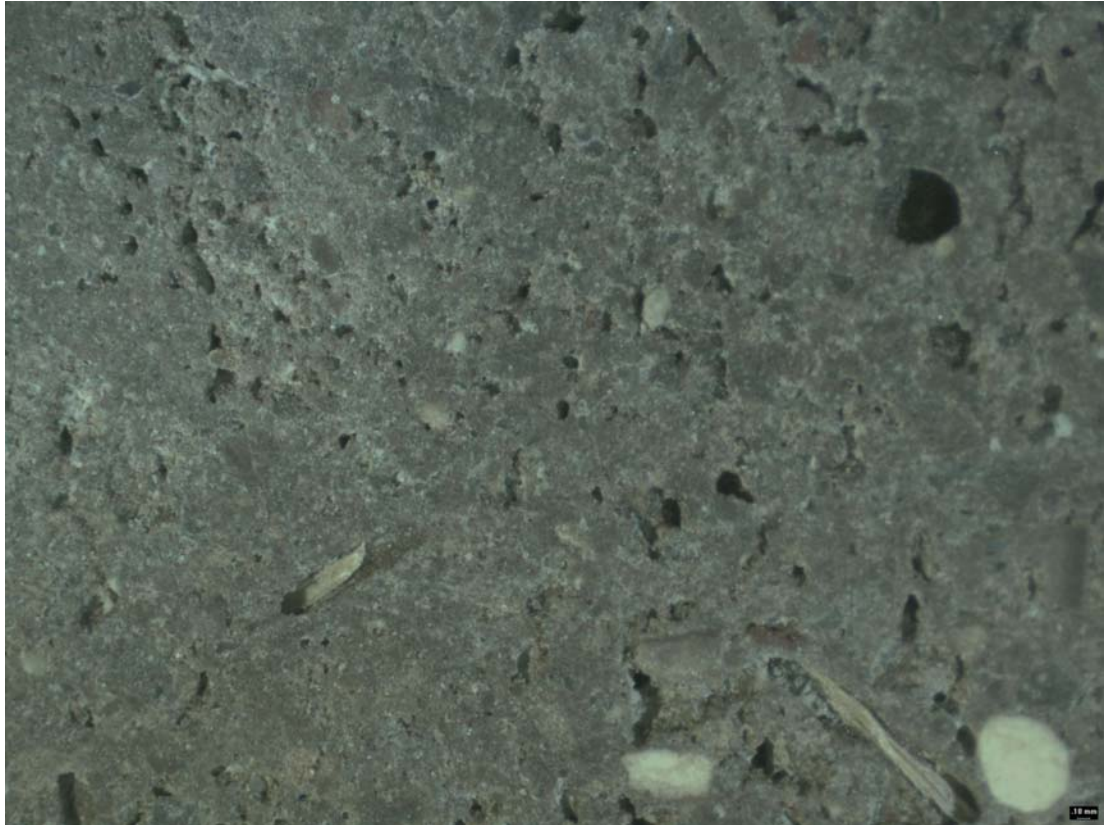


Figura 11. Imagen de nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $6\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales.

El tipo de poros o huecos que en esta imagen se presentan son huecos de empaquetamiento compuesto, Equidimensionales a elongados, interconectados que se presentan entre agregados las caras de los cuales no están acomodados y son el resultado del empaquetamiento de los agregados (Figura 12).

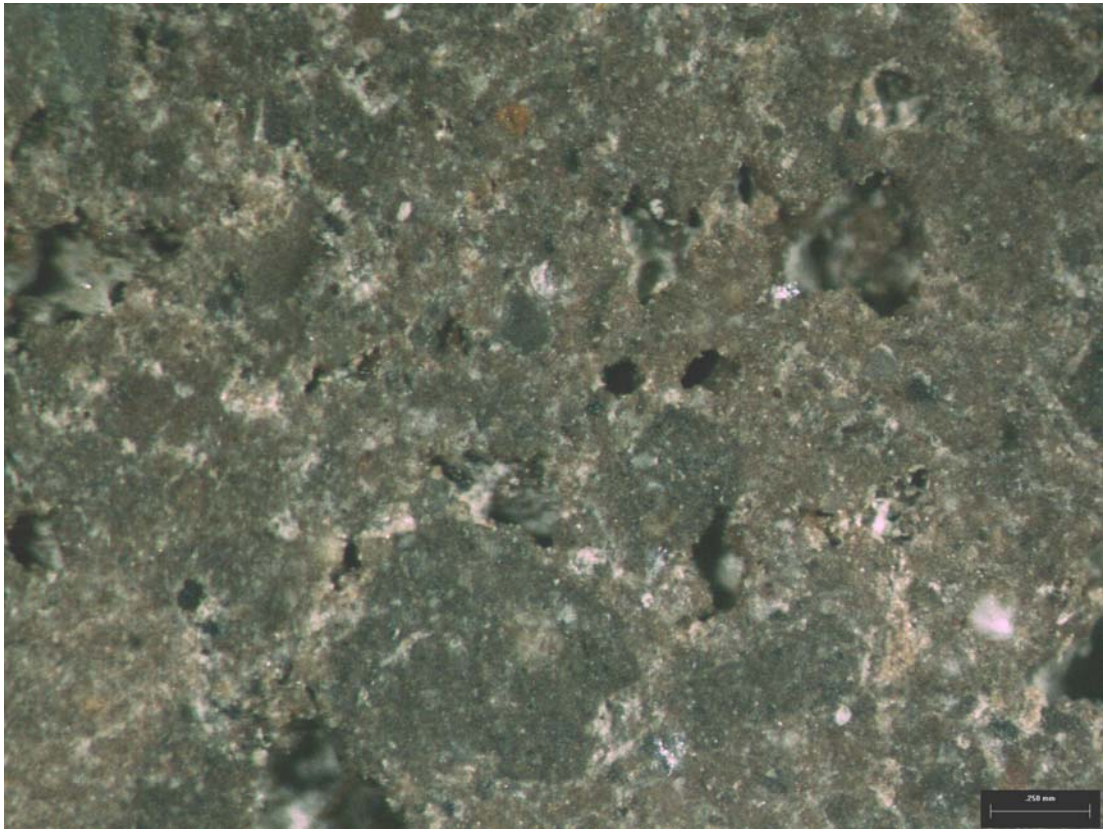


Figura 12. Imagen nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $6\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos de leonardita experimentales.

Esta estructura es de tipo granular, con agregados granulares, los cuales son no porosos, de formas con tendencias esferoidales, por la intensidad en que se manifiestan los mismos se considera que son fuertemente desarrollados y según en grado con el que sus caras se amoldan unas con otras se considera que estos agregados son acomodados (Figura 13).



Figura 13. Imagen del nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso, con la adición de  $2\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos comercial.



Los poros son de empaquetamiento complejo, son huecos que se presentan entre granos simples y entre los agregados (Figura 14).

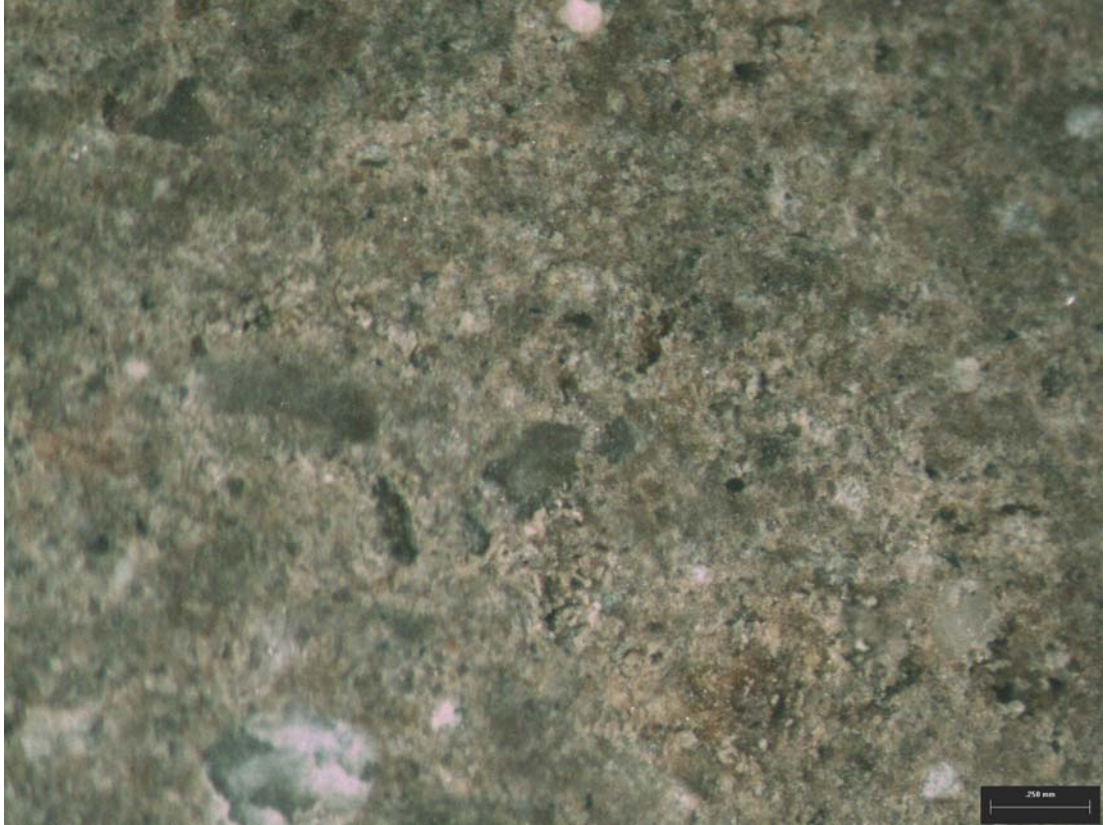


Figura 14. Imagen del nivel porosidad (50x), de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $2\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos de leonardita comerciales.

La estructura es de tipo fracturada (agrietada), sin agregados totalmente separados, material denso con sólo algunas grietas (y canales), los tipos de agregados son prismáticos, en bloques angulares, a manera de prisma, en los que predomina una dimensión (la vertical) con respecto a las otras dos. Normalmente son demasiado grandes como para poderlos observar en el microscopio, Según con la intensidad que se manifiesten los agregados son: débilmente desarrollados y según el grado con el que las caras se amoldan unas con otras son parcialmente acomodados (Figura 15).

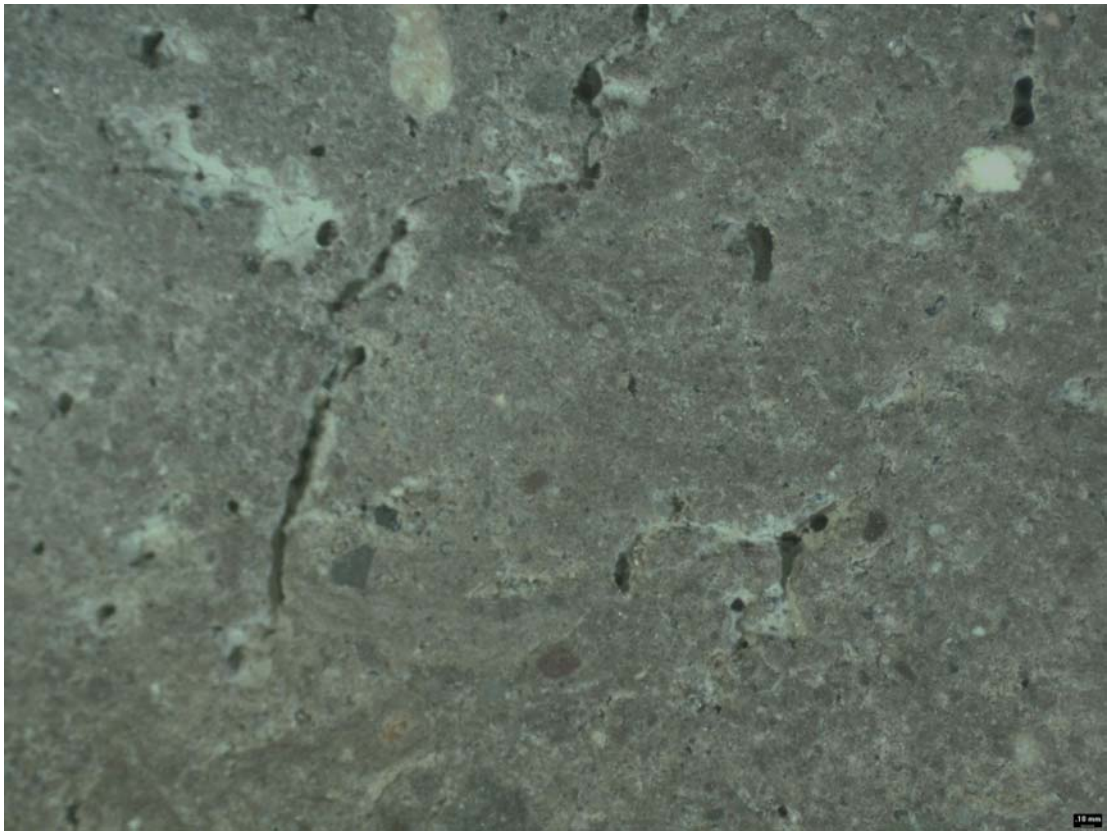


Figura 15. Imagen del nivel de estructura (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $4\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos de leonardita comerciales.



Los poros son de tipo cavidades, los cuales son irregulares cuyo origen no puede atribuirse a un simple empaquetamiento de unidades, generalmente de tamaños grandes y normalmente no interconectados a otros poros de tamaño similar (Figura 16).

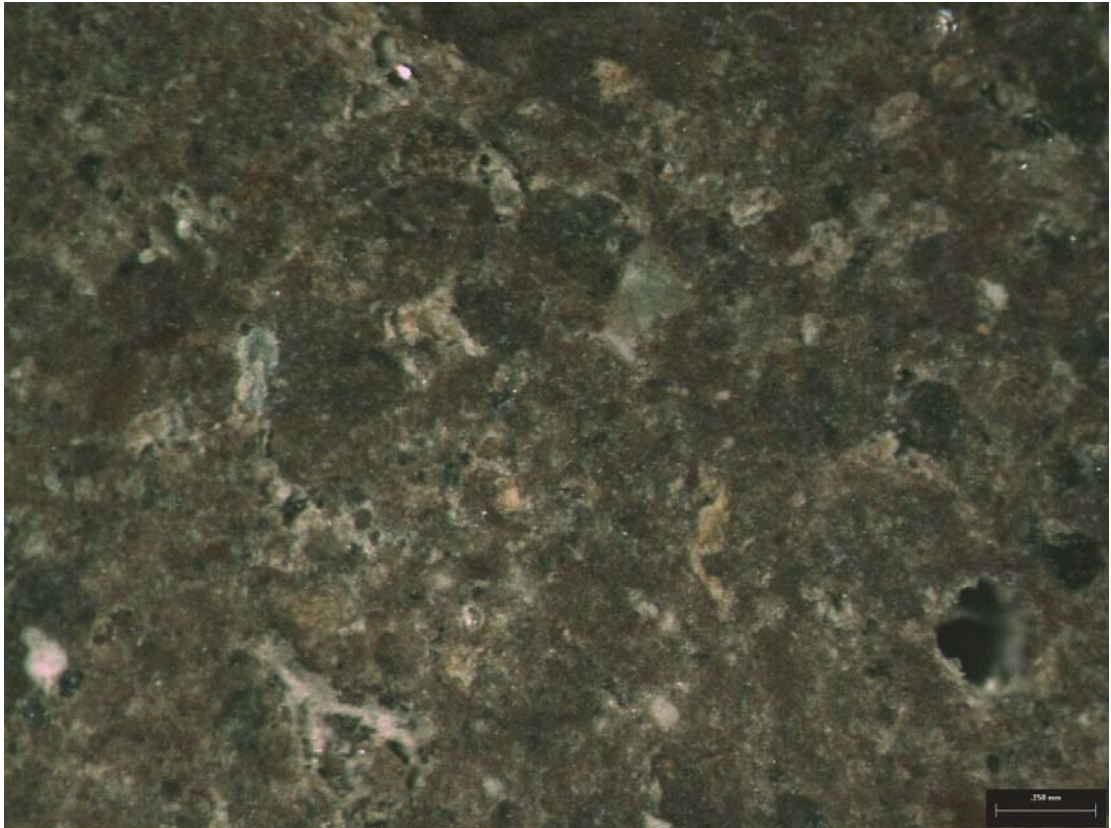


Figura 16. Imagen del nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $4\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos de leonardita comerciales.

Esta estructura es en canales, sin separación de agregados, masa basal rota por canales dominantes, los agregados son granulares, agregados no porosos de formas con tendencias esferoidales, según con la intensidad que se manifiestan se definen como moderadamente desarrollados y por el grado con el que las caras adyacentes se amoldan unas con otras son acomodados (Figura 17).



Figura 17. Imagen del nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición  $6\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos comerciales.

Huecos de empaquetamiento compuesto, equidimensionales a elongados, interconectados que se presentan entre agregados las caras de los cuales no están acomodados y son el resultado del empaquetamiento de los agregados (Figura 18).



Figura 18. Imagen del nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de  $6\text{ml.litro}^{-1}$  de agua de ácidos húmicos comerciales.



El tipo de estructura es esponjosa, con pocos, si es que hay algunos agregados, abundantes poros fuertemente interconectados, los agregados son de tipo migajosos, porosos de formas más o menos esferoidales, por la intensidad que se manifiesten se definen como fuertemente desarrollados y según el grado con el que las caras adyacentes se amoldan unas con otras son acomodados (Figura 19)



Figura 19. Imagen del nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de fertilizante químico 120-80-40 al 50 %.

Tipo de poros en cavidades, poros irregulares cuyo origen no puede atribuirse a un simple empaquetamiento de unidades, generalmente de tamaños grandes y normalmente no interconectados a otros poros de tamaño similar (Figura 20).



Figura 20. Imagen del nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de fertilizante químico 120-80-40 al 50 %.

El tipo de estructura es masiva, sin agregados separados, el material es muy denso, con poca presencia de poros, el tipo de agregados son bloques subangulares, similares a los mas anteriores, pero los bloques se encuentran menos definidos. Las caras no son tan planas las aristas son romas y apenas hay vértices. Los agregados tampoco encajan tan bien como en la microestructura de bloques angulares, por la intensidad con la que se manifiestan se define como débilmente desarrollados y según el grado con el que las caras adyacentes se amoldan unas con otras se considera que son acomodados (Figura 21).



Figura 21. Imagen de nivel estructural (16x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de agua.



Huecos de empaquetamiento complejo, son huecos que se presentan entre granos simples y entre los agregados (Figura 22).



Figura 22. Imagen del nivel porosidad (50x) de un suelo limo-arcilloso con la adición de agua.

## DISCUSION

A forma de discusión, se tiene que los contenidos de materia orgánica (MO) aumentan con la mezcla de las cantidades bajas de los ácidos húmicos de leonardita experimentales, lo anterior concuerda con lo establecido por Tisdall y Oades (1982), en su conceptualización sobre la jerarquización de agregados, al establecer que con el incremento en la cantidad de MO y carbón orgánico (CO), se incrementa el tamaño de los agregados, es decir, dominan los macroagregados, los cuales están formados por microagregados, más los agentes de unión. Aquí, los grupos funcionales libres carboxilos ( $-\text{COOH}$ ) (cargas eléctricas negativas) de los compuestos húmicos, actuaron como ligantes naturales de cationes como el calcio, lo cual quiere decir que las sustancias húmicas (SH) están bien polimerizadas y bien oxidadas (Fründ *et al*, 1994), pero, para Evangelou *et al.* (2004), todas las moléculas que sirven como agentes ligantes, sin importar su origen, tiene una capacidad limitada de unir moléculas o iones, dependiente de la cantidad de sitios de unión.

También es necesario establecer que la acidez total (AT), es generalmente considerada como la que provee una adecuada medida de la habilidad de las SH para unirse con cationes, sin embargo, existe la posibilidad de que grupos funcionales no oxigenados podrían estar involucrados (Schnitzer, 2000). Así, en el suelo, los ácidos húmicos de leonardita experimentales junto con la arcilla y la MO, formaron complejos órgano-minerales, lo cual produce la buena estabilidad de agregados, lo que muestra que las SH son agentes persistentes de la estabilidad de agregados.



## CONCLUSIONES

La mezcla de las dosis bajas de los ácidos húmicos de leonardita experimentales, aumenta la cantidad de materia orgánica y junto con la arena y la arcilla, tienen efecto positivo en la estabilidad de agregados, de un suelo limo-arcilloso; mientras que los ácidos húmicos de leonardita comercial, produjeron que la estructura del suelo fuera granular.

La búsqueda de la efectividad de los ácidos húmicos en la estabilidad y estructura de los agregados del suelo, a partir de la metodología de Monnier y con el microscopio petrográfico, lo anterior para un mejor aprovechamiento de los recursos agua, suelo y la productividad de los cultivos, condujo a establecer un experimento en macetas y en invernadero, esta efectividad en la agregación de los minerales del suelo, permitió determinar, la significancia matemática del incremento del contenido de MO en el suelo hasta 2.35 por ciento, para el tratamiento de AHE a razón de  $2\text{ml.litro}^{-1}$  de agua.

Resaltan los valores de disminución en el 4 por ciento de limo de 42.05 por ciento hasta 46.22 en los tratamientos de HUC donde la dosis de AH aplicada fue de  $6\text{ml.litro}^{-1}$  de agua, ya que este mineral es atrapado por las macromoléculas de los AH y a diferencia del contenido de carbonatos totales donde no se presentó una diferencia matemática entre tratamientos y repeticiones.

## LITERATURA CITADA

Abou-Hadid, A.F., A.O. Mohamed, I.A. Abdel-Fattah y S.E. Mohamed. 2001. Effect of composted greenhouse wastes on macro-nutrients concentrations and productivity of cucumber. En Balis *et al.* (Eds.) Proc. Int. Symp. on Composting of Organic Matter. Acta Horticulturae. 549, ISHS. 2001. p. 123-130.

Aiken G.R. 1985. Isolation and concentration techniques for aquatic humic substances. En Aiken, G.R., D. M. McKnight, R.L. Wershaw y P. MacCarthy. Eds. Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. Wiley, New York. pp. 363-385.

Almendros, G., R. Fruid, F. Martin y F.J. González-Vila. 1994. Spectroscopic characteristics of derivatized humic acids from peat in relation to soil properties and plant growth. En Senesi, N. and Miano M.T. (Eds.). Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. pp. 213-219.

Benedetti, A., F. Alianello, S. Canali, G. Rossi y M.T. Dell'Abate. 1994. Effects of Fertilization with Humic Acids on Soil and Plant Metabolism: a multidisciplinary approach. Note II. Nitrogen Dynamics and Microbial Turnover. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.). Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. pp. 233-238.

Bernal, M.P., C. Paredes, M.A. Sánchez-Monedero, y J. Cegarra. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a Wide range of organic wastes. Bioresource Technology. 63:91-99.

Biondi, F.A., A. Figliolia, R. Indiaty y C. Izza. 1994. Effects of fertilization with humic acids on soil and plant metabolism: a multidisciplinary approach. Note III. Phosphorus dynamics and behaviour of some plant enzymatic activities. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.).

Biondi, F.A., Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. pp. 239-243.

Box, P.E.G., G.W. Hunter y J.S. Hunter. 1978. Statistical for experimenters. An introduction to designs, data analysis and model building. John Wiley & Sons. New York, USA. pp 55-57.

Bratskaya, S., A. Golikov, T. Lutsenko, O. Nesterova y V. Duradarchik. 2008. Change characteristic of humic and fulvic acids: Comparative analysis by colloid titration and potentiometric titration with continuous pk-distribution function model. *Chemosphere*. 73:557-563.

Bremner, J. M. 1954. A review of recent work on soil organic matter. II. *Journal Soil Science*. 5:514-532.

Bremner, J.M. 1996. Total nitrogen. In Sparks, D.L. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. SSSA book series no. 5. Madison, WI. USA.

Bruckert, S. 1987. Análisis de los complejos óragano-minerales de los suelos. En M. Bonneau y B. Souchier (eds.). *Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo*. Masson, S.A. 1987.

Brunetti, G., N. Senesi y C. Plaza. 2007. Effects of amendment with treated and untreated olive oil mill wastewaters on soil properties, soil humic substances and wheat yield. *Geoderma*. 138:144-152.

Bullock et al., 1985. *Handbook for thing Secctions siols Description*.

Buffle, J., F.L. Greter y W. Haerdi. Measurement of complexation properties of humic and fulvic acids in natural waters with lead and copper ion-selective electrodes. *Analytic Chemical*.

Campitelli, P.A.; Velasco I.M. y Ceppi S.B. 2006. Chemical and physicochemical characteristics of humic acids extracted from compost, soil and atended soil. *Talanta*. 69:1234-1239.

Canellas, L.P., F.L. Olivares, A.L. Okorokova-Façanha y A.R. Façanha. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergente, and Plasma Membrana H<sup>+</sup>-ATPase Activity in Maize Roots. *American Society of Plant Biologist*. 130:1951-1957.

Canellas, L.P., L.R.L. Teixeira Junior, L.B. Dobbss, C.A. Silva, L.O. Medici, D.B. Zndonadi y A.R. Façanha. 2008. *Annals of Applied Biology* ISSN 0003-4746. pp. 1-10. Celi, L., M. Shcintzer y M. Négre. 1997. Analisis of carboxil groups in soil húmica acids by a wet Chemicals method Fourier-transform infrared spectrophotometry, and solution-state carbon-13 nuclear magnetic resonante. *Soil Science*. 162:189-197.

Chang Chien, S.W., M.C. Wang y C.C. Huang. 2006. Reactions of compost-derived humic substances with leas, copper, cadmium and zinc. *Chemosphere*. 64:1253-1361.

Chefetz, B., M.J. Salloum, A. P. Deshmukh y P.G. Hatcher. 2002. Structural components of Humic Acids as Determined by Chemical Modifications and Carbon-13 NMR, Pyrolysis-, and Thermochemolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Soil Science Society of American Journal*. 66:1159-1171.

Chen, Y., N. Senesi y M. Schnitzer. 1977. Information provided on humic substances by E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> ratios. *Soil Science Society of American Journal* 41: 352-358.

Chen, Y., H. Magel y J. Riov. 1994. Humic substances originating from rapidity decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. 1994. Elsevier science B.V. pp.427-443.

Chiou, C.T., R.L. Malcolm, T.I. Brinton y D.E. Kile. 1986. Water solubility enhancement of some organic pollutants and pesticides by dissolved humic and fulvic acid. *Environmental Science and Technology*. 20:502-508.

Clapp, C.E. y M.H.B. Hayes. 1996. Isolation of humic substances from an agricultural soil using a sequencial and exhaustive extraction process. En *Humic Substances and Organic Matter in Soil and Water Environments*. Clapp, C.E.; M.H.B. Hayes; N. Senesi y S.M. Griffith. (eds.) IHSS, University of Minnesota. St. Paul, M.N. pp. 3-11.

Clapp, C.E. y M.H.B. Hayes. 1999. Characterization of humic substances isolated from clay- and silt-sized fractions of a corn residue-amended agricultural soil. *Soil Science*. 164:899-913.

Conte, P., R. Spaccini and A. Piccolo. 2006. Advanced CPMAS-13C NMR techniques for molecular characterization of size-separated fractions from a soil humic acids. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 386:382-390.

Csicsor, J y Gerse, J. 1994. The Biostimulant Effect of Different Humic Substances Fractions on Seed Germination. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.), *Humic substances in the global environment and implications on human health*. 1994. Elsevier science B.V. pp. 557-562.

D'Acqui, L.P., E. Daniele, F. Fornasier, L. Radaelli y G. G. Ristori. 1998. Interaction between clay microstructure, decomposition of plant residues and humification. *European Journal of Soil Science*. 49:579-587.

De Jong, R.C., A. Cambell y W. Nicholaichuk. 1983. Water retention equations and their relationship to soil organic matter and their particle size distribution for disturbed samples. *Canadian Journal of Soil Science* 63:291-302.

Dell'Amico, C, G. Masciandaro, A. Ganni, B. Ceccanti, C. García, T. Hernández y F. Costa. 1994. Effects of specific humic fractions on plant growth. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. 1994. Elsevier science B.V. pp. 563-566.

Dell'Angola, G., y S. Nardi. 1987. Hormone-like effect of enhanced nitrate uptake induced by depolycondensed humic fractions obtained from *Allolobophora rosea* and *A. caliginosa* faeces. *Biology and Fertility Soils*. 4:115-118.

Draper, N. y H. Smith. 1966. *Applied regression analysis*. John Wiley y Sons, Inc. New York, USA. pp 1-43.

Dziadowiec, H. 1994. Properties of humic acids from forest litters of different humification degree. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.), *Humic substances in the global environment and implications on human health*. 1994. Elsevier science B.V. pp.573-578.

Epstein E., G.B. Willson, W.D. Burge, D.C. Mullen and N.K. Enkiri, 1997. A forced aeration system for composting of waste-water sludge. *Journal-Water Control Federation*. 48:688-694.

Eyheraguibel, B., J. Silvestre y P. Morard. 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology*. 99:4206-4212.

FAO/UNESCO. 1994. *World Reference Base for Soil Resources*. Wageningen/Rome.

Fründ, R., K. Guggenberg, K. Haider, H. Knicker, I. Kögel-Knaber and H.-D. Lüdeman 1994. Recent advances in the spectroscopic characterization of soil humic substances and their ecological relevance. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157: 175-186.

Fares, F., A. Albalkhi, J. Dec., M.A., Bruns y J.-M. Bollag. 2005. Physicochemical Characteristics of Animal and Municipal Wastes Decomposed in Arid Soils. *J. Environ. Qual.* 34:1392-1403.

F. Pierandrei y R. Moretti. 1994. Effects of fertilización with humic acids on soil and plant metabolism: a multidisciplinary approach. Note I: Crop production. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.), *Humic substances in the global environment and implications on human health*. 1994. Elsevier science B.V. pp. 579-581.

Fuentes, M., G. González-Gaitano y J.M. García-Mina. 2006. The usefulness of UV-Vis and fluorescent spectroscopies to study the chemical nature of humic substances from soils and composts. *Organic Geochemical*. 37: 1949-1959.

Fukitake, N., A. Kusumoto, Y. Yanagi, T. Suzuki y H. Otsuka. 2003. Properties of soil humic substances in fractions obtained by sequential extraction with pyrophosphate solutions at different pHs. *Soil Science and Plant Nutrition*. 49:347-353.

Galli, E.; J.R. Cegarra, U. Tomati y A. Roig. 1994. Effect of humified material on plant metabolism. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. 1994. Elsevier science B.V. pp. 595-599.

Gottschalch, U., M. Birke, H. Kupsch, H.-J. Stork y H. Lippold. 2007. Characterization of urban NOM in a municipal area with disused toxic waste sites. *Applied Geochemistry*. 22: 2435-2455.

Hayes H.B.M., MacCarthy P., Malcolm L.P. y Swift S.R. (eds.). pp. 70-95. Humic substances II: In Search of Structure. John Wiley & Sons. New York, USA.

Hartwigsen, J.A. y M.R. Evans. 2000. Humic acids seed and substrate treatments promote seedling root development. Horticultural Science.

Hatcher, G. P.; K.J. Dria, K. Sunghwan y W.S. Frazier. 2001. Modern analytical studies of humic substances. Soil Science. 166:770-794.

Hayes, M.H.B. 1985. Extraction of humic substances from soil. En: Aiken, G.R.; D.M, MckNight. y R.L. Wershaw (Edit.) Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. Wiley, New York, pp. 329-362.

Hayes, T.M. 1996. Study of the substances from soils and waters and their interactions with anthropogenic organic chemicals. PhD diss., University of Birmingham, UK.

Hayes T.M., M.H.B. Hayes, J.O. Skjemstad, R.S. Swift y R.L. Malcolm. 1996. Isolation of humic substances from soil using aqueous extractants of different pH and XAD resins, and their characterization by <sup>13</sup>C-NMR. In: Clapp C.E. y T.M. Hayes.pp. 13-24.

Hayes H.B.M. y C.E. Clapp, 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. Soil Science. 166:723-737.

Hayes, M.H.B. y R.L. Malcolm. 2001. Structures of humic substances. En Humic Substances and Chemical Contaminants. C.E. Clapp, M.H.B. Hayes, N. Senesi, P. Bloom y P.M. Jardine (eds.). Soil Science Society of American, Madison, WI, pp. 3-40.

Hoch, A.R., M.M. Reddy y G.R. Aiken. 2000. Calcite crystal growth inhibition by humic substances with emphasis on hydrophobic acids from the Florida Everglades. Geochimica et Cosmochimica Acta. 64:61-72.

Holtvoeth, J. 2004. Terrigenous organic matter in sediments of the eastern equatorial Atlantic. Distribution, reactivity and relation to late quaternary climate. PhD Tesis, Univ. Bremen.

- Hsu, J.H. y S.L. Lo. 1999. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environment Pollution*. 104:189-196.
- Huang, G.F, Q.T. Wu, J.W.C. Wong y B.B.Nagar. 2006. Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology*. 97: 1834-1842.
- IHSS. International Humic Substances Society Homepage. 2007. [www.ihss.gatech.edu](http://www.ihss.gatech.edu).
- Ikeya K. y A. Watanabe. 2003. Direct expresión of an index for the degree humification of humic acids using organic carbon concentration. *Soil Science and Plant Nutrition*. 49:47-53.
- Jada, A., R.A. Akbour, J. Douch. 2006. Surface change and adsorption from water onto quartz sand of humic acid. *Chemosphere*. 64:1287-1295.
- Jouraihy, A., S. Amir, P. Winterton, M. El Gharous, J.-C. Revel, y M. Hafidi. 2008. Structural study of the fulvic fraction during composting of activated sludge-plant matter: Elemental analysis, FTIR y <sup>13</sup>C NMR. *Bioresource Technology*. 99:1066-1072.
- Kam, S.K y J. Gregory. 2001. The interaction of humic substances with cationic polyelectrolytes. *Water Research*. 35:3557-3566.
- Kang, S., D. Amarasiriwardena, P. Veneman y B. Xing. 2003. Characterization of ten sequentially extracted humic acids and a humin from a soil in western Massachussets. *Soil Science*. 168:580-587.
- Kononova, M.M. 1966. *Organic matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility*. Second English Edition. Pergamon Press, Oxford.
- Kuwatsuka, S., K. Tsutsuki y K. Kumada. 1978. Chemical studies on soil humic acids. I. Elementary composition of humic acids. *Soil Science and Plant Nutrition*. 24:334-347.
- Lehn, J.-M. 1995. *Supramolecular chemistry*. VCH. Weinheim. p.7.
- Leita, L.M. y M. De Nobili. 1991. Water soluble fractions of heavy-metals during composting of municipal solid waste. *Journal Environmental Quality*. 20:73-78.



Lobbes, J.M., H.P. Fitznar y G. Kattner. 2000. Biogeochemical characteristics of dissolved and particulate organic matter in Russian rivers entering the Arctic Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 64:2973-2983.

Loffredo, E., M. Berloco y N. Senesi. 2008. The role of humic fractions from soil and compost in controlling the growth in Vitro of phytopathogenic and antagonistic soil-borne fungi. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 69:350-357.

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.

López, C. R., A. Gallegos del T., E. Peña C., A. Reyes L., R. Castro F. Y J. F. J. Chávez G. 2006. Sustancias húmicas de origen diverso en algunas propiedades físicas de un suelo franco-arcillo-limoso. *TERRA Latinoamericana*. Julio-Septiembre. Volumen 24, N° 3. Páginas. 303-310.

López, R., D. Gondar, A. Iglesias, S. Fiol, J. Antelo y F. Arce. 2008. Acid properties of fulvic and humic acids isolated from two acid forest soils under different vegetation cover and soil depth. *European Journal of Soil Science*. 59:892-899.

Lovley, D.R., J.D. Coates, E.L. Blunt-Harris, E.J.P. Phillips y J.C. Woodward. 1996. Humic substances as electron acceptors for microbial respiration. *Nature*. 382:445-448.

Ma H., H. E. Allen y Y. Yin. 2001. Characterization of isolated fractions of dissolved organic matter from natural waters and a wastewater effluent. *Water Research*. 35:985-996.

MacCarthy, P., R.L. Malcolm C.E. Clapp y P.R. Bloom. 1990. An Introduction to Soil Humic Substances. En *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*.

MacCarthy, P., C.E. Clapp, R.L. Malcolm y P.R. Bloom. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of American, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp. 1-12.

MacCarthy, P. 2001. The principles of humic substances. *Soil Science*. 166:738-751.

Mackowiak, C. L., P.R. Grossl y B.G. 2001. Beneficial Effect of Humic Acid on Micronutrient Availability to Wheat. *Soil Science Society of American Journal*. 65:1744-1750.

Malcolm, R.E. y D. Vaughan. 1978. Effects of humic acid fractions on invertase activities in plant tissues. *Soil Biology and Biochemistry*. 11:65-72.

Malcolm, R.E. y D. Vaughan. 1979. Humic substances and phosphatase activities in plant tissues. *Soil Biol. Biochem*. 11:253-259.

Martin, D. y H.G. Hauthal. 1975. Dimethyl sulphoxide (translated by E.S. Halbertadt). Van Nostrand-Reinhold, New, York.

Miltner, A. y W. Zech. 1994. Litter decomposition and humification in calcareous soils under mediterranean and temperate climate. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.), *Humic substances in the global environment and implications on human health*. 1994. Elsevier science B.V. pp. 667-669.

Mineni, S.C.B, J. T. Brown, G.A. Martinez y W. Meyer-Ilse. 1999. Imaging of Humic Substance Macromolecular Structures in Water and Soils. *Science*. 286: 1335-1337.

Muscolo, A., M. Felici, G. Concheri y S. Nardi, 1993. Effect of earthworm humic substances on peroxidase and esterase activity during growth of leaf explants of *Nicotiana glauca*. *Biology and Fertility of Soils*. 15:127-131.

Monnier, G. 1984. Recherches, Sur la stabilité structurale. Exemples d' applications. En. *Livre jubilaire du cinquanteaire*. Association française pour l' étude du sol Paris France.

Muscolo, A., M. Sidari, E. Attina, F. Ornella, V. Tugnoli y S. Nardi. 2007. Biological Activity of Humic Substances Is Related to Their Chemical Structure. *Soil Science Society of America Journal*. 71:75-85.

Metcalfé, D. 2002. Cálculo de Dinámicas de Raíz en Ecosistemas Tropicales. Manual de Campo.

- Muñoz R. J.J. 2004. Manual de producción hortícola en invernadero. 2ª. Edición. INTAGRI. Irapuato, Guanajuato, México. P 231.
- Nardi, S., D. Pizzeghello, F. Reniero y A. Muscolo. 1999. Biological Activity of Humic Substances Extracted from Soils Under Different Vegetation Cover. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 30:621-634.
- Nardi, S., G. Concheri, D. Pizzeghello, K. Sturato, R. Rella y G. Parvoli. 2000. Soil organic matter mobilization by root exudates. *Chemosphere*. 41:653-658.
- Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo, y A. Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances in higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34:1527-1537.
- Olk, D.C., G. Brunetti y N. Senesi. 2000. Decrease in humification of organic matter with intensified lowland rice cropping: A wet chemical and spectroscopic investigation. *Soil Science Society of America Journal*. 64:1337-1347.
- Orlov, D.S. 1995. Humic substances in soils and general theory of humification. Russian translations series III. A.A. Balkema/Rotherdam/Brookfield.
- Orlov, D. S. 1995. Humic substances of the soil and general theory of humification. A. A. Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT, USA.
- Pal, S. y M. B. Sengupta. 1985. Nature and properties of humic acid prepared from different source and its effect on nutrient availability. *Plant and Soil*. 88:71-91.
- Piccolo, A. y J.S.C. Mbagwu. 1989. Effects of humic substances and surfactants on the stability of soil aggregates. *Soil Science*. 147:47-54.
- Piccolo, A. y J.S.C. Mbagwu. 1990. Effects of different organic wastes amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic sizes. *Plant Soil*. 123:27-37.
- Piccolo, A. y J.S.C. Mbagwu. 1994. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. *Soil Science Society of American Journal*. 58:950-955.

Piccolo, A. y J.S.C. Mbagwu. 1999. Role of Hidrophobic Components of Soil Organic Matter in Soil Aggregated Stability. *Soil Science Society of American Journal*. 63:1801-1810.

Piccolo, A. 2001. The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*. 166:810-832.

Piccolo, A. 2002. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Advances in Agronomy*. 75:57-134.

Pinton, R., S. Cesco, G. Lacolettig, S. Astolfi y Z. Varanini. 1999. Modulation of NO<sub>3</sub> uptake by water-extractable humic substances: Involvement of root plasma membranes H<sup>+</sup>-ATPase. *Plant and Soil*. 215:155-161.

Pettit. 2004. Organic matter, Humate, Humic acid, Fulvic acid and Humin: Their Importance in Soil Fertility and Plant Health. Huma Tech. Inc. Makers of Promax. <http://www.humate.info/>

Polyakov, E. 2007. Behavior of ionic and colloid forms of microelements in colloidal chemical extraction from humic acid solutions. *Radiochemistry*. 49:432-438.

Rajae, A., S. Amir, S. Sovabi, P. Winterton, V. Nobira, V. Revel, J.C. Revel y M. Hafidi, 2008. The fulvic acids fractions as it changes in the mature phase of vegetable oil-mill sludge and domestic waste composting. *Bioresource Technology*. XXX: 1-7.

Rice, J. A. 2001. Humin. *Soil Science*. 166:848-857.

Rice, J. A. y P. MacCarthy. 1989. Isolation of humin by liquid-liquid partitioning. *Science of Total Environment*. 82:61-69.

Rice, J. A. y P. MacCarthy. 1990. A model of humin. *Environmental Science and Technology*. 24:1875-1877.

Sánchez-Monedero, M.A., A. Roig, J. Cegarra y M.P. Bernal. 1999. Relationship between water-soluble carbohydrate and phenol fractions and the humification indices of different organic wastes during composting. *Bioresource Technology*. 70: 1993-2001.

Sánchez-Monedero, M.A., A. Roig, J. Cegarra, M.P. Bernal y C. Paredes. 2002. Effects of HCl-HF purification treatment on chemical composition and structure of humic acids. *European Journal of Soil Science*. 53: 375-381.

Schnitzer, M. 1978. Humic substances: Chemistry and reactions. En *Soil Organic Matter*. Edit. Schnitzer, M. y S.U. Khan. Elsevier Amsterdam. pp. 1-64.

Schnitzer, M. y S.U. Khan. 1978. *Soil Organic Matter*. Elsevier Scientific Publication Co., Amsterdam, The Netherlands.

Schnitzer, M., H. Dinel, S.P. Mathur, H.R. Schulten y G. Owen. 1993. Determination of compost biomaturity. 3. Evaluation of a colorimetric test by C-13-NMR spectroscopy and pyrolysis field ionization mass-spectrometry. *Biological Agriculture and Horticulture*. 10:109-123.

Schnitzer, M. 1990. Aliphatics in Soil Organic Matter in Fine-Clay Fractions. *Soil Science Society of American*. 54:98-105.

Schnitzer, M., H. Dinel, H.R. Schulten, T. Paré y S. Lafond. 2000. Humification of duck farm wastes. En: Ghabour, E.A., Davies, G. (Eds.) *Humic Substances: Versatile Components of Plants, Soil and Water*, The Royal Society of Chemistry. pp 20-34. .

Sellami, F., S. Hachicha, M. Chtourou, K. Medhioub y E. Ammar. 2008. Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters. *Bioresource Technology*. xxx:xxx-xxx.

Senesi, N., T.M. Miano, M.R. Provenzano y G. Brunetti. 1989. Spectroscopic and compositional comparative characterization of I.H.S.S. reference and standard fulvic and humic acids of various origin. *Science of Total Environment*. 81:143-156.

Senesi, N., T.M. Miano, G. Brunetti. Humic-like substances in organic amendments and effects on native soil humic substances. 1996. En A. Piccolo (Eds.). Humic Substances in Terrestrial Ecosystems.

Senesi N. y E. Loffredo. 1999. The chemistry of soil organic matter. En Sparks, L.D. (ed.) Soil pPhysical chemistry Second edition, pp. 239-370.

Shirshova, L.T., E. A. Ghabbour y D. Geoffrey. 2006. Spectroscopic characterization of humic acid fractions isolated from soil using different extraction procedures. Geoderma.133:204-216.

Shulten, H.R. y M. Shnitzer. 1995. 3-Dimensional models for humic acids and soil organic matter. Neturwissenschaften. 82:487-498.

Singer, A. y P.M. Huang. 1993. Humic acid effect on aluminium interlayering in montmorillonite. Soil Science Society of American Journal 57:271-279.

Soane, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compactability: A review of some practical aspects. Soil and Tillage Research. 16:179-201.

Spaccini, R., J.S.C. Mbagwu, P. Conte y A. Piccolo. 2006. Changes of humic substances characteristic from forested to cultivated soils in Etiopía. Geoderma 132:9-19.

Sparks, D.L. 1999. Soil physical chemistry. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.

Spigarelli, S.A. 1994. Stimulation of anion root growth by peat humic substances: effects of extraction temperature and pH. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.), Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. pp. 513-520.

Stealink, C. 1983. Elemental characteristics of humic substances. En: Aiken G.R., McKnight D.M., Wershaw R.L. and MacCarthy P. (eds.). pp. 457-476. Humic substances in soils, sediments and water. John Wiley, New Cork, USA.

Steelink, C. 1985. Implication of elemental characteristics of humic substances. En G.R. Aiken et al., (ed.) Humic substances in soil, sediment, and water. John Wiley & Sons, New York. pp. 457-476.

Stevenson, F.J. 1994. Humus chemistry. Genesis, Composition, Reactions. Second Edition. John Wiley y Sons. Inc.

Swift, R.S. 1996. Organic matter characterization. In Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. D.L. Sparks et al. (eds.). SSSA Book Series no. 5. Soil Science Society of American Journal, American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 1011-1069.

Szilagyi, M. 1971. Reduction of Fe<sup>3+</sup> ion by humic acid preparations. Soil Sci. 111:233-235.

Tan K.H., D.S. Himmelsbach, J.C. Lobartini y G. R. Gamble 1994. The issue of artifacts in NaOH extraction of Humic Matter. . In Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.), Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. Pag 109-114.

Theng, B.K.G. 1976. Interactions between montmorillonite and fulvic acid. Geoderma 15:243-251.

Varadachari, C., A.H. Mondal, D.C. Nayak y K. Gosh. 1994. Clay-humus complexation: Effect of pH and the nature of bonding. Soil Biology and Biochemistry. 26:1145-1149.

Vaughan, D. y B.G. Ord. 1985. Soil organic matter-A perspective on its nature, extraction, turnover and role in soil fertility. Developments in plant and soil sciences. 16:1-35.

Vaughan D. y R.E. Malcolm 1985. Influence of humic substances on growth and physiological process. En Soil Organic Matter and Biological Activity. pp. Eds. D. Vaughan and R.E. Malcolm. Boston, MA, USA: Martinus Nijhoff. pp.37-75.

Veeken, A., K. Nierop; V. de Wilde y B. Hamelers. 2000. Characterization of NaOH-extracted humic acids during composting of a biowaste. Bioresource Technology. 72:33-41.

Venegas, G.J. 2004. Caracterización fisicoquímica de sustancias húmicas de cachaza de caña de azúcar composteada y respuesta de zarzamora (*Rubus* spp.) a su adición. Tesis de doctorado especialidad de edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México.

Viser, S.A. 1986. Effect of humic substances on plant growth. In: Burns R. *et al.* (eds). Humic substances, effects on soil and plants. Reda Ramo Editoriale degli agricoltori. Milan, Italia.

Walkley, A. y I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjaseff method for proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 27:29-38.

Whitehead, D.C. 1963. Some aspects of the influence of soil organic matter on soil fertility. *Soil Fertility*. 26:217-223.

Wolfe, N.L. y D.L. Macalady. 1992. New perspectivas in aquatic redox chemistry: Abiotic transformation of pollutants in groundwater and sediments. *Journal of Contamination Hydrologyc*. 9:17-34.

Wong, J.W.C., K.F. Mak, N.W. Chan, A. Lam, M. Fang, L.X. Shou, Q.T. Wu, X.D. Liao. 2001. Co-composting of soybean residues and leaves in Hong Kong. *Bioresource Technology*. 76:99-106.

Wu L. y L.Q. Ma. 2002. Relationship between Compost Stability and Extractable Organic Carbon. *Journal of Environmental Quality*. 31:1323-1328.

Zachariakis, M, E. Tzorakakis, I. Kritsotakis, C.I. Siminis y V. Manios 2001. Humic substances stimulate plant growth and nutrient accumulation in grapevine rootstocks. En Balis *et al.* (eds.). Proc. Int. Symp. on Composting of Organic Matter. *Acta Horticulturae*. 549 131-136.

Zalba, P. y A.R. Quiroga. 1999. Fulvic acid carbon as a diagnostic feature for agricultural soil evaluation. *Soil Science*. 164:57-61.



Zandonadi, D.B., L.P. Canellas y A.R. Façanha. 2007. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concertad plamalemma and tonoplast H<sup>+</sup> pumps as activation. *Planta*. 225:1583-1595.