

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO RECURSOS NATURALES RENOVABLES



Comportamiento de Ácidos Fúlvicos Extraídos de Composta en la Estabilidad de Agregados de dos Suelos Agrícolas

Por:

FLORENCIO GALDÁMEZ RAMÍREZ

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Febrero del 2008

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**COMPORTAMIENTO DE ÁCIDOS FÚLVICOS EXTRAÍDOS DE
COMPOSTA EN LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS DE DOS SUELOS
AGRÍCOLAS**

POR:

FLORENCIO GALDÁMEZ RAMÍREZ

**QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL, PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

APROBADA

DR. ALVARO FERNANDO RODRÍGUEZ RIVERA

**DR. RUBÉN LÓPEZ CERVANTES M.C. MA. DEL ROSARIO SUÑIGA
ESTRADA**

**ING. JOSÉ RODOLFO PEÑA ORANDAY
COORDINADOR DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO, FEBRERO DEL 2008

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por darme la vida y por haberme apoyado en todo el recorrido de mi carrera profesional y darme la oportunidad de concluirla satisfactoriamente.

A mi "Alma Mater" por darme la oportunidad de superarme como ser humano y brindarme las herramientas para salir adelante en la vida.

Al Dr. Rubén López Cervantes por su comprensión y apoyo en este proyecto de tesis, por su confianza y amistad hacia mi persona.

Al Dr. Álvaro Rodríguez por participar como mi asesor y por su apoyo brindado para mejorar este trabajo de investigación.

A la MC. María del Rosario Zúñiga Estrada por su colaboración en este proyecto y por su apoyo siendo participe como asesor de dicho proyecto.

A todos los profesores que participaron en mi formación por su comprensión, apoyo y conocimientos brindados.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Adán Ramírez cruz y Elicena López Ojeda

Que con mucho esfuerzo lograron criarme como una persona de bien y educarme, que sin ser mis padres de sangre dedicaron su vida a apoyarme siempre y que se han ganado a pulso que yo les llame "mis únicos y verdaderos Padres" gracias por todo lo que me han dado, que Dios me los bendiga siempre.

A la Familia:

Roque Ramírez, en especial a don Audías Roque Lázaro y Rosa Oralía Ramírez López

Por el cariño de familia y por todo el apoyo moral y económico que brindaron a mi persona "MIL GRACIAS".

A mis hermanos

Ulises Ramírez López

Que más que mi hermano has sido como un padre para mí gracias por el apoyo económico y moral que me brindaste.

Amet Ramírez López

Gracias por apoyarme tanto moral como económicamente "GRACIAS"-

Homero Ramírez López

Gracias por apoyarme económicamente en mí carrera y por ser un ejemplo de superación.

A mi Abuelito

Jacinto Ramírez

Gracias por sus consejos tan sabios, y por ser como un amigo para mí.

A mi esposa:

Jesús González Castillejos

Gracias por apoyarme y por ser una motivación para terminar mi carrera y sobre todo por darme una linda y hermosa hija Jacqueline Guadalupe Galdámez González.

A mis amigos:

Alberto Rodríguez, Alberto , Ignacio Avendaño, Magín Montesinos, Wanerges Montesinos, Yosimar, Jesús León Coronel, Felipe, Alejandro Mora, Germán, Gerardo Vilchis, Alexander Montesinos.

Gracias por su amistad y por su muestra de compañerismo en todo momento.

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el comportamiento de ácidos fúlvicos (AF) extraídos de compost en la estabilidad de agregados (Ag), dos suelos fueron colectados y mediante tamices divididos en agregados con diámetro $< 280 \mu\text{m}$ y entre $>280 \mu\text{m}$ y $<2 \text{ mm}$. A éstos se les agregaron 2, 4 y 6 ml.litro^{-1} de agua de dos AF; uno obtenido de compost de gallinaza (AFM) y otro proveniente de leonardita (AFH) (mineral fósil de carbón) y agua como testigo absoluto (TA). Después de 15 días les fue medida la Ag, la arcilla (Ar), el limo (L), la arena (A), la densidad aparente (Da), la materia orgánica (MO) y la porosidad (E). Se encontró que los AFM son los más oxidados. Los AFH a razón de 4 ml.litro^{-1} de agua, estabilizan los agregados con diámetro $<280 \mu\text{m}$ y la Ag depende en 85 % de la MO, en el suelo de "El Bajío". En el suelo "La Nogalera" los AFM a la cantidad de 6 ml.litro^{-1} estabilizaron los agregados de diámetro $>280 \mu\text{m}$ y $<2 \text{ mm}$; aquí la Ag depende en 80 % de la MO, mientras que la Ar, el L y la A no realizaron efecto sobre la Ag, por lo que se concluye que los AFM y la MO, tienen efecto positivo en la estabilidad de microagregados del suelo de "El Bajío" y en los macroagregados de "La Nogalera".

INDICE DE CONTENIDO

Capítulo:	pag.
Agradecimientos	i
Dedicatorias	ii
Resumen	iV
Índice de cuadros	V
Índice de figuras	Vii
Introducción	1
Objetivo.....	2
Hipótesis.....	2
Revisión de literatura	3
Las sustancias húmicas.....	3
Los ácidos fúlvicos.....	5
Los ácidos fúlvicos en las propiedades del suelo.....	6
Materiales y métodos	7
Localización del experimento.....	7
Metodología.....	7
Resultados y discusión	8
Conclusión	26
Literatura citada	27

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Acidez total, grupos funcionales libres carboxilos y grupos funcionales libres oxidrilos fenólicos, de dos ácidos fúlvicos.....	8
Cuadro 2. Análisis de varianza de la densidad aparente de los agregados del suelo “El Bajío”	8
Cuadro 3. Análisis de varianza de la arcilla de los agregados del suelo “El Bajío”	10
Cuadro 4. Análisis de varianza de la arena de los agregados del suelo “El Bajío”	11
Cuadro 5. Análisis de varianza del limo de los agregados del suelo “El Bajío”	12
Cuadro 6. Análisis de varianza de la materia orgánica de los agregados del suelo “El Bajío”	13
Cuadro 7. Análisis de varianza de la porosidad de los agregados del suelo “El Bajío”	14
Cuadro 8. Análisis de varianza de la estabilidad de los agregados del suelo “El Bajío”	15
Cuadro 9.- Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple de las variables medidas a los agregados del suelo de “El Bajío”	16
Cuadro 10. Análisis de varianza de la densidad aparente de los agregados del suelo “La Nogalera”	16
Cuadro 11. Análisis de varianza de la arcilla de los agregados del suelo “La Nogalera”	17

Cuadro 12. Análisis de varianza de la arena de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	18
Cuadro 13. Análisis de varianza del limo de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	19
Cuadro 14. Análisis de varianza de la materia orgánica de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	20
Cuadro 15. Análisis de varianza de la porosidad de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	21
Cuadro 16. Análisis de varianza de la estabilidad de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	22
Cuadro 17.- Ecuaciones de regresión simple y múltiple de las variables medidas de los suelos de “La Nogalera”.....	23

.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de medias de la densidad aparente de los agregados del suelo “El Bajío”.....	9
Figura 2. Comparación de medias de la arcilla de los agregados del suelo “El Bajío”.....	10
Figura 3. Comparación de medias de la arena de los agregados del suelo “El Bajío”.....	11
Figura 4. Comparación de medias del limo de los agregados del suelo “El Bajío”.....	12
Figura 5. Comparación de medias de la materia orgánica de los agregados del suelo “El Bajío”.....	13
Figura 6. Comparación de medias de la porosidad de los agregados del suelo “El Bajío”.....	14
Figura 7. Comparación de medias de la estabilidad de los agregados del suelo “El Bajío”.....	15
Figura 8. Comparación de medias de la densidad aparente de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	17
Figura 9. Comparación de medias de la arcilla de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	18
Figura 10. Comparación de medias de la arena de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	19
Figura 11. Comparación de medias del limo de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	20
Figura 12. Comparación de medias de la materia orgánica de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	21
Figura 13. Comparación de medias de la porosidad de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	22
Figura 14. Comparación de medias de la estabilidad de los agregados del suelo “La Nogalera”.....	23

INTRODUCCIÓN

Los suelos agrícolas del municipio de Saltillo, Coahuila, México, son Calcisoles, los que se caracterizan por poseer textura limosa, la fracción arcilla es dominada por illitas, densidad aparente superior a 1.3 g cm^{-3} y con cantidades inferiores a 1 por ciento de materia orgánica (WRB-FAO/UNESCO, 1994); lo anterior provoca suelos con baja estabilidad de agregados.

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 μm . En los microagregados, revelaron un incremento en el porcentaje de arena y una reducción de limo y arcilla en los agregados de <50 μm 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.

Contrario a lo anterior, encontraron 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) y concluyeron que los AF (SH de mayor acidez total) tienen influencia significativa en algunas características físicas de un calcisol como: la

porosidad, la estabilidad de agregados y la velocidad de infiltración, pero no hay efecto significativo en la densidad aparente.

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 presentan con claridad el o los mecanismos y factores involucrados en la estabilidad de los agregados, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de ácidos fúlvicos extraídos de composta en la estabilidad de agregados de dos suelos de uso agrícola.

Objetivo

Determinar el comportamiento de ácidos fúlvicos extraídos de composta en la estabilidad de agregados de dos suelos de uso agrícola.

Hipótesis

Los ácidos fúlvicos extraídos de composta, aumentan los contenidos de materia orgánica y estabilizan agregados de dos suelos de uso agrícola.

REVISIÓN DE LITERATURA

Las Substancias Húmicas

La materia orgánica del suelo procede de la descomposición de residuos de planta y animales que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los mismos: lombrices, insectos de todo tipo, microorganismos, etc. La descomposición de estos restos y residuos metabólicos, da origen a lo que se denomina humus. También, dicha descomposición lleva a que los materiales originales pasen a diversas formas químicas: dióxido de carbono, agua, amoníaco, óxidos de nitrógeno y elementos minerales esenciales para la nutrición de las plantas (Porta *et al.*, 1999).

La materia orgánica del suelo usualmente se subdivide en dos grandes categorías: sustancias no húmicas (SNH) y sustancias húmicas (SH).

La fracción no húmica de la materia orgánica, consiste de compuestos orgánicos de reciente incorporación aun no descompuestos; la mayor parte de éstos, son de bajo peso molecular y pueden ser utilizados como substratos por los microorganismos del suelo y como tales pueden tener una existencia relativamente corta en el suelo. Entre estas sustancias están; carbohidratos, proteínas, auxinas, alcoholes, aminoácidos, ligninas, grasa, ceras, resinas, pigmentos de bajo peso molecular; llegan a constituir del 10 al 15 por ciento de la reserva total de materia orgánica. (Loison y Nolgret, 1990).

Los constituyentes de cualquier cubierta vegetal en descomposición, son la principal fuente de energía, para la mayoría de los microorganismos y animales que habitan en el suelo y gracias a su actividad ocurre la formación de SH. A pesar de que las distintas especies vegetales contienen en general los mismos grupos de sustancias (ceras, grasas, taninos, lignina y otras más), la proporción de estos en los distintos tejidos vegetales, influye considerablemente en la velocidad de humificación (Kononova, 1982).

El proceso de descomposición de los residuos orgánicos, inicia cuando la materia orgánica "fresca", bien aireada, es oxidada por acción enzimática de los microorganismos y los productos resultantes son algunas moléculas simples, compuestos fenólicos solubles, materia orgánica poco transformada y la biomasa, a partir de estos compuestos se construyen nuevas moléculas; el humus. Este está caracterizado por la condensación de núcleos aromáticos unidos entre si por puentes de oxígeno y nitrógeno, cuyo proceso es denominado la policondensación, la cual se caracteriza por el aumento en la talla del núcleo aromático, con frecuencia llamado "núcleo"; la disminución proporciona cadenas alifáticas al núcleo, el aumento de peso molecular y la disminución de la solubilidad de las moléculas (Loison y Noigret, 1990).

Las sustancias húmicas son una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas, con estructura química muy compleja, distinta y más estable que su forma original y provienen de la degradación de residuos de plantas y animales, gracias a la actividad enzimática de los microorganismos y por metamorfismo de residuos orgánicos, después de millones de años, sepultados por arcillas en deltas de ríos (minerales fósiles).

En Rusia, Francia, Alemania, Italia, Canadá y Escocia, desde antes de la primera guerra mundial, de los horizontes orgánicos superficiales humificados de suelos de bosque, colectaron y analizaron las SH (principalmente ácidos húmicos), con el fin de generar información sobre su origen, características, su efecto y función en suelos y plantas.

Así, por ejemplo, Felbeck, (1971) mencionó cuatro hipótesis acerca de la formación de esas sustancias:

La alteración de las plantas. Las fracciones de tejidos vegetales lignificados resistentes a la degradación microbiana, son alterados solo superficialmente para formar sustancias húmicas. La naturaleza de las sustancias formadas está fuertemente influenciada por la naturaleza del material vegetal original.

Durante la primera etapa de la humificación, se forman las huminas y los ácidos húmicos de alto peso molecular, estos se degradan posteriormente a ácidos fúlvicos y finalmente a CO₂ y H₂O.

La polimerización química. Las materias son degradadas por los microorganismos a moléculas más pequeñas que son utilizadas posteriormente como fuente de carbono y energía. Los microorganismos sintetizan fenoles y aminoácidos que son oxidados y polimerizados a sustancias húmicas.

La autólisis celular. Las SH, son el producto de la autólisis de las células vegetales y microbianas después de su muerte. Los productos resultantes (azúcares, aminoácidos, fenoles y otros compuestos aromáticos), se condensan y polimerizan vía radicales libres.

Síntesis microbiana. Los microbios utilizan los tejidos vegetales como fuente de carbono y energía, para sintetizar intercelularmente materiales húmicos de alto peso molecular. Después que los microbios mueren, estos compuestos son liberados al suelo. Así, las SH de alto peso molecular, representan el primer estado de la humificación, siguiendo la degradación microbiana extracelular a ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y finalmente a CO₂ y H₂O.

La mezcla de compuestos orgánicos que se extrae del suelo mediante métodos establecidos o por extensión de materiales orgánicos más o menos humificados; puede denominarse " sustancias húmicas solubles " estos materiales solubles constituyen una fracción importante de humus y están formada por ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), huminas residuales (HR) y algunos otros componentes no propiamente húmicos, como polisacáridos y péptidos (Piccolo y Stevenson, 1982)

Los AH son solubles en una solución alcalina, pero precipitados cuando el pH es ácido; los AF permanecen en solución, cuando el extracto alcalino es acidificado y las huminas son la fracción húmica que no es solubilizada, ni por disoluciones ácidas ni por básicas (Franco y Bañón, 2000; <http://www.ediho.es/horticom/temaut/sustr/ahumicos.html>, 2007).

Los Ácidos Fúlvicos

Los AF son compuestos constituidos por dos grupos oxigenados: carboxílicos y fenólicos, estos grupos pueden adsorber cationes cuando están en forma libre y son los cationes bivalentes los que se adhieren con mayor fuerza a las cargas negativas. Los AF son de bajo peso molecular, su color puede variar de amarillo a café oscuro; en los que la acidez total y el contenido en -COOH, es mayor que en los ácidos húmicos, al igual que la tendencia a retener metales, formando sales o por la formación de quelatos y complejos de metales (Stevenson y Schinitzer, 1982). Según Vaughan *et al.* (1985), poseen una relación C/H más baja y tienen mayor actividad con respecto a los procesos fisiológicos y metabólicos de la planta.

Los AF son la fracción de las SH, soluble en agua y a pH tanto alcalino como ácido. Éstos se distinguen de los AH porque tienen una coloración más clara, por el contenido relativamente más bajo en carbono y su mayor contenido de oxígeno (Kononova, 1982) y, en esencia, poseen unidades estructurales similares a las de los AH y se caracterizan por la presencia, de una fracción nuclear poco pronunciada, con predominio de cadenas laterales y pertenecen al grupo de los ácidos dihidroxicarboxílicos, con alta capacidad de intercambio catiónico de hasta $700 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de sustancia (Vaughan *et al.*, 1985).

Un ejemplo de AF, lo mencionan Franco y Bañón (1977), al concluir que las turbas son materiales sometidos a un largo proceso de humificación, por lo que poseen un elevado contenido de humus estable, mientras que los intensos lavados a los que por lo general han sido sometidos, producen cantidades bajas de AF.

Los Ácidos Fúlvicos en las Propiedades del Suelo

Chen y Aviad (1990), comentan que entre los principales efectos de las SH en las características químicas, físicas y biológicas de los suelos, destacan, que como mejoradores aumentan la disponibilidad de algunos macro y micronutrientes (K, Ca, P, Fe, Zn y Mn), incrementan la capacidad de intercambio catiónico, mejoran la estructura y aumentan la disponibilidad de humedad. Narro (1997), complementa al decir que las SH, reducen la compactación, facilita el laboreo, reduce la formación de costras y disminuye la resistencia al suelo a la penetración de raíces y Jhon *et al.* (1984), destacan que las SH, incrementan la población de microorganismos debido a los incrementos de fuentes de Carbono y Nitrógeno contenido en ellos.

Lu y Koide (1994), señalan que SH adicionadas al suelo, conducen a un buen desarrollo de la micorriza arbuscular, aunque suele aumentar solo por períodos cortos de tiempo. Una explicación para estos resultados, es la habilidad de estos materiales húmicos para unir los agregados del suelo, en presencia de los cationes polivalentes (Scareiner y Bethlefevey, 1998).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

El experimento se efectuó en el Laboratorio de Substancias Húmicas 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. Los suelos predominantes son Calcisoles (WRB-FAO / UNESCO, 1994).

Metodología

Suelos de las áreas experimentales del *Campus* principal de la UAAAN, denominadas “El Bajío” y “La Nogalera”, fueron colectados, secos al aire y divididos mediante tamices en dos tipos de agregados, < 280µm y entre 280 µm y 2 mm de diámetro. Cincuenta gramos de cada tipo de agregados, se colocaron en macetas de poliestireno y se les agregaron 2, 4 y 6 ml . litro⁻¹ de agua de AF extraídos de MIYAORGANIC® (composta comercial de gallinaza), los que poseen 14 por ciento de éstos compuestos y fueron denominados AFM y como testigo comercial se empleó el K-tionic® (ácido fúlvico con 25 por ciento, Grupo Bioquímico Mexicano) y nombrados AFH. La acidez total (AT) de los AF de ambos orígenes fue medida mediante oxidación y reducción, es decir, los grupos funcionales libres carboxilos (–COOH) y oхhidrilos (–OH) (Schnitzer y Gupta, 1965). Agua destilada fue empleada como testigo absoluto (TA). Las macetas se saturaron con agua destilada y después de 25 días se secaron al aire y les fue medida la estabilidad de agregados (Ag), mediante la formula propuesta por Monnier (1984):

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

Donde:

Ag: Estabilidad de agregados.

MO: Materia orgánica.

A: Arcilla.

La materia orgánica (MO) (Walkley y Black, 1934), la textura (Pipeta de Robinson), densidad aparente (Da) (Método de la probeta) y la porosidad (E) ($E = 1 - Da/Dr \times 100$).

Las cantidades de AF generaron 17 tratamientos en cada tipo de suelo y agregados, los cuales fueron distribuidos bajo un Diseño Experimental Completamente al Azar, con tres repeticiones. 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 empleó el paquete para computador MINITAB, versión 14 para Windows, además, Análisis de Regresión Lineal Simple y Múltiple, donde la Ag fue la variable dependiente y las demás características medidas fueron las variables independientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Ácidos Fúlvicos

Los AFM aventajaron en la AT con 285 por ciento al K-tionic (AFH). La AT de los AFM fue superior a la de la otra SH, porque la cantidad de grupos funcionales libres oxigenados dominantes son los carboxilos (-COOH). Aquí se revela la tendencia de que conforme aumenta la cantidad de grupos funcionales carboxilo, en un tipo de substancia, decrecen los grupos funcionales hidroxilo fenólicos (-OH) y viceversa, en el otro compuesto húmico. Esta variación es de acuerdo al origen de materia orgánica de donde provengan (Fründ *et al.*, 1994), aunque los AF siempre estarán mas oxidados que los AH, independientemente de la fuente de origen (Schnitzer, 2000; Pettit, 2004) (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Acidez total (AT), grupos funcionales libres carboxilos (-COOH) y grupos funcionales libres oxidrilos fenólicos (-OH), de dos ácidos fúlvicos adicionados a dos tipos de agregados, de dos diámetros, en laboratorio.

Compuesto	AT ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	-COOH ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	-OH ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	Porcentaje
K-tionic	182	74	108	25.0
AFM	702	530	172	14.0

Suelo de “El Bajío”

El valor menor de la densidad aparente (Da) en los agregados con diámetro < a 280 μm fue de 1.11 g cm^{-3} en donde se agregaron los AFH a razón de 6 ml.litro^{-1} de agua y el mayor fue de 1.36 g cm^{-3} en el suelo sin tamizar (ST2), mientras que en los agregados con diámetro > 280 μm fueron los mismos valores mínimo y máximo, solo que en el suelo donde se agregaron los AFH a la cantidad de 2 ml.litro^{-1} de agua. El efecto es significativo (Cuadro 2 y Figura 1).

Cuadro 2. Análisis de varianza de la densidad aparente de los agregados del suelo “El Bajío”.

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	0.054632	0.002875	2.36	0.011*
Error	40	0.048733	0.001218		
Total	59	0.103365			

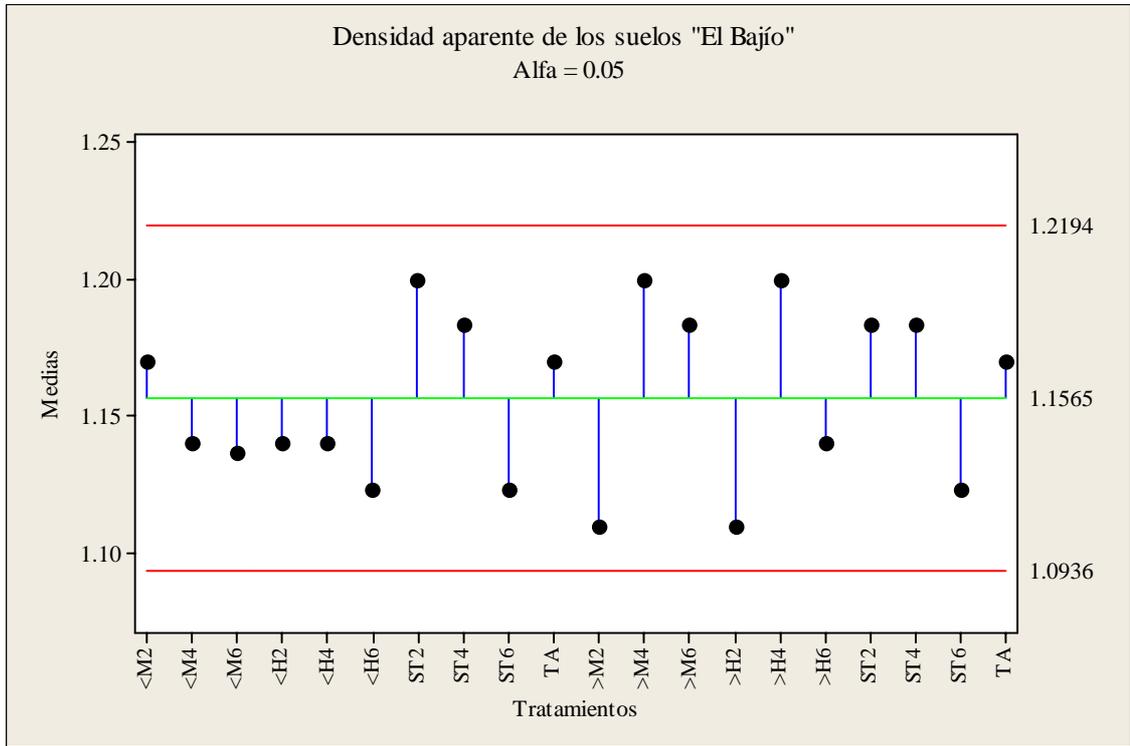


Figura 1. Comparación de medias de la densidad aparente de los agregados del suelo "El Bajío".

De forma general, se puede establecer que en los dos tipos de agregados la cantidad de arcilla (Ar) fue la mayor, seguido por la de arena (A) y por último del limo (L). Aquí, no hay efecto estadístico significativo (Cuadros 3, 4 y 5 y Figuras 2, 3 y 4).

Cuadro 3. Análisis de varianza de la arcilla de los agregados del suelo "El Bajío".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	149.445	7.866	0.90	0.590NS
Error	40	351.030	8.776		
Total	59	500.475			

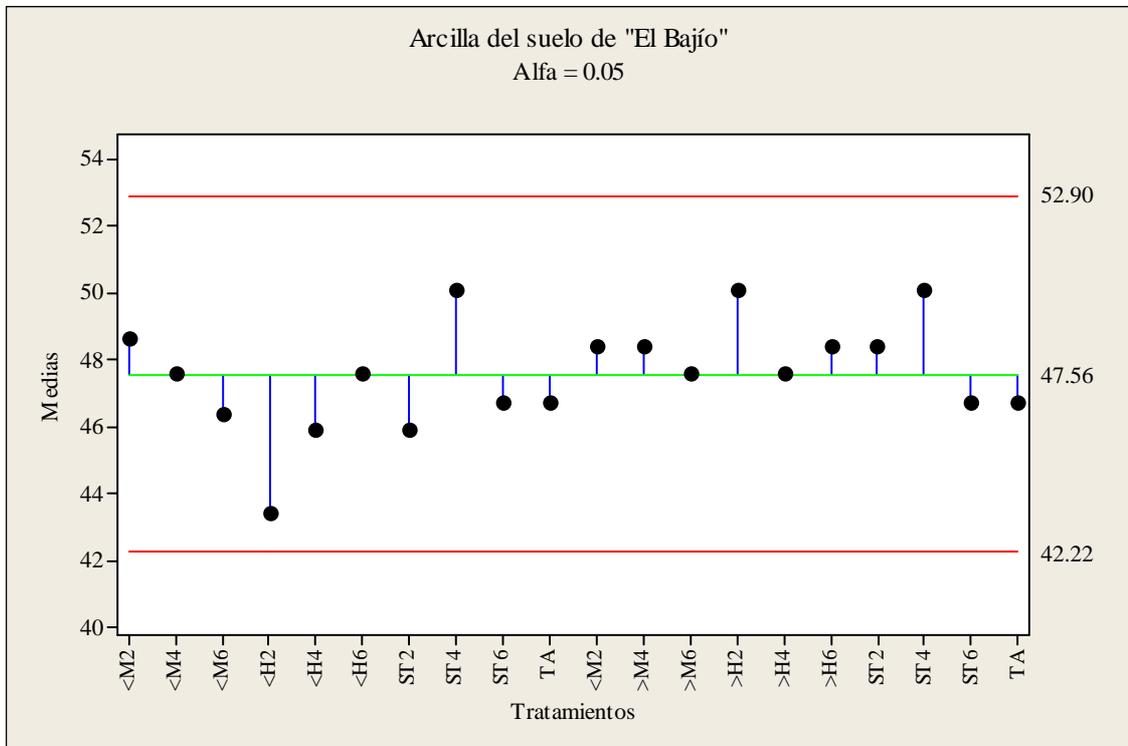


Figura 2. Comparación de medias de la arcilla de los agregados del suelo "El Bajío".

Cuadro 4. Análisis de varianza de la arena de los agregados del suelo "El Bajío".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	164.58	8.66	0.87	0.622NS
Error	40	400.00	10.00		
Total	59	564.58			

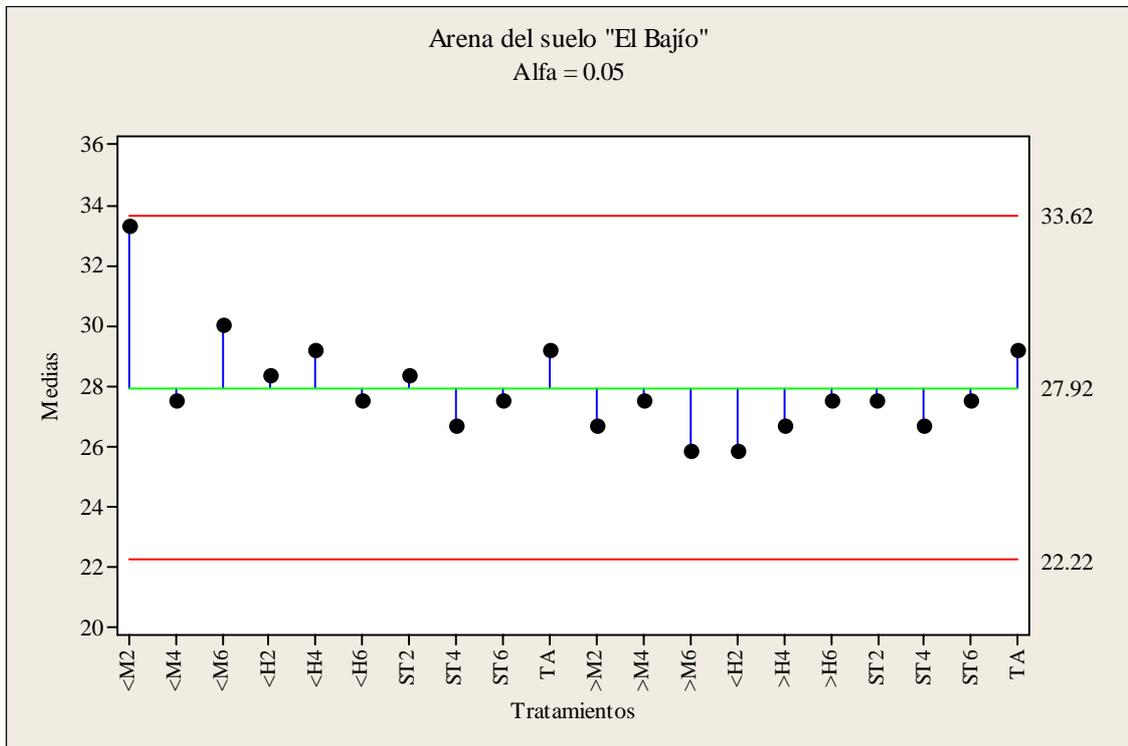


Figura 3. Comparación de medias de la arena de los agregados del suelo "El Bajío".

Cuadro 5. Análisis de varianza del limo de los agregados del suelo "El Bajío".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	216.95	11.42	1.01	0.471NS
Error	40	451.93	11.30		
Total	59	668.87			

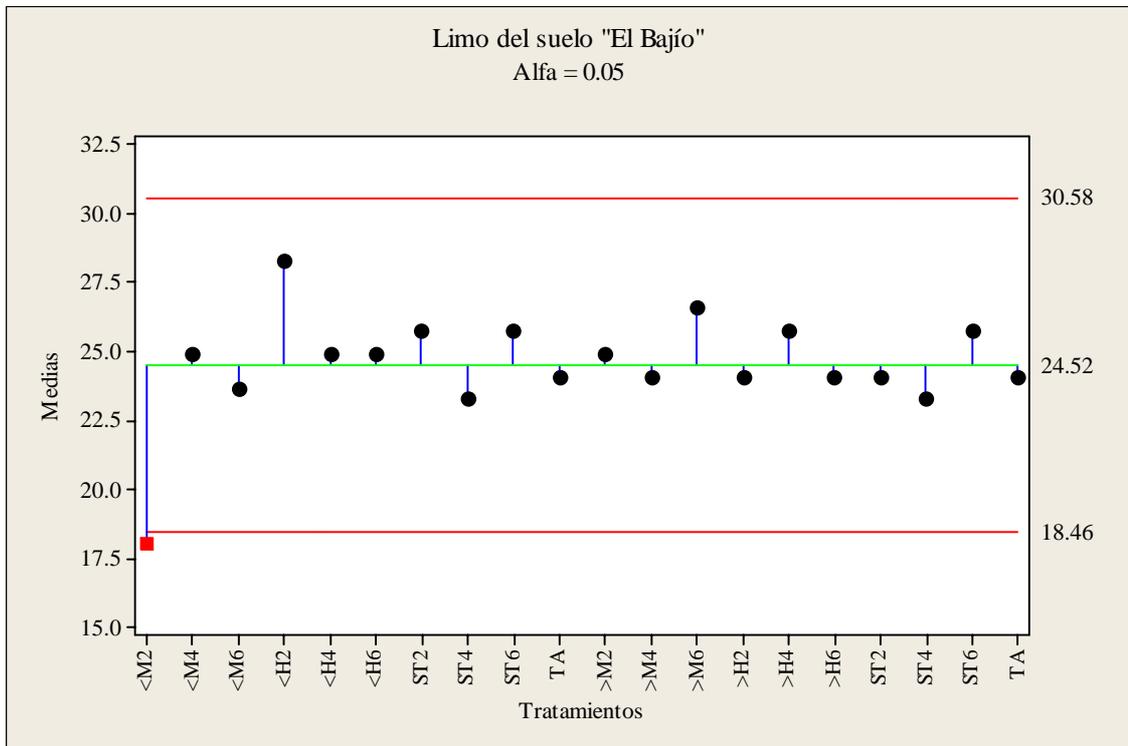


Figura 4. Comparación de medias del limo de los agregados del suelo "El Bajío".

La cantidad menor de materia orgánica (MO) de los agregados con diámetro $< 280 \mu\text{m}$, fue de 1.82 por ciento en el testigo absoluto (solo agua) (TA) y el mayor fue de 2.71 por ciento en el suelo donde se agregaron los ácidos fúlvicos de leonardita a razón de 4 ml.litro^{-1} de agua (AH4), lo cual representa 48 por ciento más. En los agregados $> 280 \mu\text{m}$, el menor valor de MO fue de 1.93 por ciento en el suelo con el TA y el mayor fue de 2.75 por ciento donde se agregaron 6 ml.litro^{-1} de agua del suelo sin tamizar, lo cual representa el 42 por ciento superior. Aquí el efecto es altamente significativo (Cuadro 6 y Figura 5).

Cuadro 6. Análisis de varianza de la materia orgánica de los agregados del suelo "El Bajío".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	6.43726	0.33880	4.40	0.000**
Error	40	3.08120	0.07703		
Total	59	9.51846			

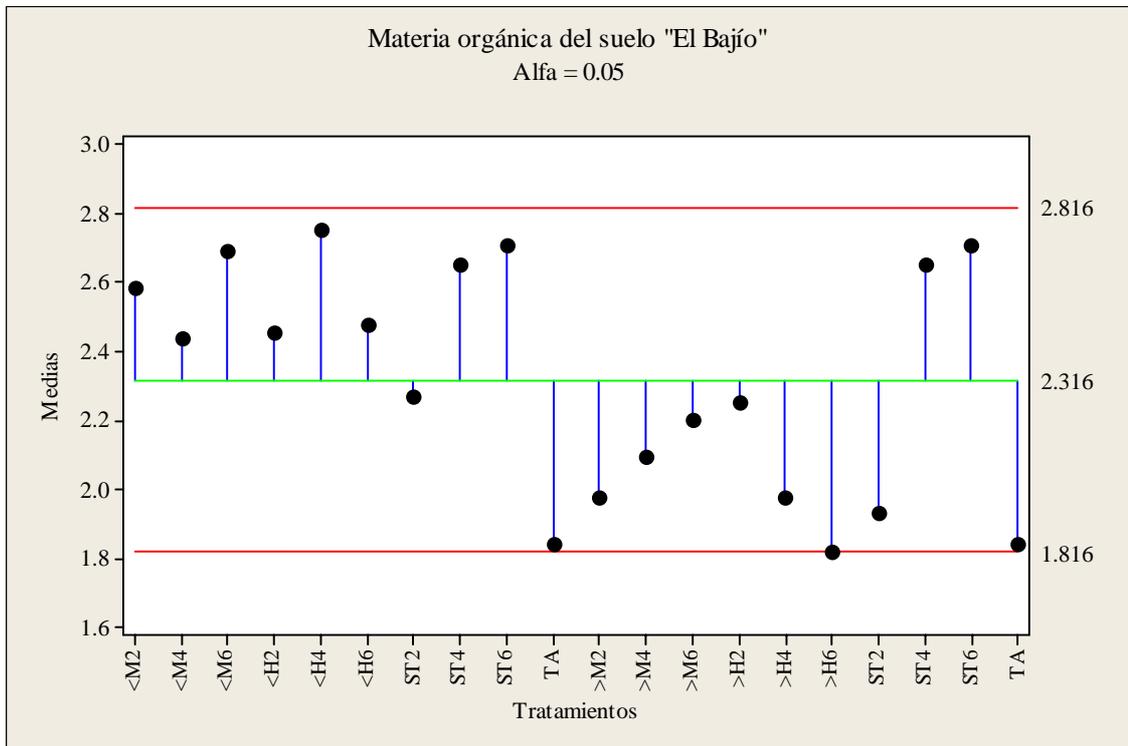


Figura 5. Comparación de medias de la materia orgánica de los agregados del suelo "El Bajío".

El efecto de los tratamientos fue significativo en la porosidad (E). La mayor E se presentó al adicionar 6 ml . litro⁻¹ de agua de los AFM en los agregados <280 µm de diámetro (57.73 %), porque adelantó al suelo sin tamizar (55.22 %) en 4.5 por ciento y con 4.3 por ciento a los agregados donde se aplicaron solo agua (55.34 %); mientras que en los agregados >280 µm de diámetro, del suelo sin tamizar (ST4) fueron de 57.5 por ciento, es decir, superó en 55.4 por ciento al TA y hay efecto significativo de los tratamientos(Cuadro 7 y Figura 6).

Cuadro 7. Análisis de varianza de la porosidad de los agregados del suelo "El Bajío".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	95.820	5.043	1.93	0.040*
Error	40	104.789	2.620		
Total	59	200.609			

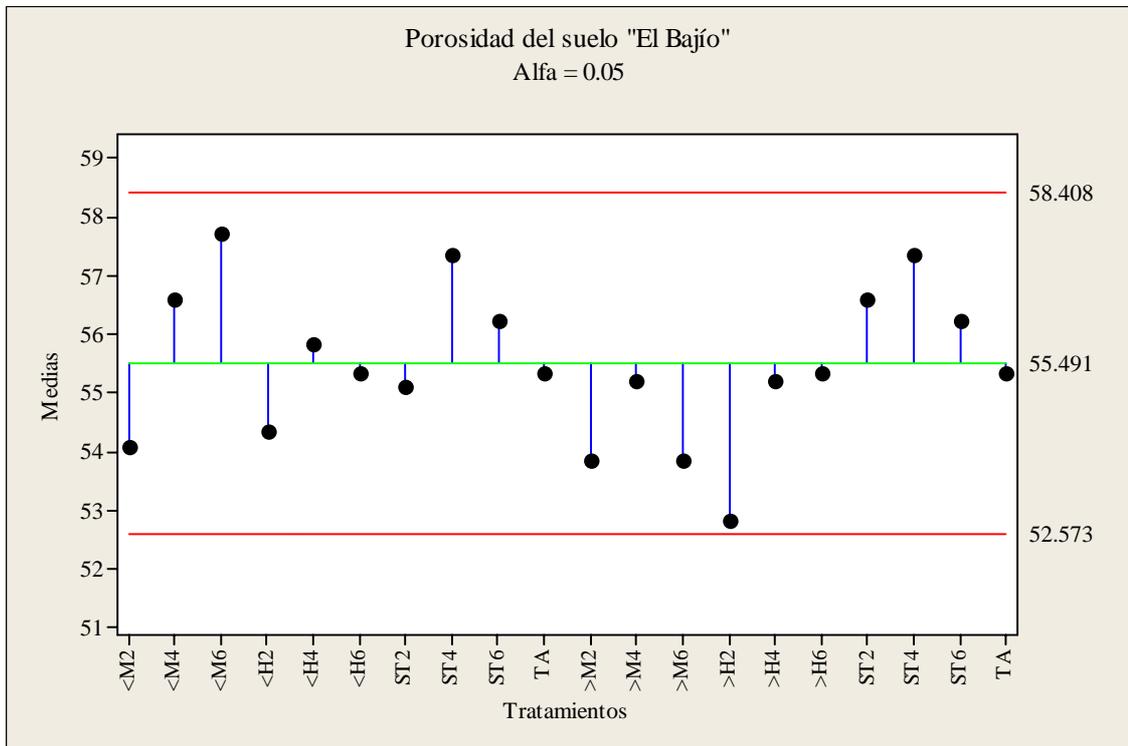


Figura 6. Comparación de medias de la porosidad de los agregados del suelo "El Bajío".

El valor mayor de la estabilidad de agregados (Ag), en los de diámetro < 280 μm fue de 87.55, donde se agregaron los ácidos fúlvicos de leonardita a la cantidad de 4 ml.litro^{-1} de agua (AFH4) y el menor 82.0 en el TA; mientras que en el suelo sin tamizar con 6 ml.litro^{-1} (ST6), fue la mayor estabilidad (86.0) en los agregados con diámetro > 280 μm y la menor Ag fue de 81.7 en los agregados donde se adicionaron los ácidos fúlvicos de leonardita (AFH4), además, hay efecto altamente significativo (Cuadro 8 y Figura 7).

Cuadro 8. Análisis de varianza de la estabilidad de los agregados del suelo "El Bajío".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	202.962	10.682	4.83	0.000**
Error	40	88.391	2.210		
Total	59	291.352			

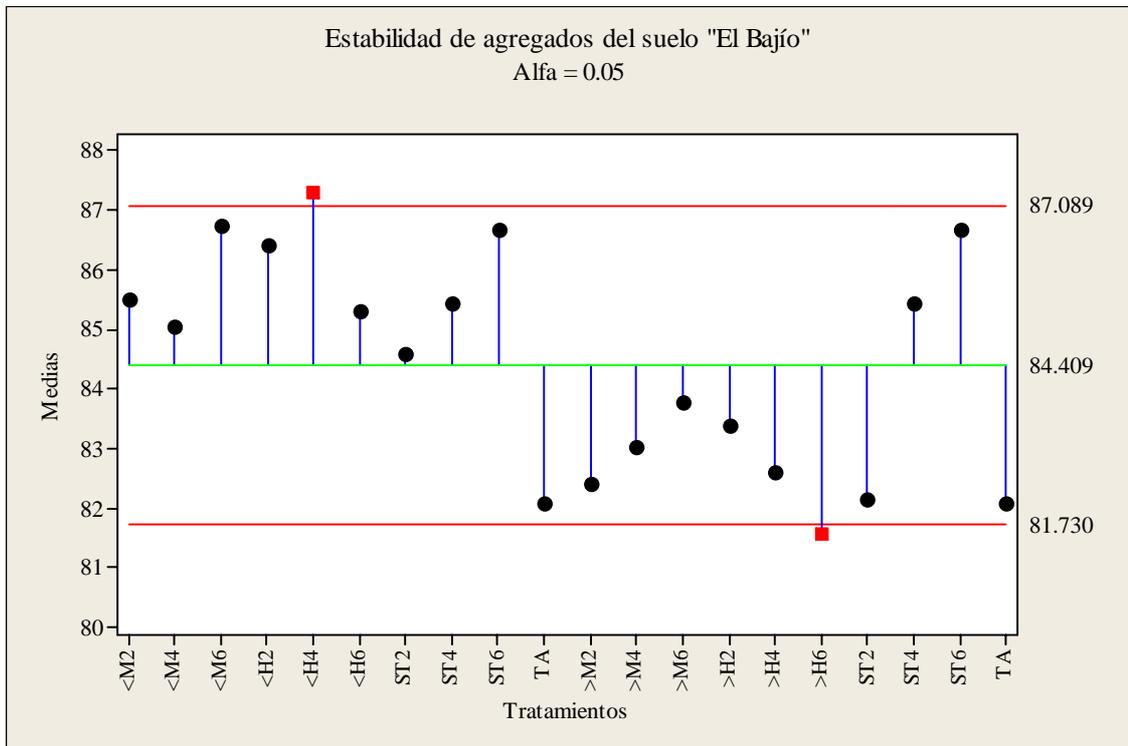


Figura 7. Comparación de medias de la estabilidad de los agregados del suelo "El Bajío".

De acuerdo con el análisis de regresión lineal simple, la Ag solo depende del contenido de materia orgánica; mientras que con la regresión lineal múltiple, está en función de la arcilla, la materia orgánica y la porosidad (Cuadro 9).

Cuadro 9.- Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple de las variables medidas a los agregados del suelo de "El Bajío"

Ecuación de Regresión	R ²
Ag = 97.7 – 0.281Ar	0.580
Ag = 80.0 + 0.156A	0.520
Ag = 82.6 + 0.0708L	0.013
Ag = 93.8 – 8.14Da	0.250
Ag = 72.2 + 5.28MO	0.851
Ag = 73.8 + 0.190E	0.027
Ag = 85.4 – 0.281Ar + 5.28MO + 0.00363E	0.997

Suelo de " La Nogalera"

El valor menor de la densidad aparente (Da) en los agregados con diámetro < a 280 µm, fue de 0.87 g cm⁻³ en donde se agregaron los AFH a razón de 4 ml.litro⁻¹ de agua y el mayor fue de 1.07 g cm⁻³ con la misma cantidad solo que con los AFM; mientras que en los agregados con diámetro > 280 µm, el valor mínimo fue de 0.88 g cm⁻³, en los agregados donde se agregaron los AFM a la cantidad de 4 ml.litro⁻¹ de agua y el valor más alto fue de 1.00 g cm⁻³

con la aplicación de los AFM a la cantidad de 6 ml.litro⁻¹ de agua. También, hay efecto altamente significativo de los tratamientos (Cuadro 10 y Figura 8).

Cuadro 10. Análisis de varianza de la densidad aparente de los agregados del suelo “La Nogalera”.

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	0.165327	0.008701	6.25	0.000**
Error	40	0.055733	0.001393		
Total	59	0.221060			

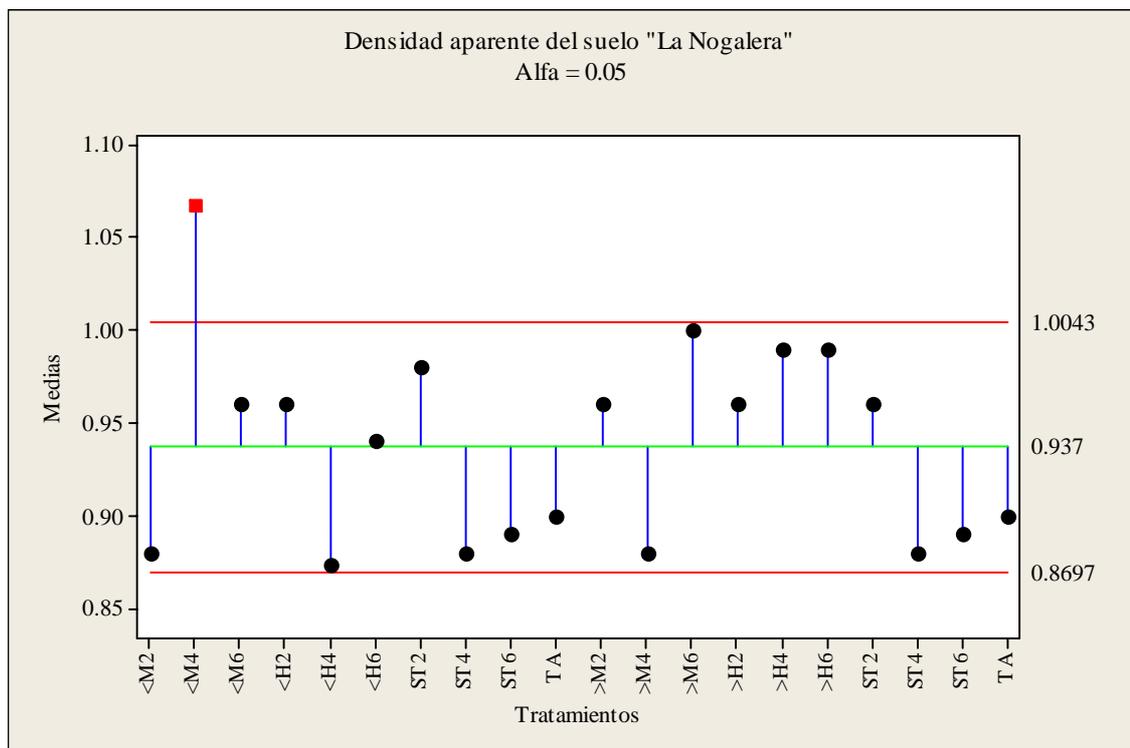


Figura 8. Comparación de medias de la densidad aparente de los agregados del suelo “La Nogalera”.

De forma general, de forma similar al suelo de “El Bajío”, se puede establecer que en los dos tipos de agregados la cantidad de arcilla (Ar) fue la mayor, seguido por la de arena (A) y por último del limo (L) y no se presentó efecto significativo de los tratamientos (Cuadros 11, 12 y 13 y Figuras 9, 10 y 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza de la arcilla de los agregados del suelo “La Nogalera”.

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	143.65	7.56	0.33	0.994NS

Error	40	912.50	22.81
Total	59	1056.15	

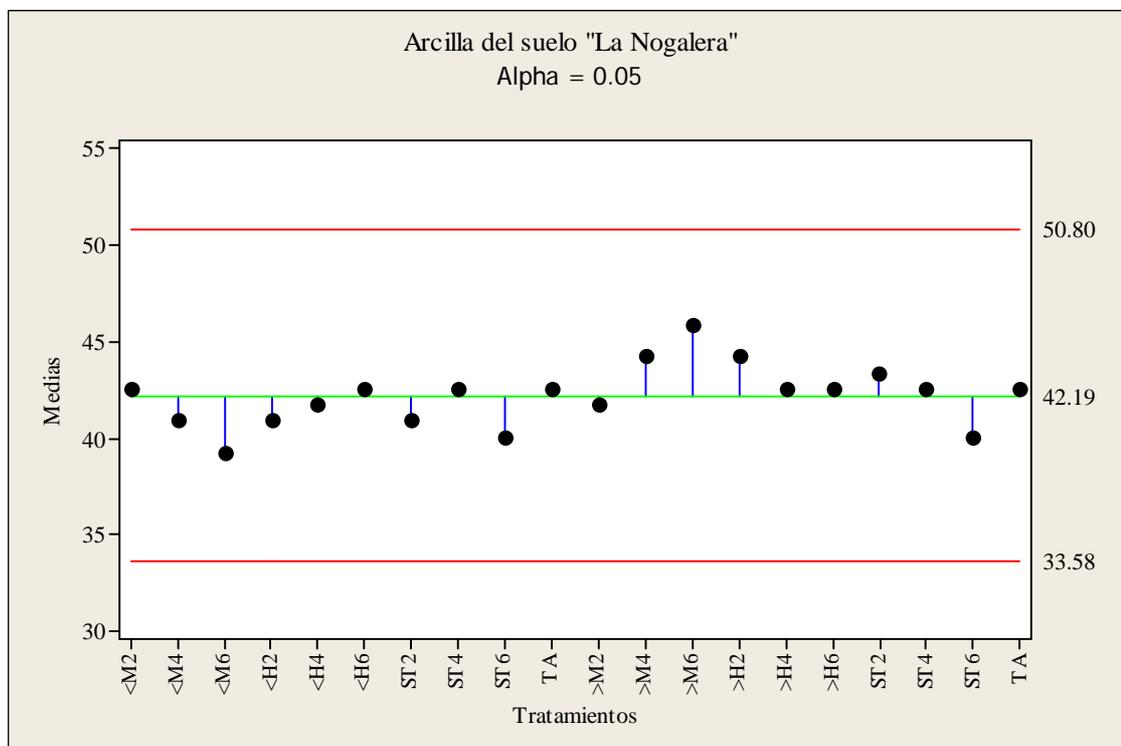


Figura 9. Comparación de medias de la arcilla de los agregados del suelo "La Nogalera".

Cuadro 12. Análisis de varianza de la arena de los agregados del suelo "La Nogalera".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	128.913	6.785	0.76	0.736NS
Error	40	356.833	8.921		
Total	59	485.746			

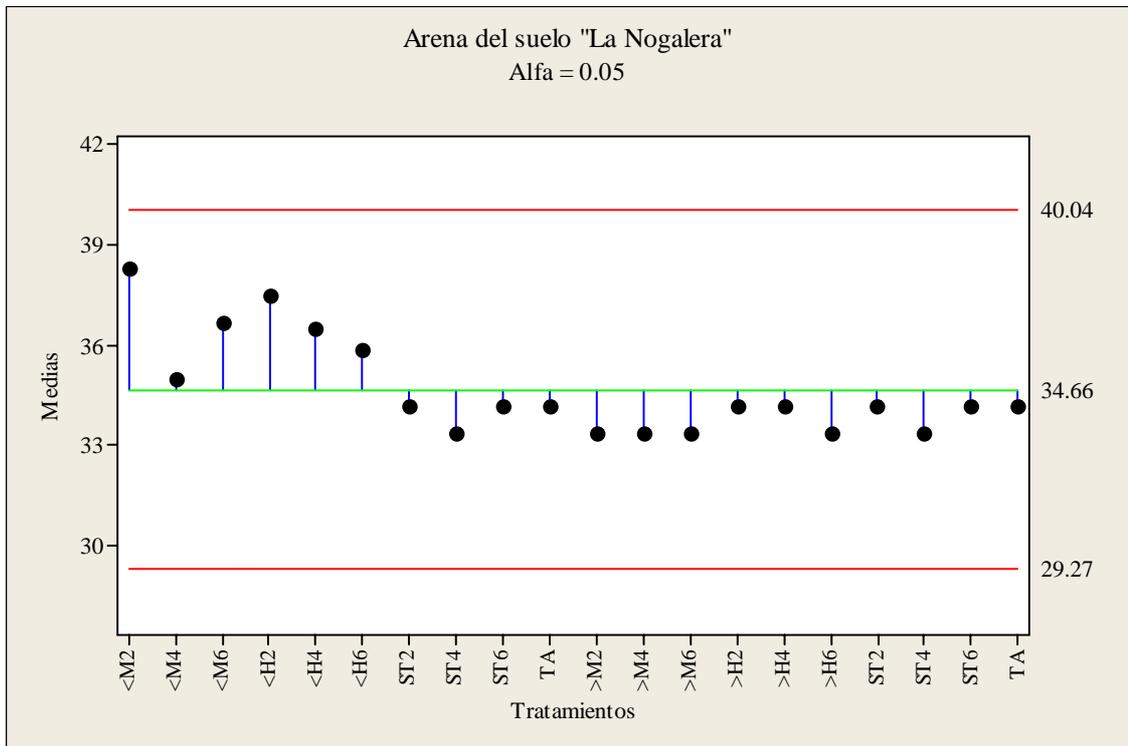


Figura 10. Comparación de medias de la arena de los agregados del suelo "La Nogalera".

Cuadro 13. Análisis de varianza del limo de los agregados del suelo "La Nogalera".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	170.52	8.97	0.85	0.644NS
Error	40	424.33	10.61		
Total	59	594.85			

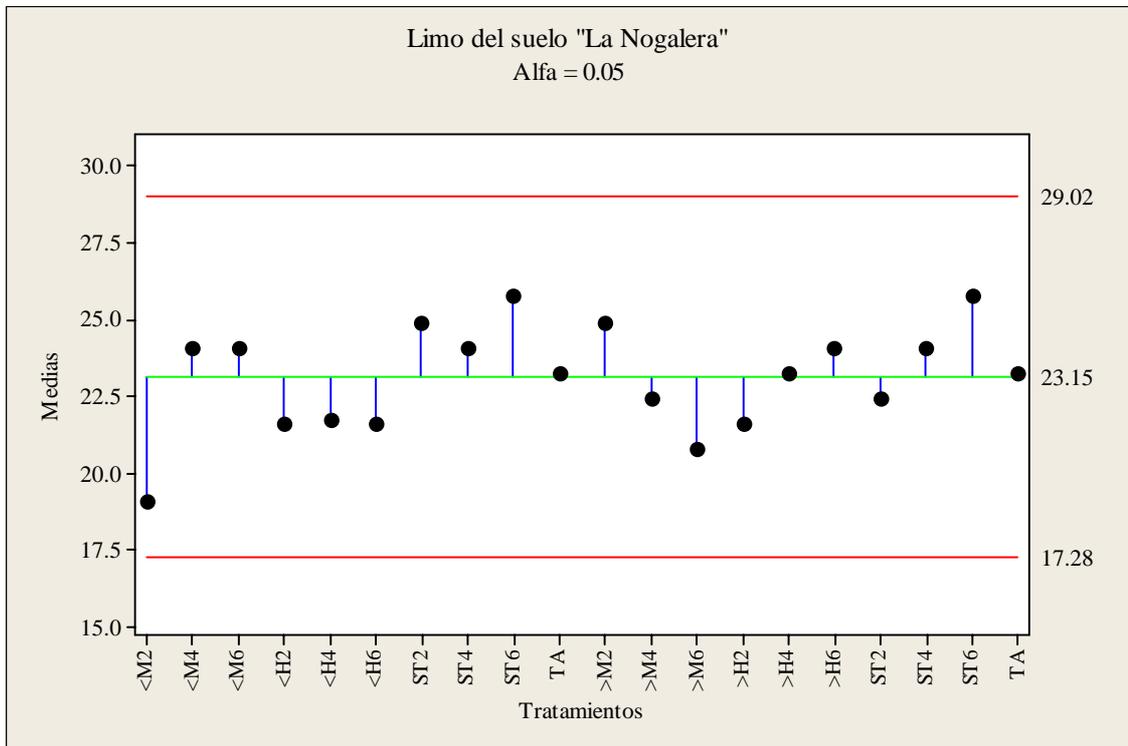


Figura 11. Comparación de medias del limo de los agregados del suelo "La Nogalera".

La cantidad menor de materia orgánica (MO) de los agregados con diámetro $< 280 \mu\text{m}$, fue de 5.89 por ciento cuando se adicionaron 2 ml.litro^{-1} de agua de los AFH y la mayor fue de 10.01 por ciento en el suelo sin tamizar (ST6), lo cual representa 60 por ciento más en éste. En los agregados $> 280 \mu\text{m}$, el menor valor de MO fue de 5.68 por ciento en donde se agregaron los AFM a la dosis de 2 ml.litro^{-1} de agua y el mayor fue de 10.01 por ciento en el suelo donde se agregaron los ácidos fúlvicos extraídos de la composta, a la cantidad de 4 ml.litro^{-1} de agua. El efecto es altamente significativo (Cuadro 14 y Figura 12).

Cuadro 14. Análisis de varianza de la materia orgánica de los agregados del suelo "La Nogalera".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	115.4904	6.0784	12.65	0.000**
Error	40	19.2204	0.4805		
Total	59	134.7108			

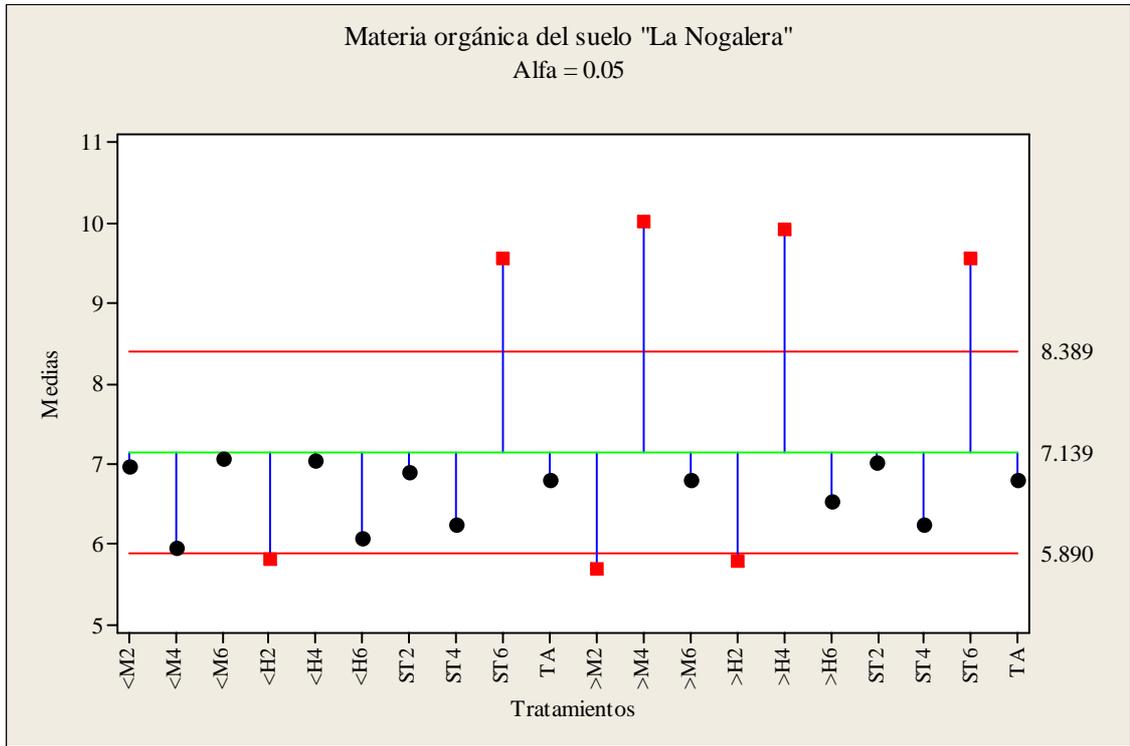


Figura 12. Comparación de medias de la materia orgánica de los agregados del suelo "La Nogalera".

En la porosidad (E) cuando se adicionaron los tratamientos de 4 y 6 ml.litro⁻¹ de agua de los AFM, a los agregados con diámetro <280 µm (65.91 y 66.04 %), fueron los valores superiores y en los agregados sin tamizar (ST2) (61.3 %) el menor; mientras que en los agregados con diámetro >280 µm, al adicionar los AFH a la cantidad de 6 ml.litro⁻¹ de agua (66.5 %) fue el valor superior y el menor (61.0%) al adicionar los AFM a la cantidad de 4 ml.litro⁻¹ (Cuadro 15 y Figura 13).

Cuadro 15. Análisis de varianza de la porosidad de los agregados del suelo "La Nogalera".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	141.616	7.453	5.11	0.000**
Error	40	58.290	1.457		
Total	59	199.906			

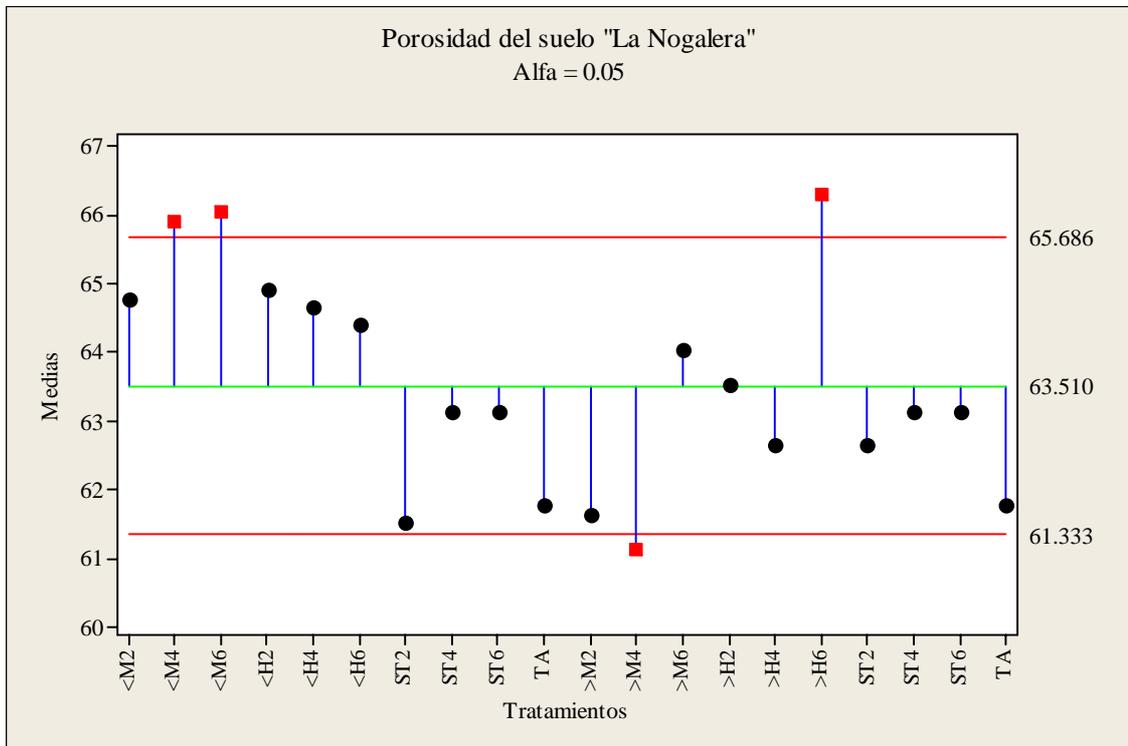


Figura 13. Comparación de medias de la porosidad de los agregados del suelo "La Nogalera".

La estabilidad de agregados (Ag) inferior, en los de diámetro < 280 μm , fue de 109 por ciento donde se aplicaron los AFH a razón de 2 ml.litro^{-1} y el mayor de 136 por ciento, en los agregados sin tamizar (ST6); mientras que a la adición de 6 ml.litro^{-1} de agua de los AFM fue un porcentaje de 133 en los agregados > 280 μm y la menor Ag fue de 105 por ciento cuando se adicionaron 2 ml.litro^{-1} de los AFH y el efecto fue altamente significativo (Cuadro 16 y Figura 14).

Cuadro 16. Análisis de varianza de la estabilidad de los agregados del suelo "La Nogalera".

Fuente	gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	19	4677.29	246.17	5.39	0.000**
Error	40	1826.47	45.66		
Total	59	6503.76			

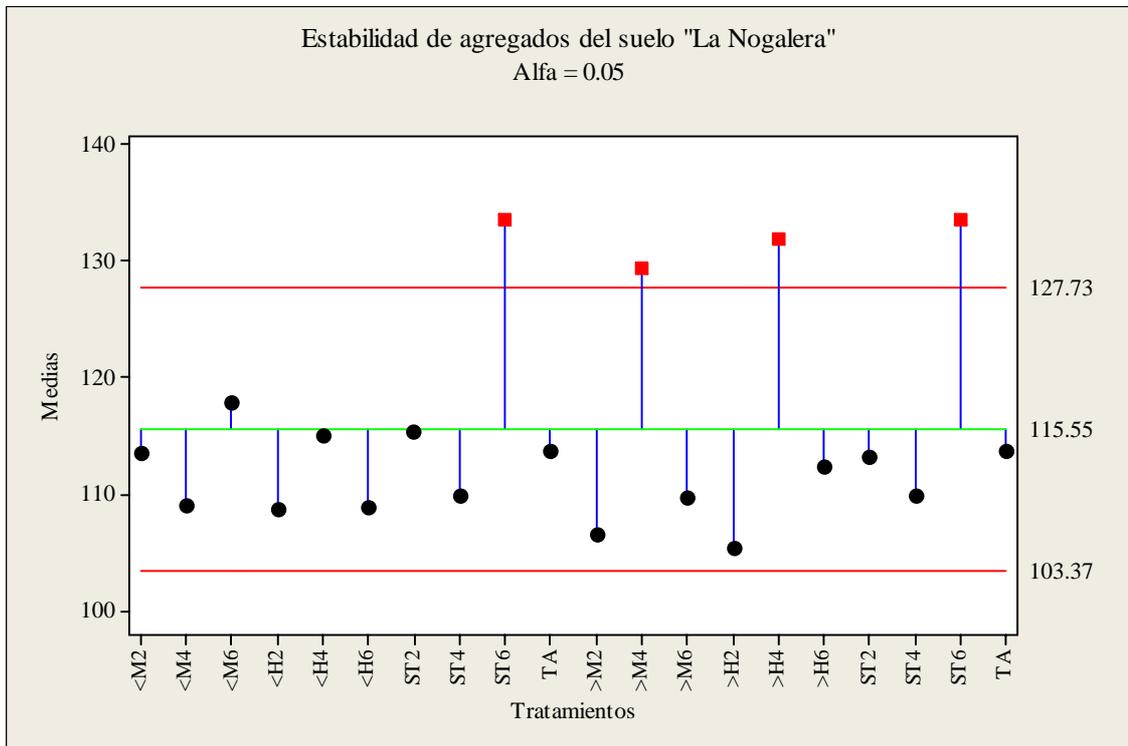


Figura 14. Comparación de medias de la estabilidad de los agregados del suelo “La Nogalera”.

En el suelo “La Nogalera”, el efecto de la materia orgánica en la Ag, es significativo con la regresión lineal simple; mientras que en la regresión lineal múltiple, la Ag se debe a la arcilla, la materia orgánica y la porosidad (Cuadro 17).

Cuadro 17.- Ecuaciones de regresión simple y múltiple de las variables medidas de los suelos de “La Nogalera”

Ecuación de Regresión	R ²
Ag = 159 – 1.03Ar	0.167
Ag = 92.1 + 0.656A	0.038
Ag = 88.7 +1.15L	0.111
Ag = 138 – 24.7Da	0.240
Ag = 72.8 + 5.96MO	0.807
Ag = 191 – 1.19E	0.048
Ag = 109 – 1.06Ar + 6.05MO + 0.126E	0.986

A forma de discusión, se tiene que en los agregados de “La Nogalera”, el contenido de MO fue superior al de los de “El Bajío”, porque el uso del suelo fue con el cultivo del nogal pecanero (nombre técnico) durante 50 años y los

aportes de MO por la hojarasca fue alto; mientras que los suelos de “El Bajío” han sido de uso agrícola, principalmente sembrados con cereales, por lo cual los aportes de MO son mínimos y los residuos orgánicos son de alta relación C/N y por consiguiente de lenta descomposición, por lo cual los aportes de MO son bajos. En las dos áreas domina la arcilla (Ar) sobre los otros dos tipos de partículas.

Gracias a los altos contenidos de MO de los agregados de “La Nogalera” y los aportes de AF, la Da de los agregados fue inferior a la de los de “El Bajío”, es decir, éstos son más densos. Aquí, las SH realizaron efecto positivo en los agregados < 280 µm de diámetro del suelo de “El Bajío”. Lo anterior difiere 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 (–COOH) (cargas eléctricas negativas) de los AFM actuaron como ligantes naturales de cationes como el calcio, lo cual quiere decir que las 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, aunque los AF siempre estarán más oxidados que los AH, independientemente de la fuente de origen (Pettit, 2004).

En el suelo de “El Bajío”, la falta de un pronunciado incremento en el contenido de MO, produjo baja Ag en los agregados con diámetro > 280 µm y <2mm, pero alta Ag en los agregados con diámetro < 280 µm. Lo anterior se puede explicar por el efecto de la mineralogía, por ejemplo, en estos suelos dominan las arcillas illitas (2:1) y los carbonatos de calcio (CaCO₃), los cuales son los agentes dominantes en la estabilización y como se puede notar, estos agregados no contienen cantidades suficientes de MO para que ésta pueda ejercer efecto en la estabilización (Six *et al.* 2000).

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 “La Nogalera”, los AFM junto con la arcilla y la MO, formaron complejos órgano-minerales, lo cual produce la buena estabilidad de agregados con diámetro entre >280 µm y <2mm, lo que muestra que las SH son agentes persistentes de la estabilidad de agregados. Esto sucedió de igual forma en el sitio “El Bajío”, solo que en los agregados de diámetro <280 µm.

CONCLUSIÓN

Los ácidos fúlvicos obtenidos de la composta, junto con la arcilla y la materia orgánica, estabilizaron los microagregados del suelo de “El Bajío”, mientras que en el suelo de “La Nogalera” lo realizaron en los agregados de diámetro $>280\ \mu\text{m}$ y $<2\text{mm}$, aunque éstos son más estables que los anteriores.

LITERATURA CITADA

Evangelou, M. W. H. Hactice, D. Andreas, S. 2004. The Influence of Humic Acids on the Phytoextraction of Cadmium from Soil. *Chemosphere*. 57 207—213.

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

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

Kononova, M. M. 1982. *Materia Orgánica del Suelo. Su naturaleza, Propiedades y Métodos de Investigación*. 1ª Edición, Ed.Oikos-Tau, S. A., Barcelona, España. P. 365.

Loison y Nogret, 1990. The Evolución the of materie organique dans le sol.

López, C. R. 2002. Comportamiento de Substancias 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. Substancias 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.

Minitab. 2004. Estadística Práctica. Pearson Educación, S. A. Ribera del Loira, 28, 28042, Madrid, España.

Monnier, G. 1984. Recherches Sur la Stabilité Structurale. Exemples d'applications. En. Livre Jubilaire du Cinquantenaire. Association Française pour l'Etude du Sol. Paris, France.

Narro, F. E. A., 1997, Nutrición y Sustancias Húmicas en el cultivo de la papa. In. Foro de Investigación. Investigaciones en el cultivo de la papa. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Oades, J. M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanism and implications for management. Plant Soil 76: 319-337.

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/>

Piccolo, A. and J. S. C. Mbagwu. 1999. Role of Hydrophobic Components of Soil Organic Matter in Soil Aggregate Stability. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1810-1810.

Schnitzer, M. 2000. Life Time Perspective on the Chemistry of Soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.). Advances in Agronomy, Academic Press. 98: 3-58.

Schnitzer, M. and U. C. Gupta. 1965. Determination of acidity in soil organic matter. Soil Science Society American Proceeding. 29: 274-277.

Stevenson, I. L., and Schnitzer, M. 1982. Transmission electron microscopy of extracted fulvic and humic acids Soil Sci. 133:179-185.

Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33: 141-163.

Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-38.