



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
EDAFOLOGÍA

REDISTRIBUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN DIFERENTES MANEJOS AGRÍCOLAS Y SU EFECTO EN LA ESTRUCTURACIÓN DEL SUELO

BRAULIO GARCÍA FAVELA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: “**Redistribución del carbono orgánico en diferentes manejos agrícolas y su efecto en la estructuración del suelo**”, realizada por el alumno: **Braulio García Favela**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

Consejero

Dr. Gerardo Sergio Benedicto Valdés

Asesor

Dr. Jorge Dionisio Etchevers Barra

Asesor

Dra. Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología, por su apoyo económico otorgado para llevar acabo mis estudios de maestría.

A la Universidad autónoma Chapingo, al Departamento de Preparatoria Agrícola por la oportunidad de superación académica proporcionada.

Al Colegio de Postgraduados, al Programa de Edafología por mis estudios de maestría.

A todo el personal de la sección de Física de Suelo del Colegio de Postgraduados por el gran apoyo otorgado para el buen desarrollo del trabajo.

Al Dr. Gerardo Sergio Benedicto Valdés, por su valiosa colaboración en el presente trabajo.

Al Dr. Jorge Dionisio Etchevers Barra, por las valiosas sugerencias en la mejora de la calidad del presente trabajo.

A la Dra. Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena por sus consejos y tiempo dedicado al presente trabajo.

A Pedro Carrillo Eligio, Mardonio García Pineda, José Manuel Arceo Arceo, Domingo Olivera, todos del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo por su apoyo desinteresado para la realización esta tesis.

DEDICATORIA

A las memorias de mi madre María Favela García y de mi suegra Hilaria Flores Zavala (†) que no les fue posible ver realizada mi meta; a mi padre Carlos García Calzada y a mi suegro Tomás Muños Flores.

Con gran cariño y amor para mi esposa Dolores Muñoz Flores por su gran apoyo moral y espiritual en los momentos más difíciles.

A mis hijos: Nancy y Braulio que saben el gran amor que les tengo.

A mis hermanos: Faustino, Silverio, Nicolás, Petra, Octaviano, Benito, Carlos y Esther.

A mis cuñadas (os): María Luisa, Margarita, Cristina, Josefa, Miguelina, Marcela, Salvador.

A mi primer nieto: Franco Damián García Santillán, así como a su madre Jazmín Santillán y su padre Ricardo García.

RESUMEN

El uso del suelo y las prácticas de manejo afectan el balance entre la materia orgánica lábil y la estable en la superficie del suelo, el contenido de carbono orgánico total y el carbono dentro de las diferentes fracciones de agregados, provocando variación en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Cuando un suelo es cultivado (arado, barbechado, etc.), la capa superficial es mezclada y en áreas de cultivo intenso es fuertemente homogenizada, esto pueden influir en la distribución del carbono orgánico del suelo (COS) significativamente. El conocimiento del manejo adecuado del suelo y su influencia en la pérdida o acumulación del COS es una herramienta importante que nos permitiría mantener su productividad a largo plazo acompañado de otras prácticas de mejoramiento.

Por lo anterior, se evaluó la variación en las propiedades físicas químicas del suelo con diferentes manejos y laboreos y se Investigó la variación del contenido de carbono orgánico en la fracción mineral 50 y 250 μm de su redistribución ocasionada por el manejo y laboreo, a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm. Además, se evaluó la respuesta de algunas variables del cultivo de maíz en parcelas que tenían diferente historial de manejo y sometidas a laboreo convencional y mínimo. Los sitios experimentales fueron: (A) sitio con manejo orgánico y laboreo convencional y mínimo, con la aplicación de compostas, estiércoles y abonos verdes por un periodo de 10 años, con textura arcillosa; (B) sitio donde se tuvo cultivo de alfalfa por un periodo de 5 años y con una textura va de franco-arcillo-arenoso hasta franco arcilloso; (C) sitio con laboreo convencional, por un tiempo mayor a 30 años y su textura franco-arcillo-arenoso hasta arcilloso. El diseño experimental fue un factorial 3x2.

Las propiedades físicas y químicas contenido de carbono orgánico, densidad aparente, porosidad total, pH, distribución de agregados en seco, diámetro medio ponderado presentaron diferencias estadísticas debido al manejo en la profundidad de 0-15cm. Asimismo, el contenido de carbono orgánico en microagregados de 50 y 250 μm , ácidos húmicos en microagregados de 250 μm , relación AH/AF en microagregados de 250 μm y la relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados de 50 μm . El laboreo no tuvo ningún efecto en las variables estudiadas.

En la profundidad de 15-30 cm, las mayores diferencias estadísticas también se debieron al manejo en las propiedades contenido de carbono orgánico, densidad aparente, pH, distribución de agregados en seco, diámetro medio ponderado. También, en el contenido de carbono orgánico en microagregados de 50 y 200 μm , contenido de ácidos fúlvicos en microagregados de 50 μm y en la relación E_4/E_6 de ácidos fúlvicos en microagregados de 250 μm . El laboreo del suelo influyó estadísticamente en la propiedad del pH y en el contenido de carbono en microagregados de 50 y 250 μm .

En la interacción manejo-profundidad, las propiedades que presentaron diferencias estadísticas fueron: carbono orgánico, densidad aparente, porosidad, pH, distribución de agregados en seco y diámetro medio ponderado y también el contenido de carbono orgánico en microagregados de 50 y 200 μm , contenido de ácidos fúlvicos en microagregados de 50 μm y la relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados de 50 μm .

ABSTRACT

Soil use and management practices affect the balance between the labile and stable organic matter in the soil surface, total organic carbon content and the carbon within the different fractions of aggregates, provoking variation in the physical, chemical and biological properties. When a soil is cultivated (plowing, tilling, etc.), the surface layer is mixed and in areas of intense cultivation is strongly homogenized. This can have a significant influence on the distribution of the organic carbon of the soil (SOC). The knowledge of the adequate management of the soil and its influence on the loss or accumulation of the SOC is an important tool that would make it possible to maintain its long term productivity, accompanied by other improvement practices.

Therefore, an evaluation was made of the variation in the physical-chemical properties of the soil under different management and cultivation, and the variation of the organic carbon content was investigated in the mineral fraction 50 and 250 μm of its redistribution caused by the management and cultivation, at depths of 0-15 and 15-30 cm. In addition, an evaluation was made of the response of some variables of the maize crop in plots that had a different history of management and that were subjected to conventional and minimal cultivation. The experimental sites were: A) site with organic management and conventional and minimal cultivation, with the application of composts, green manures and organic fertilizers for a period of 10 years, with clay texture; B) site where alfalfa had been grown for a period of 5 years and with a texture ranging from sandy-clay-loam to clay-loam; C) site with conventional cultivation, for a period of over 30 years and with a sandy-clay-loam to clay soil texture. The experimental design was a 3x2 factorial arrangement.

The physical and chemical properties, organic carbon content, apparent density, total porosity, pH, distribution of dry aggregates, and mean weight diameter presented statistical differences due to management at the depth of 0-15 cm, as well as the organic carbon content in microaggregates of 50 and 250 μm , humic acids in microaggregates of 250 μm , ratio AH/AF in microaggregates of 250 μm and the ratio E_4E_6 for humic acids in microaggregates of 50 μm . The cultivation had no effect on the variables studied.

At the depth of 15-30 cm, the greatest statistical differences were also due to the management in the properties organic carbon content, apparent density, pH, dry aggregate distribution, and mean weight diameter; and also in the organic carbon content in microaggregates of 50 and 200 μm , content of fulvic acids in microaggregates of 50 μm and in the ratio E_4E_6 of fulvic acids in microaggregates of 250 μm . The cultivation of the soil statistically influenced the property of the pH and the carbon content in microaggregates of 50 and 250 μm .

In the interaction management-depth, the properties that presented statistical differences were: organic carbon, apparent density, porosity, pH, dry aggregate distribution and mean weight diameter, and also the organic carbon content in microaggregates of 50 and 200 μm , content of fulvic acids in microaggregates of 50 μm and the ratio E_4E_6 for humic acids in microaggregates of 50 μm .

CONTENIDO

	Pag.
INDICE GENERAL	I
INDICE DE CUADROS	Vii
INDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	Xiv
ABSTRACT	Xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Ciclo global del carbono	5
2.2. El carbono orgánico del suelo	5
2.3. Funciones de la materia orgánica	6
2.3.1. Color del suelo	6
2.3.2. Estructuración y estabilidad del suelo	6
2.3.3. Reservorio de nutrientes	7
2.3.4. Amortiguador del pH del suelo	8
2.3.5. Formación de complejos órgano-minerales	9
2.3.6. Fuente de nutrientes	9
2.4. Clasificación de la materia orgánica	11
2.4.1. Reservas orgánicas edáficas	11
2.4.1.1. Variación de las reservas orgánicas edáficas	13
2.5. La materia orgánica y su caracterización	15
2.6. Protección de la materia orgánica del suelo y sus mecanismos de estabilización	16
2.7. Dinámica del carbono orgánico del suelo	17

2.8. Cuantificación del contenido de carbono orgánico del suelo	19
2.9. Estructuración del suelo	20
2.9.1. Forma estructural del suelo	21
2.9.2. La materia orgánica y su influencia en la estructuración del suelo	22
2.9.2.1. La materia orgánica como agente de unión temporal	22
2.9.2.2. La materia orgánica como agente de unión transitoria	23
2.9.2.3. La materia orgánica como agente de unión persistente	24
2.9.3. La materia orgánica y la estabilidad estructural del suelo	25
2.10. Influencia del manejo y labranza en la materia orgánica	26
2.11. La agregación del suelo	29
2.11.1. Jerarquía de los agregados del suelo	32
2.11.2. La materia orgánica y sus efectos en los agregados del suelo y su estabilidad	32
2.12. Porosidad total del suelo	34
2.12.1. Los poros su tamaño y distribución en el suelo	34
2.12.2. La materia orgánica y su efecto en la porosidad del suelo	36
2.13. El humus del suelo	37
2.14. Extracción de las sustancias húmicas (SH)	40
2.14.1. Fraccionamiento basado en su solubilidad	40
2.15. Relación E_4/E_6	41
III. OBJETIVOS	42
IV. HIPOTESIS	43
V. MATERIALES Y MÉTODOS	44
5.1. Ubicación y características del sitio experimental	44

5.2. Tamaño de las unidades experimentales	45
5.3. Diseño experimental	46
5.4. Muestreo	47
5.5. Evaluación de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm	47
5.5.1. Densidad aparente	47
5.5.2. Densidad real	48
5.5.3. Determinación del carbono orgánico del suelo a partir del contenido de la materia orgánica	48
5.5.4. Textura	49
5.5.5. pH del suelo	49
5.5.6. Distribución de agregados en seco	49
5.5.7. Diámetro medio ponderado	50
5.6. Evaluación del contenido y distribución de carbono por efectos del manejo y laboreo en microagregados del suelo de las fracciones 50 y 250 μm por el método de combustión	51
5.7. Evaluación del contenido y distribución de compuestos orgánicos por efectos del manejo y laboreo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en base a su solubilidad	52
5.8. Determinación de la relación E_4/E_6 de ácidos húmicos y fúlvicos en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm	54
5.9. Evaluación de la respuesta de las variables agronómicas del cultivo de maíz al manejo y laboreo	54
5.9.1. Altura de planta	54
5.9.2. Diámetro de tallo	55
5.9.3. Área foliar	55

5.9.4. Producción de materia verde	55
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
6.1. Resultados de la evaluación de la variación de las propiedades físicas y químicas por efectos del manejo y laboreo del suelo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	56
6.1.1. Análisis estadístico de la variación de las propiedades físicas y químicas por efectos del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 0-15 cm	59
6.1.2. Análisis estadístico de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 15-30 cm	60
6.1.3. Análisis estadístico de la variación de las propiedades físicas y químicas del suelo en la interacción manejo x profundidad	62
6.1.4. La textura del suelo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm	64
6.1.5. Contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	68
6.1.6. Densidad aparente en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	73
6.1.7. Porosidad total en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	77
6.1.8. pH del suelo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	81
6.1.9. Distribución de agregados en seco en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	84
6.1.10. Diámetro medio ponderado (DMP) en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción	92

	manejo x profundidad	
6.2.	Resultados del contenido y distribución de carbono en diversos manejos y laboreos del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	96
6.2.1.	Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de carbono debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm	96
6.2.2.	Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de carbono debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados del suelo de la fracción 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm	97
6.2.3.	Resultados del análisis estadístico de la interacción manejo x profundidad del contenido y distribución de carbono en microagregados del suelo de las fracciones 50 y 250 μm	98
6.2.4.	Contenido y distribución de carbono en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad	99
6.2.5.	Contenido y distribución de carbono en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad	103
6.3.	Resultados del contenido y distribución de compuestos orgánicos en diversos manejos y laboreos del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad	107
6.3.1.	Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de compuestos orgánicos debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados de	107

las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm	
6.3.2. Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de compuestos orgánicos debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm	108
6.3.3. Resultados del análisis estadístico de la interacción manejo x profundidad del contenido y distribución de compuestos orgánicos en microagregados del suelo de las fracciones 50 y 250 μm	110
6.3.4. Contenido y distribución de ácidos húmicos (AH) en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad	113
6.3.5. Contenido y distribución de ácidos húmicos (AH) en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad	117
6.3.6. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos (AF) en microagregados del suelo de 50 μm a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad	120
6.3.7. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos (AF) en microagregados del suelo de 250 a.m. a las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad	124
6.3.8. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	128
6.3.9. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	131
6.3.10. Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la Interacción	133

	manejo x profundidad	
6.3.11.	Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	138
6.3.12.	Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	142
6.3.13.	Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad	145
6.4.	Variables vegetales del desarrollo del cultivo	147
6.4.1.	Resultados del análisis estadístico	147
6.4.2.	Altura de planta	148
6.4.3.	Diámetro de tallo	149
6.4.4.	Área foliar	150
6.4.5.	Materia verde (kg ha^{-1})	151
VII.	CONCLUSIONES	157
VIII.	BIBLIOGRAFIA	160

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Clasificación del tamaño de poro	35
Cuadro 2. Clasificación de los suelos por su pH	49
Cuadro 3. Rango para interpretar la estabilidad estructural con relación al diámetro medio ponderado (DMP)	50
Cuadro 4. Clave de diagnóstico de la composición húmica de los suelos	53
Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del suelo en estudio a la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003)	57
Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas del suelo en estudio a la profundidad de 15-30cm. Chapingo, México (2002-2003)	58
Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003)	59
Cuadro 8. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003)	60
Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003)	61
Cuadro 10. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y variación del suelo en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003)	62
Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza de la variación de las	63

	propiedades físicas y químicas del suelo en la interacción manejo x profundidad. Chapingo, México (2002-2003)	
Cuadro 12.	Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos de la variación de las propiedades físicas y químicas del suelo en la interacción manejo x profundidad. Chapingo, México (2002-2003)	64
Cuadro 13.	Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de carbono en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003)	96
Cuadro 14.	Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de carbono en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003)	96
Cuadro 15.	Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de carbono en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003)	97
Cuadro 16.	Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de carbono en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003)	97
Cuadro 17.	Análisis de varianza del contenido y distribución de carbono en la interacción manejo x profundidad en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm . Chapingo, México (2002-2003)	98
Cuadro 18.	Comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de carbono en la interacción manejo x profundidad en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm . Chapingo, México (2002-2003)	98
Cuadro 19.	Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de los compuestos orgánicos en microagregados	107

	de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003)	
Cuadro 20.	Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de los compuestos orgánicos en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003)	108
Cuadro 21.	Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de los compuestos orgánicos en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003)	109
Cuadro 22.	Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de los compuestos orgánicos en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003)	110
Cuadro 23.	Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de los compuestos orgánicos en la interacción manejo x profundidad en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm . Chapingo, México (2002-2003)	111
Cuadro 24.	Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de los compuestos orgánicos en la interacción manejo x profundidad en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm . Chapingo, México (2002-2003)	112
Cuadro 25.	Resultados del análisis de varianza del efecto del manejo y laboreo del suelo en las variables de estudio del cultivo de maíz. Chapingo, México (2002-2003)	147
Cuadro 26.	Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del efecto del manejo y laboreo en las variables de estudio del cultivo de maíz. Chapingo, México (2002-2003)	148
Cuadro 27.	Materia verde (kg ha^{-1}), para los manejos orgánico, donde hubo alfalfa y convencional y sus laboreos convencional y mínimo para cada manejo, respectivamente. Chapingo, México (2002-2003)	152

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. La capacidad de protección del suelo y rango de protección del carbono orgánico.	17
Figura 2. Dinámica del carbono orgánico en el suelo	18
Figura 3. La materia orgánica, sus agentes de unión: temporales, transitorios, persistentes y su efecto en la agregación del suelo.	19
Figura 4. (a) Microagregados de 200 μm, unidos por exudados de	23

raíces e hifas de hongos y (b) macroagregados de 2000 μm .

Figura 5. Paquetes de arcillas de 20 μm, unidas por hifas y exudados bacteriales.	24
Figura 6. (a) Placas de arcilla de 0.2 μm, unidas por cementantes, (b) partículas de arcillas de 2 μm, unidas por desechos microbiales.	25
Figura 7. Protección y desprotección de la materia orgánica del suelo por efecto de la labranza.	27
Figura 8. Fraccionamiento de la materia orgánica en base a sus propiedades físicas y químicas	38
Figura 9. Manejo orgánico del suelo y distribución del tamaño de partícula: (A) laboreo convencional, suelo con textura arcillosa y (B) laboreo mínimo, suelo con textura arcillosa.	67
Figura 10. Manejo del suelo donde hubo alfalfa y distribución de tamaño de partícula: (A) laboreo convencional, suelo con textura migajón-arcillo-arenoso y (B) laboreo mínimo, suelo con textura migajón-arcillo-arenoso.	67
Figura 11. Manejo convencional del suelo y distribución de tamaño de partícula: (A) laboreo convencional, suelo con textura migajón- arcilloso y (B) laboreo mínimo, suelo con textura arcillosa).	68
Figura 12. Contenido de carbono orgánico: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	72
Figura 13. Densidad aparente del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	76
Figura 14. Porosidad total del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción-manejo-profundidad.	80
Figura 15. pH del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción	83

manejo-profundidad.

Figura 16. Distribución de agregados en seco, a la profundidad de 0-15 cm: (A) manejo y (B) laboreo.	89
Figura 17. Distribución de agregados en seco, a la profundidad de 15-30 cm: (A) manejo y (B) laboreo.	90
Figura 18. Distribución de agregados en seco en la interacción manejo-profundidad.	92
Figura 19. Diámetro medio ponderado: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-laboreo	95
Figura 20. Contenido y distribución de carbono orgánico en microagregados del suelo de 50 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	102
Figura 21. Contenido y distribución de carbono orgánico en microagregados del suelo de 250 μm (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	106
Figura 22. Contenido y distribución de ácidos húmicos en microagregados del suelo de 50 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	116
Figura 23. Contenido y distribución de ácidos húmicos en microagregados del suelo de 250 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	119
Figura 24. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 50 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	123
Figura 25. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 250 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	127
Figura 26. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 50 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	130

Figura 27. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 250 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	132
Figura 28. Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados del suelo de 50 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	137
Figura 29. Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados del suelo de 250 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	141
Figura 30. Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 50 μm (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	144
Figura 31. Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 250 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.	146
Figura 32. Altura de planta en tres fechas del cultivo de maíz: (A) manejo y (B) laboreo. Chapingo, México (2002-2003)	149
Figura 33. Diámetro de tallo en tres fechas del cultivo de maíz: (A) manejo y (B) laboreo. Chapingo, México (2002-2003)	150
Figura 34. Área foliar en tres fechas del cultivo de maíz: (A) manejo y (B) laboreo. Chapingo, México (2002-2003)	151
Figura 35. Materia verde ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) del cultivo de maíz en diversos manejos y laboreos. Chapingo, México (2002-2003)	152
Figura 36. Desarrollo del cultivo de maíz en manejo orgánico y laboreo convencional. Chapingo, México (2002-2003)	153
Figura 37. Desarrollo del cultivo en el manejo orgánico y laboreo mínimo. Chapingo, México (2002-2003)	153
Figura 38. Desarrollo del cultivo en el manejo donde hubo alfalfa y laboreo convencional. Chapingo, México (2002-2003)	154

Figura 39. Desarrollo del cultivo en el manejo donde hubo alfalfa y laboreo mínimo. Chapingo, México (2002-2003)	154
Figura 40. Desarrollo del cultivo en el manejo convencional y laboreo convencional. Chapingo, México (2002-2003)	155
Figura 41. Desarrollo del cultivo en el manejo convencional y laboreo mínimo. Chapingo, México (2002-2003)	155
Figura 42. Desarrollo del cultivo maíz en manejo convencional, laboreo convencional y mínimo. Chapingo, México (2002-2003)	156

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos están constituidos por una a varias capas, llamadas horizontes, que tienen un grosor de unos pocos centímetros y que reflejan los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en este espacio. Los horizontes están compuestos de agregados naturales llamados peds. Los peds están a menudo separados unos de otros por poros, que varían ampliamente en tamaño y forma, y se formaron por la asociación de partículas minerales y orgánicas.

La materia orgánica (MO) del suelo (MOS) es un concepto amplio que incluye, desde una mezcla de residuos de plantas y animales en varias etapas de descomposición, de microorganismos vivos y muertos, de pequeños animales y de sus restos en descomposición, hasta sustancias sintetizadas microbiológica y químicamente, como resultado de los productos de su descomposición, (Schnitzer, 1972).

La MOS contribuye al desarrollo de las plantas por sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Entre los efectos directos de la MO sobre la fertilidad física edáfica están el propiciar la formación de agregados órgano-minerales y favorecer su cohesión, lo que incrementa la resistencia del suelo contra el proceso erosivo. A su vez, fomenta la formación de poros que mejoran la infiltración del agua y aumenta su capacidad del suelo para almacenarla (Tinker *et al.*, 1996). Aunque es claro, que fracciones específicas de la MOS juegan diferentes papeles en la formación y estabilización de los agregados, es indudable que bajo condiciones de campo, la mayoría, sino es que todas las fracciones habrían de estar involucradas, pero en grados y escalas diferentes dependiendo del suelo, tipo de clima y condiciones del cultivo. Esto se puede explicar, porque en varios estudios de

campo, los análisis de correlación muestran que la mayoría de las fracciones estudiadas están correlacionadas entre si y con la estabilidad de los agregados (Angers, 1992).

El proceso de formación de agregados o complejo órgano-mineral, de las partículas primarias del suelo con las sustancias húmicas y otros agentes de unión, es llamado agregación. Este es el primer paso en el desarrollo de la estructura del suelo.

La formación de agregados del suelo depende de factores abióticos y bióticos. El primero se encuentra relacionado principalmente con los óxidos del suelo, contenido de arcilla y sus procesos naturales en la formación de la estructura (contracción-expansión; congelamiento-descongelamiento; humedecimiento y secado) (Carter, 2004). Entre los factores bióticos, la materia orgánica juega un importante papel tanto en la formación de la estructura como en su manejo. En la mayoría de los suelos (excepto oxisoles) los procesos de formación de la estructura ocurren con cierto grado de orden (Kay, 1990, Carter y Stewart, 1996). Este ordenamiento o arreglo de partículas y agregados puede ser visto de manera conceptual como una jerarquía con tres niveles (Tisdall y Oades, 1982): microestructuras de arcilla (<2 μm diámetro); microagregados (2-250 μm) y macroagregados (>250 μm).

En las microestructuras de arcillas, los complejos arcilla-materia orgánica son estabilizados por ácidos húmicos y por iones inorgánicos. Los microagregados son estabilizados directamente por materiales de origen microbial tales como polisacáridos, fragmentos de hifas y células o colonias de bacterias (Carter y Stewart, 1996; Carter *et al.*, 1999). En comparación, la formación de macroagregados y su estabilización temporal es el resultado de la combinación de

mecanismos relacionados con las raíces de las plantas, de la actividad de los hongos y de la fauna.

La estructura del suelo en un sentido amplio, ha sido descrita como el arreglo espacial o heterogéneo de las partículas del suelo, agregados y el espacio poroso o poros (Dexter, 1988; Carter y Stewart, 1996; Kay y Angers, 1999). Su tamaño, forma y estabilidad de agregados en suelos cultivados puede ser sumamente modificada por las prácticas de manejo.

Las operaciones de labranza modifican la estructura del suelo y distribuyen en el suelo ciertos compuestos orgánicos ricos en energía. De esta manera, el tipo y grado de labranza puede influir en las propiedades y procesos del suelo y modificar la estructura. La inversión y pulverización del suelo por el continuo paso de la maquinaria acelera la descomposición de la materia orgánica, afectando las propiedades físicas, químicas y biológicas (Cannell y Hawes, 1994). Como alternativa al uso constante de maquinaria en el suelo, se han desarrollado en los últimos 30 años los sistemas de labranza de conservación, como la labranza mínima y la labranza cero (Arshad, 1999).

Los mayores efectos del uso continuo de la labranza cero son la redistribución y estratificación de la materia orgánica en el perfil del suelo. Varios estudios han demostrado que la labranza de conservación, al mantener mayores cantidades de materia orgánica en la superficie, mejora la estructura del suelo y con el tiempo el rendimiento de los cultivos, comparada con los sistemas de labranza intensivos (Papendick y Parr, 1997). Rasmussen y Collin (1991) establecieron que para poder observar cambios apreciables en el COS se requieren de 20-30 años. Sin embargo, Carter (1992) demostró en un suelo limo-arenoso fino que la labranza mínima

incrementó significativamente el COS en un tiempo relativamente corto, de 3 años ó menos.

Los objetivos del presente estudio fueron la evaluación de las diferencias en las propiedades físicas y químicas de suelos con diferentes manejos previos (orgánico cultivado con especies anuales, cultivado con alfalfa por 5 años sin movimiento del suelo, convencional cultivado con varias especies) que a partir del año 2002 se sometieron a dos sistemas de laboreo (laboreo mínimo y laboreo convencional) ambos cultivados con maíz) así, como investigar las variaciones en el contenido de carbono orgánico y compuestos en la fracción mineral de 50 y 250 μm como consecuencia de su redistribución ocasionada por el laboreo. Por último, evaluar la respuesta de las variables del cultivo de maíz en parcelas que tenían diferente historial de manejo (orgánico, alfalfa y convencional) sometidas a laboreo convencional y mínimo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Ciclo global del carbono

La atmósfera que rodea al globo terráqueo suministra el CO_2 a las plantas y el oxígeno a todos los organismos vivos. La atmósfera primitiva contenía grandes cantidades de CO_2 , amonio y metano y era carente de O_2 . Actualmente, los componentes principales son: 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, 0.95% de gases raros y 0.035% de CO_2 (Lal, 1996). Las plantas acuáticas y terrestres convierten la energía del sol en energía química mediante la fotosíntesis, capturando de este modo el CO_2 de la atmósfera y fijándolo en compuestos orgánicos hidrocarbonatos, celulosa, lignina y carbohidratos (Stevenson y Cole, 1999).

En la naturaleza, el balance entre el CO_2 fijado por las plantas y el CO_2 producto de la respiración, fenómenos oxidativos y catástrofes, fue históricamente mantenido por la formación de carbonatos en los océanos y la captura de carbono por el suelo; sin embargo, la introducción de fuentes fósiles de carbono en ese ciclo (petróleo, carbón mineral) en los últimos dos siglos ha provocado un desajuste del mismo, determinándose que el carbono (como CO_2) se acumule en la atmósfera. Contribuyendo a que se genere, lo que hoy llamamos cambio climático

2.2. El carbono orgánico del suelo

El suelo constituye una parte importante del reservorio natural terrestre de carbono. En él se desarrollan las plantas que sostienen la mayor parte de la vida heterótrofa terrestre que consumen parte del CO_2 atmosférico. El carbono del suelo se encuentra en dos grandes almacenes: el carbono inorgánico y el carbono orgánico. Las reservas acumuladas en dichos almacenes constituyen una parte fundamental de este elemento participante en el ciclo del carbono, y el

mantenimiento de estas reservas constituye un factor importante para el desarrollo de la agricultura sustentable.

De León y Etchevers (1999) mencionan tres puntos fundamentales en la restauración natural del suelo: 1) A través de la vegetación natural o cultivada incrementar las reservas orgánicas del suelo. 2) Por la producción sostenida de cultivos aplicación de materiales orgánicos y fertilizantes. 3) Realizar mayor investigación en la acumulación de reservas orgánicas del suelo para resolver problemas de este tipo.

2.3. Funciones de la materia orgánica

Las funciones de la materia orgánica en el suelo se asocian con características químicas y físicas de éste, en la cuáles el carbono participa activamente:

2.3.1. Color del suelo

Las sustancias húmicas imparten un color oscuro al suelo, el cual facilita la absorción de una mayor cantidad de energía y consecuentemente el calentamiento del mismo, lo cuál tiene estrecha relación con el crecimiento de plantas y sus rendimientos.

2.3.2. Estructuración y estabilidad del suelo

El humus, compuesto carbonáceo, producto de la acción de la microbiota sobre los residuos animales y vegetales que se depositan en el suelo, desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la estructura del suelo y su estabilidad. La estabilidad se relaciona con el grado de agregación del suelo. La pérdida de estabilidad, se debe a una disminución en el contenido de materia orgánica del suelo, causado por prácticas agrícolas intensivas e inadecuadas, lo que trae como

consecuencia problemas de erosión serios. Como parte de su influencia en el proceso de la agregación, la materia orgánica del suelo contribuye a la formación de poros, principalmente grandes, que permiten el drenaje y la aireación del suelo sean adecuados para el sostenimiento de la vegetación y minimización de la erosión (Pera *et al.*, 1983). La adición de materia orgánica a un suelo de textura arcillosa, lo hace más poroso y permite una penetración mejor de la raíz principal, mejorando su desarrollo (Pera *et al.*, 1983).

Las sustancias húmicas, derivadas de la transformación de la materia orgánica del suelo, influye en las propiedades coloidales de éste, (permitiéndole retener mayores cantidades de agua que en ausencia de esas (Pera *et al.*, 1983). Esta es una propiedad importante en suelos arenosos (Pera *et al.*, 1983) cuya capacidad de retención es naturalmente baja. El agua retenida por la materia orgánica y sus derivados es invaluable para el desarrollo de las plantas y los microorganismos. La materia orgánica humificada que se encuentra presente en la mayoría de los suelos agrícolas, puede retener por encima de cuatro veces su propio peso de agua, pero únicamente cerca de la mitad de esta agua, está disponible para la planta (Simpson, 1983).

2.3.3. Reservorio de nutrientes

La materia orgánica del suelo actúa como un reservorio de nutrientes para las plantas y previene la lixiviación de elementos que son vitales para el crecimiento de la misma (Simpson, 1983). Estos son retenidos debido a la gran capacidad de intercambio catiónico (CIC) del material orgánico. El humus puede tener una CIC por encima de 300 meq/100 g suelo (Simpson, 1983) la cual, es considerablemente más grande que la de los componentes de arcilla como: la caolinita (3-5 meq/100 g de material) o la montmorillonita (80-150 meq/100 g de material). Se ha estimado que

de 20-70% de la capacidad de intercambio catiónico de muchos suelos es atribuible directamente a la materia orgánica del suelo (Stevenson, 1982). El efecto del humus en el incremento de la CIC de los suelos, es más importante en suelos arenosos que en suelos arcillosos porque bajo condiciones arenosas es difícil mantener un nivel alto de humus bajo prácticas usuales de cultivo (Kahn, 1978). La importancia del humus está ejemplificado por el interés en estudios encaminados a buscar fuentes alternativas de materia orgánica, tales como: sedimentos de aguas residuales o la fracción degradable de residuos sólidos urbanos para mantener o incrementar los niveles existentes en el suelo (Pera *et al.*, 1983).

2.3.4. Amortiguador del pH del suelo

La materia orgánica del suelo actúa en el suelo como un elemento amortiguador de los cambios rápidos en el pH. Esta propiedad surge en gran parte por la interacción de las sustancias húmicas y arcillas, que generen complejos coloidales, que tienen cargas negativas en su superficie y son capaces de adsorber cationes como H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , etc. La resistencia a los cambios de pH en los suelos arenosos es mínima por su baja concentración natural de compuestos orgánicos, pero alta en aquellos suelos que tienen una CIC substancial. Como en el suelo están siendo continuamente producidos ácidos y bases, resultado de la actividad biológica, sin una capacidad amortiguadora relevante, el pH del suelo podría cambiar en detrimento de esta actividad biológica. En referencia a la capacidad amortiguadora del suelo (Allison, 1973) estableció “si ésta no existiera, sería difícil concebir la agricultura como hoy la conocemos”. Podríamos tener una situación similar a la encontrada en hidroponía.

Las plantas pueden crecer, pero a costa de grandes gastos. Algunas veces, sin embargo, la alta capacidad amortiguadora de algunos suelos puede traer alguna

desventaja económica para el agricultor, como la encontrada en turbas, la cual, después de drenar requiere apreciables cantidades de cal para mantener un pH apropiado para el desarrollo de los cultivos, como cereales (Allison, 1973).

2.3.5. Formación de complejos órgano-minerales

La materia orgánica humificada asociada al reservorio de carbono del suelo, puede formar complejos estables con algunos metales y de esta forma influir en su disponibilidad de éstos para las plantas y microorganismos. La habilidad de las sustancias húmicas para formar complejos se debe a que posee grupos funcionales como los grupos carboxilos de los ácidos carboxílicos, estructuras C = O, grupos hidroxil fenólicos, hidroxil alcohólicos e hidroxil enólicos (Vaughan y Malcolm, 1985). Stevenson y Ardakini (1972) han enfatizado que los metales que forman complejos con los ácidos húmicos son en gran parte insolubles, lo contrario sucede con los metales que forman complejos con los ácidos fúlvicos. De este modo, las sustancias húmicas pueden formar complejos con el Cu, haciéndolo relativamente no disponible para las plantas (Lees, 1950; Ennis y Brogan, 1961). En contraste, la toxicidad del Al, que es un problema en muchos suelos ácidos, puede ser mejorada con enmiendas a tales suelos con materia orgánica y reducir de éste modo la disponibilidad del metal (Stevenson, 1982).

2.3.6. Fuente de nutrientes

Durante los procesos de mineralización, la materia orgánica del suelo actúa como fuente de N, P y S, elementos esenciales para el crecimiento de la planta. Mucho se ha escrito acerca de éstos elementos y de acuerdo con Allison (1973), el N es el elemento más importante, pero el contenido de N del humus no es muy alto y está tan unido al C que difícilmente puede ser usado por las plantas. El N liberado en el proceso de transformación a humus es útil para las plantas. Kahn (1978) señala

que los rendimientos de los cultivos son a menudo, directamente proporcionales al N liberado de la materia orgánica. Cantidades considerables de N, P y S están presentes en formas orgánicas; sin embargo, muchas de las cuales (particularmente las sustancias que contienen S), todavía esperan su identificación.

Desafortunadamente, muchas de las reservas de N, P Y S no están disponibles para su uso por las plantas; por ejemplo, una parte de nitrógeno puede ser atrapado en las sustancias húmicas estables (Kononova, 1961; Schnitzer y Kahn, 1978 y Stevenson, 1982), mientras que otra parte de fósforo puede estar presente como calcio insoluble, en sales de hierro o aluminio de ésteres fosfatados (Greaves y Webley, 1969).

Durante la estación de crecimiento activo, el suelo puede experimentar una reducción de la concentración de muchos de sus minerales disponibles como N, P y S; siendo la velocidad de disminución del N la más grande. Los niveles de estos elementos pueden ser reestablecidas mediante la adición de residuos orgánicos frescos, pero desde el punto de vista del mejoramiento del rendimiento de los cultivos, el uso de fertilizantes químicos que contienen N, P y S, junto con K y algunos micronutrientes esenciales, es más rápida en sus efectos y más eficiente en términos económicos. En los últimos años, el interés por la agricultura “bio”, orgánica o alternativa ha determinado que la nutrición y abastecimiento de nutrientes a partir de productos orgánicos reciba una atención renovada.

En países desarrollados, la práctica de adición de fertilizantes químicos es el camino más práctico para garantizar una alta producción como una respuesta a las exigencias de la agricultura moderna, en la que, el contenido de la materia orgánica del suelo no debe caer por debajo de los niveles que podrían afectar otros aspectos de la fertilidad del suelo. Sin embargo, el interés de los consumidores por la

alternativa de productos “orgánicos” ha hecho que vuelva a surgir interés en estos materiales.

2.4. Clasificación de la materia orgánica

2.4.1. Reservas orgánicas edáficas

El contenido total de materia orgánica edáfica (MO) suele usarse con frecuencia como indicador de la capacidad del suelo para sostener una determinada productividad, por estar asociada a la fertilidad física edáfica (Pieri y Steiner, 1997) y también se selecciona para evaluar el potencial del suelo para aportar nutrimentos disponibles para los cultivos (fertilidad química), principalmente nitrógeno y fósforo (Scoones y Toulmin, 1998).

Entre los efectos directos de la MO sobre la fertilidad física edáfica están el propiciar la formación de complejos órgano-minerales y favorecer su cohesión, lo que incrementa la resistencia del suelo contra el proceso erosivo. A su vez, fomenta la formación de poros que mejoran la infiltración del agua y aumenta la capacidad del suelo para almacenarla (Tinker *et al.*, 1996). Sin embargo, debido a que la MO constituida por materiales orgánicos de muy diversa índole y estados de descomposición, no es conveniente generalizar su influencia sobre la fertilidad física y química del suelo, ya que puede variar en función de la cantidad y tipo de constituyentes que la conforman (van Noordwijk *et al.*, 1997), los cuales participan de distinta manera en duración e intensidad en los procesos que le confieren al suelo las propiedades requeridas para conservar un ambiente propicio de producción y su capacidad de aporte potencial nutrimental (Van den Bosche *et al.*, 1998).

La MO se ha dividido conceptualmente en reservorios (pooles) de acuerdo al origen y tipo de constituyentes orgánicos presentes en el suelo (Jenkinson y Rayner,

1977); aunque no se encuentren físicamente en el suelo como compartimentos bien delimitados de acuerdo con su constitución bioquímica (Stockdale *et al.*, 1997).

Los reservorios se encuentran diseminados principalmente dentro de la capa arable y pueden estar distribuidos en combinación con distintos tamaños de la fracción mineral formando complejos órgano-minerales (Duxbury y Nkambule, 1994). Físicamente pueden estar recubriendo a los minerales edáficos o encontrarse en el interior de la matriz arcillosa del suelo (Hassink *et al.*, 1997). El número de reservas orgánicas edáficas (ROE) en que se divide conceptualmente a la MO y el nombre que se les asigna difiere de acuerdo con el autor que los propone, aunque la mayoría coincide en agruparlos por su susceptibilidad de ser atacados por la biomasa microbiana de la siguiente manera:

Reservas orgánicas activas lábiles (ROAL): constituyentes de materiales orgánicos de reciente depósito o incorporación (residuos de cosecha, hojarasca, estiércol, etc.), que se mineralizan en menos de un año en condiciones de campo, como son azúcares, aminoácidos, hemicelulosas, celulosas, etc. (De Jager *et al.*, 1998).

Reservas orgánicas activas estabilizadas (ROAE): formadas por compuestos no humificados de mineralización más lenta que las ROAL (Janssen, 1993), ya sea por su propia constitución como es el caso de compuestos lignificados (Paustian *et al.*, 1997) o por estar protegidos físicamente en el interior de la matriz arcillosa del suelo contra la acción de la biomasa microbiana (Hassink, 1995).

Reservas orgánicas pasivas (ROP): se denominan pasivas por no contribuir en el corto plazo a la nutrición de los cultivos. Son materiales humificados (como es el caso de los ácidos húmicos y fúlvicos) que por su constitución bioquímica se

mineralizan muy lentamente, ya que en condiciones óptimas de humedad y temperatura, aportan menos de 3 kg. N ha⁻¹ por año (Cabrera, 1993). Por lo tanto, se debe considerar su aporte sólo al simular la dinámica del carbono (Greenland, 1994) y nitrógeno (Campbell *et al.*, 1996) en periodos mayores de 20 años.

Jenkinson y Rayner (1977) propusieron una subdivisión de la MO en función del tiempo de permanencia en el suelo de los materiales orgánicos, lo cual está directamente asociado con su susceptibilidad de ser mineralizado. Entonces, las ROAL equivalen a la materia orgánica fresca, las ROAE a la materia orgánica joven y las ROP a la materia orgánica vieja. Por lo tanto, el nombre con que se designe a cada componente de los distintos constituyentes de la MO no es tan importante, sino más bien lo que interesa es conocer cuál es su función en el contexto global del sistema de producción, su influencia en la productividad de los cultivos y en la sustentabilidad del agroecosistema.

2.4.1.1. Variación de las reservas orgánicas edáficas

El tamaño de las reservas individuales varía con las fluctuaciones estacionales y depende principalmente del tipo de suelo, vegetación y clima. La importancia biológica de los diferentes pools es discutida por Coleman *et al.* (1989).

El concepto de reservas de la materia orgánica que difieren en sus susceptibilidades a la descomposición microbial y a su larga duración en el suelo ha proporcionado una base para el entendimiento de la naturaleza dinámica de la materia orgánica del suelo y cómo la disponibilidad de nutrientes (N, P, S y elementos traza) es influenciada por las prácticas de manejo y cambios en el ambiente del suelo. Si este concepto puede ser estudiado o usado para propósitos prácticos, las reservas podrían ser medibles; por lo tanto, los flujos de nutrientes entre ellos pueden ser determinados. Aunque, los conceptos de pools son viejos,

los métodos experimentales para definir y cuantificar varios de ellos, son un avance reciente relativamente.

Las reservas orgánicas edáficas (ROE) se incrementan, mantienen o disminuyen en función de la actividad de la biomasa microbiana edáfica (BME) y del balance que se establece entre las entradas de materiales orgánicos al suelo (residuos de cosecha, abonos verdes, reciclaje de hojarasca, ramas y troncos, etc.) y la salida de carbono como consecuencia de diferentes procesos (respiración del suelo, quema o eliminación de los residuos de cosecha, desmontes, etc.) (Galvis, 2000).

Al perturbar un ecosistema con el propósito de establecer un sistema agrícola o forestal, el manejo que se practique será una variable adicional que modifique la cantidad de ROE y por ende su nivel de equilibrio, ya que la cantidad y tipo de material vegetal que entrará al suelo no será la misma. Esto originará un desequilibrio inicial en las ROE pero paulatinamente se llegará a una nueva condición de equilibrio, cuya magnitud y tiempo requerido dependerá de los materiales orgánicos aplicados y de su manejo (Sánchez *et al.*, 1997). En el caso de la producción de cultivos agrícolas es muy frecuente la quema de los residuos de cosecha con el propósito de preparar el terreno para la siembra, incluso en los países con los sistemas agrícolas más avanzados (Dudley y Lajtha, 1993).

La escasa cantidad de insumos orgánicos que se agregan al suelo en las explotaciones agrícolas, induce a que sus ROE sean menores al ecosistema original (Fyles *et al.*, 1991). Dicha situación se puede revertir cuando se agregan insumos orgánicos externos, como es el caso de estiércoles o desechos orgánicos compostados, lo que favorece el incremento de las ROE y el mantenimiento de la productividad del agroecosistema (Hoegen, 1995). Para ello, se considera que es

conveniente aplicar de 3-4 t ha⁻¹ (materia seca) de compostas a intervalos de 3 años (Crohn, 1995).

El laboreo del suelo es una de las prácticas en la producción de cultivos que afecta la calidad del suelo, puesto que el contenido de reservas orgánicas se reduce como consecuencia de un excesivo uso de maquinaria, por lo que hay la tendencia hacia la reducción de pasos de rastra o barbecho, o adoptar la labranza de conservación y la labranza cero como alternativa de producción. Esto, hace necesario evaluar si efectivamente se modifica la calidad del suelo como resultado del cambio de sistema de labranza y rotación de cultivos. En general, los cambios se dan en el largo plazo, pero indudablemente hay procesos edáficos que se presentan a temprana edad y que deben ser investigados. Dichos aspectos todavía no están suficientemente estudiados (Bergrstrom *et al.*, 1998).

2.5. La materia orgánica y su caracterización

Sobre una base conceptual, y en adición a las propuestas descritas más arriba, los materiales orgánicos se pueden dividir en las siguientes reservas o pools (Bormann y Likens, 1970; Innis, 1978; Smith, 1992):

Restos orgánicos: Materia macroorgánica (restos de cultivos) que se encuentran sobre o encima de la superficie del suelo.

Fracción ligera: Restos de plantas y sus productos de la descomposición parcial que residen dentro del suelo propiamente.

Biomasa microbial: Células de microorganismos vivos, particularmente bacterias, actinomicetos y hongos.

Biomasa faunal: Tejidos de animales (principalmente invertebrados).

Constituyentes subterráneos de plantas: Principalmente raíces, con menores cantidades de raíces muertas y exudados.

Compuestos orgánicos solubles en agua: Sustancias orgánicas disueltas en la solución del suelo.

Humus estable: Restos humificados de tejidos de plantas y animales que han sido estabilizados por transformaciones microbiales y químicas y/o por asociación con componentes del suelo inorgánicos.

2.6. Protección de la materia orgánica del suelo y sus mecanismos de estabilización

Se han propuestos tres mecanismos principales sobre la estabilización de la materia orgánica del suelo (MOS): (1) estabilización química, (2) protección física y (3) estabilización bioquímica (Stevenson, 1994). La estabilización química de la MOS es el resultado de la unión química o físico-química entre la MOS y los minerales del suelo (partículas de arcilla y limo). Algunos estudios han reportado una relación entre la estabilización del carbono orgánico y nitrógeno en los suelos y el contenido de arcilla o limo más arcilla (Hassink, 1997). La protección física por los agregados es considerada como una influencia positiva de la agregación en la acumulación de la MOS (Six *et al.*, 2000a). La MOS protegida físicamente en los agregados está dada, por la formación de barreras físicas entre microorganismos, enzimas, exudados, controlando las interacciones de la red alimenticia y consecuentemente la proliferación de microorganismos (Elliott y Coleman, 1988). La estabilización bioquímica se entiende, como la estabilización de la MOS debido a su composición química (compuestos recalcitrantes tales como lignina y polifenoles), a través de procesos químicos complejos, (reacciones de condensación) en el suelo. La MOS

protegida, se ha dividido en tres reservorios de acuerdo con los tres mecanismos de estabilización descritos anteriormente (Figura 1).

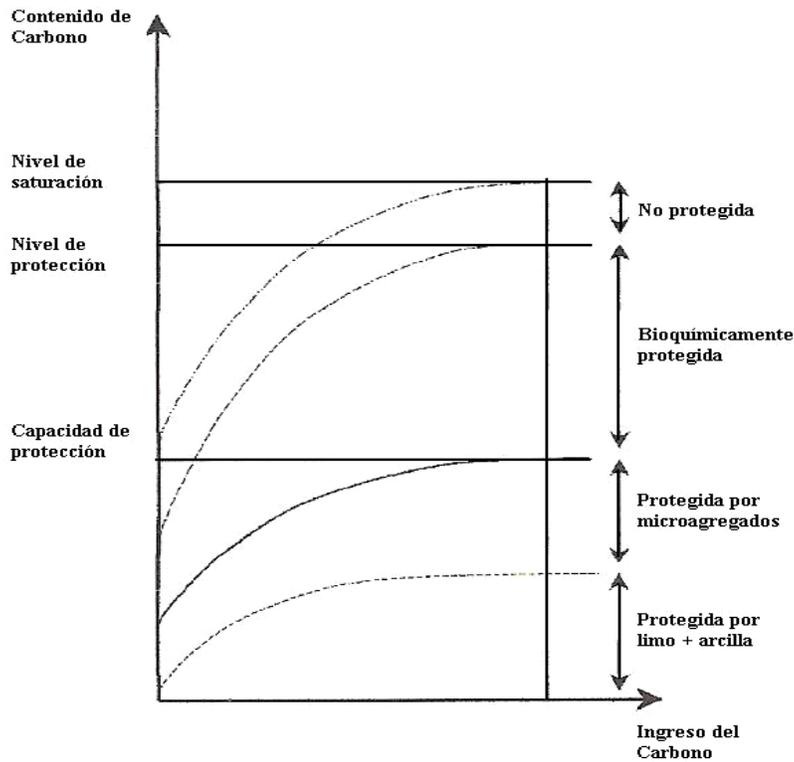


Figura 1. La capacidad de protección del suelo y rango de protección del carbono orgánico (Christensen, 1996).

Los tres reservorios de la MOS son: la MOS protegida por limo y arcilla (limo y arcilla definidas como complejo órgano-mineral $<53 \mu\text{m}$), MOS protegida en microagregados (microagregados con tamaño de $53\text{-}250 \mu\text{m}$) y la MOS protegida bioquímicamente.

2.7. Dinámica del carbono orgánico del suelo

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos en condiciones naturales representan un balance entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) (Figura 2).

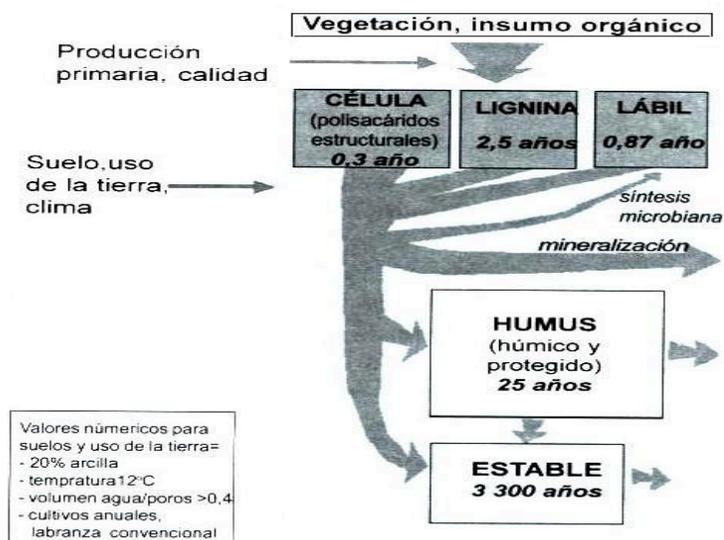


Figura 2. Dinámica del carbono orgánico en el suelo (Balesdent *et al.*, 2000).

En condiciones anaeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y solo una pequeña fracción (1%) del que ingresa al suelo se acumula en la fracción húmica estable (Robert, 2002).

Los reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia, variando de uno a pocos años, dependiendo de la composición bioquímica, por ejemplo; la lignina es más estable que la celulosa, de décadas a más de 1000 años (fracción estable). También hay alguna conexión con la composición, pero principalmente con el tipo de protección o el tipo de uniones químicas. Para la fracción del carbono estable se debe hacer una distinción entre la protección física o química o captura: *protección física* significa un encapsulado de los fragmentos de la materia orgánica por las partículas de arcilla o por los macroagregados o microagregados del suelo (Figura 3) (Puget *et al.*, 1995; Balesdent *et al.*, 2000); *protección química* se refiere a uniones especiales de la materia orgánica con otros constituyentes del suelo (coloides o arcillas), pero más a menudo esto concierne compuestos orgánicos del suelo muy estables.

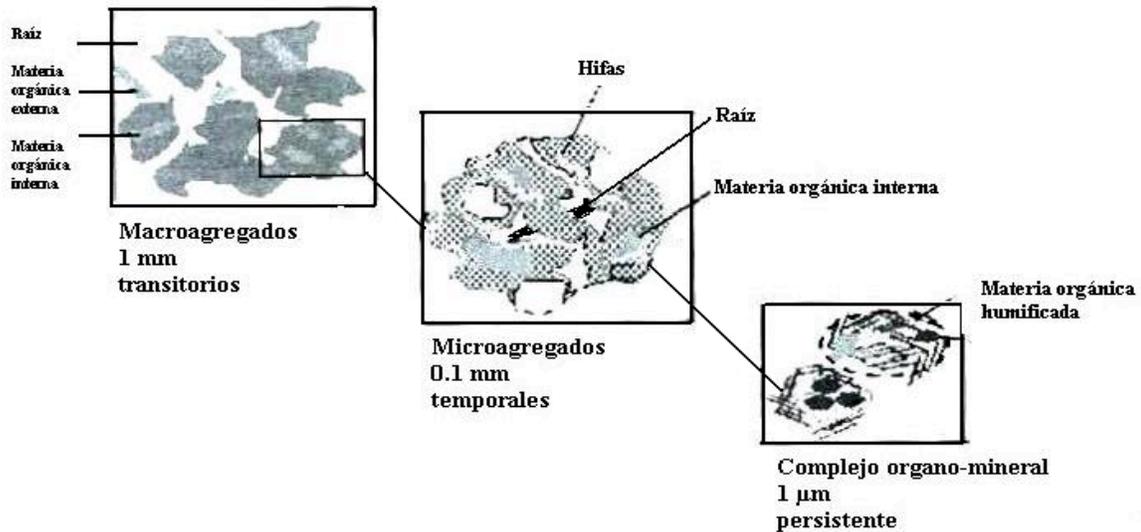


Figura 3. La materia orgánica, sus agentes de unión: temporales, transitorios, persistente y su efecto en la agregación del suelo (Chenu, sin publicar).

Los diferentes grupos de carbono orgánico en los suelos, son influenciados por distintos factores. Las partículas de materia orgánica libre (fracción ligera) y la biomasa microbiana de los suelos son controladas por el aporte de residuos de cultivos, cobertura del suelo y clima. La agregación del suelo, la textura y la mineralogía controlan la materia orgánica en macroagregados y por lo tanto, la labranza tiene un gran efecto sobre el tamaño de esos reservorios. Los otros reservorios son menos afectados por los factores agronómicos, pero lo son sobre todo por factores pedológicos (microagregación, composición de la arcilla).

2.8. Cuantificación del contenido de carbono orgánico del suelo

Los contenidos de la materia orgánica del suelo (MOS) son difíciles de medir directamente. La mayoría de los métodos miden la concentración de carbono orgánico respecto de la masa de suelo y para obtener la concentración de materia orgánica, se multiplican los valores resultantes por factores de conversión que van de 1.72 a 2.0. El valor del factor de conversión usado está determinado por la proporción de carbono en la MOS, asumiendo un rango de 50-58%. El factor más

usado es 1.724, que supone que 58% de la fracción húmica del suelo superficial es carbono. Para calcular los contenidos de carbono, es preciso conocer la densidad aparente del estrato de suelo para el que se cuente con el valor de concentración de carbono.

Los métodos utilizados actualmente para estimar el carbono orgánico del suelo han sido revisados recientemente por Nelson y Sommers (1996), e incluyen métodos por combustión en húmedo y en seco para el carbono orgánico total y métodos por oxidación en húmedo con dicromato para la cuantificación de carbono orgánico.

Los análisis de carbono total suponen la completa conversión de todo el carbono en el suelo a CO_2 y la cuantificación de todo el CO_2 involucrado. Se requieren algunas correcciones por la presencia de carbono inorgánico, principalmente de carbonatos en los suelos cuando se utilizan métodos para determinar carbono total. Cuando los contenidos de carbono orgánico son medidos utilizando el método de dicromato, se utiliza una cantidad del reactivo químico, en exceso del carbono que se supone presente en el suelo (Walkey y Black, 1934 y métodos subsecuentes modificados) para así evitar errores que pudiesen subestimar este elemento. La combustión húmeda tiene el inconveniente que el agente oxidante (dicromato en este caso) se consume en la oxidación de otras sustancias fácilmente oxidables como cloruros, iones ferrosos and manganeso reducido (Jackson, 1958).

2.9. Estructuración del suelo

La experiencia de campo y décadas de estudio han generado una gran cantidad de descripciones de la estructura del suelo. La estructura del suelo ha sido

definida de varias maneras, pero en el sentido más amplio ha sido descrita como el arreglo o heterogeneidad de las partículas, agregados, espacio o poros del suelo (Kay y Angers, 1999). Para su estudio, se ha adoptado el término de forma estructural, que se describe a continuación:

2.9.1. Forma estructural del suelo

El término, forma estructural se aplica a un grupo de características que describen el arreglo heterogéneo del espacio que ocupan los sólidos y los poros existentes en el suelo en cualquier tiempo dado. Una evaluación de la estructura del suelo en un sitio, normalmente involucra una evaluación visual de la forma estructural que es complementada por análisis cuantitativos de las muestras recolectadas del sitio. Los análisis visuales, incluyen una descripción de la morfología del suelo en la superficie y la variación morfológica relacionada con la profundidad.

La mayoría de los sistemas nacionales de clasificación de suelos, incluyen procedimientos y terminologías para describir y clasificar la estructura del suelo, basados en su morfología (Soil Survey Staff, 1975; Hodgson, 1978 y Canada Expert Committee Soil Survey, 1987). Por ejemplo, el sistema canadiense clasifica la estructura del suelo en términos de grado ascendente o sin distinción (sin estructura, con estructura débil, moderada y fuerte), clases o tamaños (muy fina, fina, media, gruesa) y por su tipo (grano simple, amorfa o masiva, bloques angulares, bloques subangulares, granular, laminar, prismática y columnar).

Los grados y tipos de estructuras del suelo, están definidos sobre la base de evidencias visuales de la magnitud de desarrollo de los peds y su forma (los peds, son unidades estructurales secundarias, formadas por encima de las partículas primarias, que se distinguen de estructuras adyacentes sobre la base de fracturas de

zonas y están formados por procesos naturales, en contraste con los terrones que son formados artificialmente, por la labranza del suelo.

Los grados de la estructura del suelo, que distingue el Comité de Expertos de Canadá sobre estudios de suelo (1987), son los siguientes: (1) débil: peds que son apenas observables en el lugar; (2) moderada: peds que son moderadamente evidentes; sobre perturbaciones, el suelo puede romperse y formar una mezcla de muchos peds enteros y distintos, algunos peds rotos y material pequeño desagregado; y (3) fuerte: peds que son realmente evidentes en suelos sin perturbar; en suelos perturbados, los peds retienen su identidad con algunos peds rotos y material pequeño desagregado.

2.9.2. La materia orgánica y su influencia en la estructuración del suelo

Tisdall y Oades (1982) identificaron tres formas diferentes en las cuales la materia orgánica del suelo contribuye a la estructuración del mismo como agentes de unión, concretamente como: agentes de unión temporal, transitoria y persistente. Cada forma se describe brevemente a continuación:

2.9.2.1. La materia orgánica como agente de unión temporal

Los agentes de unión temporal son derivados de productos microbianos y de plantas principalmente, son rápidamente descompuestos en el suelo, pero están continuamente produciéndose. Los microagregados (20-50 μm) tienden a estar unidos por este tipo amorfo de materia orgánica del suelo. Muchas de las evidencias de este mecanismo de unión, se dan por la pérdida de estabilidad estructural cuando los suelos son tratados con reactivos como periodato y tetraborato, los cuales destruyen los carbohidratos (Cheshiere *et al.*, 1983).

Los polisacáridos producidos por los microorganismos del suelo, poseen propiedades adhesivas que contribuyen a la agregación de los suelos en buena parte, como resultado de fuerzas físicas débiles, las fuerzas de van der Waals y puentes de hidrógeno, pero también son facilitadas por la gran área superficial que presentan las arcillas. Los polisacáridos ácidos y neutrales, al parecer son capaces de unir partículas dentro de los agregados; la efectividad de los polisacáridos ácidos, está controlada por el contenido de ácido urónico (Martin, 1971) y la efectividad de los polisacáridos neutrales es controlada por la masa molecular; es decir, la mayor masa molecular permite un gran número de enlaces entre el suelo y el material parental. Un número de polisacáridos neutrales, como las dextrosas producidas por algas están relacionadas en la agregación del suelo. Estos organismos pueden jugar un papel importante en la agregación del suelo, particularmente en regiones tropicales y subtropicales (Lynch, 1983). La producción y/o aplicación del inóculo de algas proporciona una estrategia en el manejo potencial de algunos suelos que son sensibles a la erosión del viento y del agua (Figura 4).

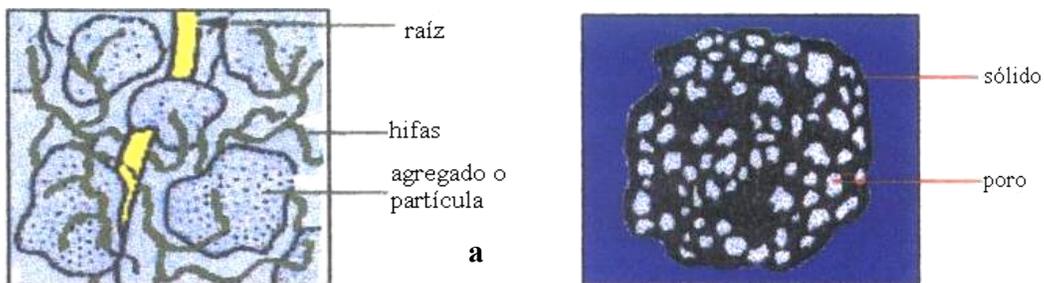


Figura 4. (a) Microagregados de 200 μm , unidos por exudados de raíces e hifas de hongos y (b) macroagregado de 2000 μm (Tisdall y Oades, 1982).

2.9.2.2. La materia orgánica como agente de unión transitoria

Las hifas o filamentos de hongos (incluyendo micorrizas) y algas, así como raíces finas de plantas, completan este grupo de agentes de unión transitoria. Ellos tienden a acumularse en el suelo por un periodo de tiempo y persistir por meses o

hasta por años. Las partículas más grandes del suelo (particularmente, la fracción arenosa), tienden a estar unidas por estos tipos de agentes de unión (Forster, 1981). Varios de los filamentos microbiales tienden a tener superficies pegajosas, como resultado de la producción de polisacáridos extracelulares, así como las puntas de las raíces en su desarrollo, que también producen polisacáridos pegajosos (mucigeles) (Figura 5).

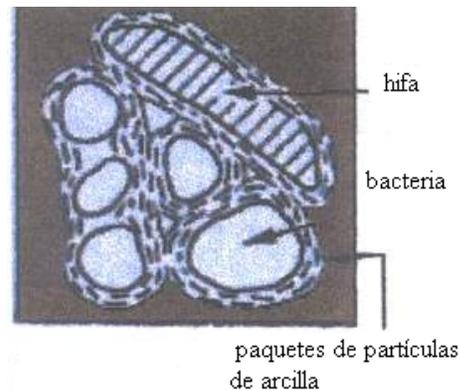


Figura 5. Paquetes de arcillas de 20 μm , unidas por hifas y exudados bacteriales (Tisdall y Oades, 1982).

Estas sustancias pegajosas, permiten a los filamentos adherir fuertemente las partículas del suelo y facilitar los procesos de unión física.

2.9.2.3. La materia orgánica como agente de unión persistente

Los principales agentes de uniones persistentes, son los constituyentes húmicos resistentes, que resultan de la descomposición de restos de plantas, animales y microorganismos. Este grupo puede a menudo, estar asociado con aluminio amorfo y hierro en los suelos (Figura 6).

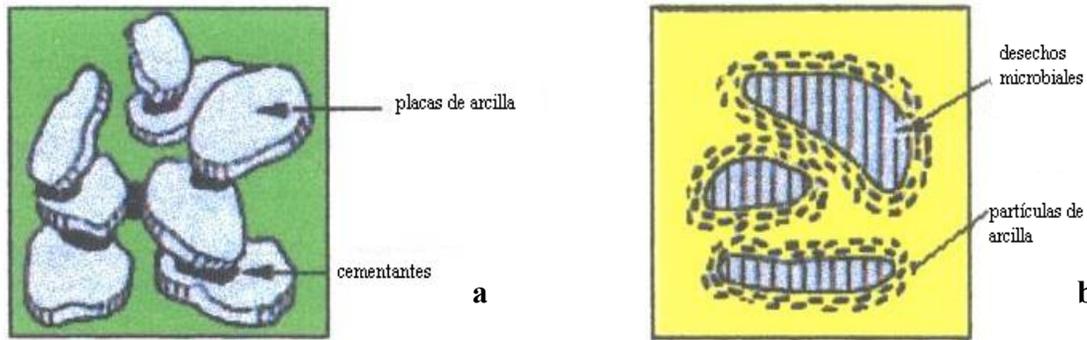


Figura 6. (a) Placas de arcilla de $0.2 \mu\text{m}$ unidas por cementantes (b) partículas de arcilla de $2 \mu\text{m}$ unidas por desechos microbiales (Tisdall y Oades, 1982).

2.9.3. La materia orgánica y la estabilidad estructural del suelo

La adición de materia orgánica fresca al suelo, particularmente como restos de plantas o cultivos, contribuyen a tres formas de uniones orgánicas. El aporte continuo de restos de plantas, es esencial para el mantenimiento de la estabilidad estructural del suelo. Greenland *et al.* (1975) han sugerido que los suelos no calcáreos, con contenidos de materia orgánica por debajo de 3.4% están propensos a sufrir un deterioro estructural, mientras que aquellos suelos que contienen 4.3% o más materia orgánica, probablemente son más estables estructuralmente.

Strutt (1970) también sugirió que concentraciones de materia orgánica de 3% o menos, puede satisfacer una producción prolongada de cereales en suelos estables, pero volverse rápidamente inadecuada para cultivos en suelos inestables, particularmente para todos aquellos con contenidos altos de arena o limo y bajos en arcillas.

El mantenimiento de la estabilidad estructural del suelo a través de la adición de materia orgánica, puede ser vital en el futuro para la conservación de suelo. Precisamente en los trópicos, donde los suelos son particularmente sensibles y la

precipitación es a menudo erosiva; asimismo para las regiones templadas, donde la maquinaria agrícola en particular puede dañar y debilitar la estructura del suelo.

2.10. Influencia del manejo y labranza en la materia orgánica

Paustian *et al.* (1997) realizaron una revisión del efecto de las prácticas de manejo agrícola sobre los niveles de COS en áreas forestales. La influencia más drástica de las prácticas agrícolas, ocurre cuando los suelos primeramente son abiertos a la producción. Típicamente, los niveles de COS disminuyen en los primeros años después de cultivados y tienden a estabilizarse en un nuevo nivel de equilibrio, el cual está regido por la habilidad del suelo para estabilizar el carbono orgánico y sus cantidades, la calidad y distribución de los aportes de restos de plantas.

La intensidad con la cual el suelo es cultivado puede impactar en la cantidad total de COS y en su distribución con la profundidad del suelo. Los sistemas de no labranza, tienden a concentrar las entradas de restos orgánicos en la superficie del suelo y generalmente mejoran el COS y los contenidos de N en las capas superficiales de éste. Por lo tanto, en la evaluación de las prácticas de labranza sobre el almacenamiento del COS es importante muestrear a la mínima profundidad de la labranza. Paustian *et al.* (1997) presentaron información de un número de trabajos de campo a largo plazo e indicaron que la retención de COS es mejorada bajo no labranza en relación a sistemas más intensivos de labranza convencional (Figura 7).



Figura 7. Protección y desprotección de la materia orgánica del suelo por efecto de la labranza (adaptado de Balesdent *et al.*, 2000).

La naturaleza de los cultivos anuales y la inclusión de pastos anuales y perennes o barbechos mecánicos en rotación con cultivos anuales pueden impactar los niveles de COS. En pruebas de campo, se evaluó el impacto de la adición de fertilizantes sobre el contenido de COS. Los trabajos revelaron que la adición de fertilizantes nitrogenados mejoró los contenidos de COS, lo cual sugiere que, las adiciones de fertilizantes nitrogenados dan como resultado un retorno mayor de restos de plantas al suelo y una reducción en la velocidad de descomposición (Andrén, 1987) y un incremento de la acidificación del suelo (Thurston *et al.*, 1976). También se ha encontrado una represión de las enzimas lignolíticas y la formación de materiales húmicos recalcitrantes a través de la reacción de aminoácidos con precursores húmicos (Fog, 1988).

Como el suelo es manejado de diversas maneras y cada una puede involucrar una serie de prácticas de laboreo. El laboreo del suelo, el agua y la influencia de las plantas en la estructura del suelo, son factores que controlan las formas y cantidades de las entradas de carbono y su distribución espacial. Un suelo con 3.0% de materia orgánica, contiene aproximadamente 75 toneladas de materia orgánica en una hectárea a una profundidad de 150 mm. Para incrementar ésta a 4.0%, tomaría un

plazo de 100 años, si 2 toneladas por hectárea de restos de cultivos fueran adicionados anualmente. Esta es una relación bastante típica en la adición de restos orgánicos bajo un régimen o labranza orgánica.

Estas prácticas también tienen influencia en las poblaciones de micro y macroorganismos del suelo y la mineralización de la proporción de carbono. La naturaleza de la cobertura del suelo proporcionada por las plantas o residuos de cultivos influye en la estructura del suelo al disminuir el impacto de las gotas de lluvia, en el contenido de agua y la proporción de humedecimiento en el suelo. Existe un número indeterminado de opciones y combinaciones de manejos usados en la producción de cultivos, bajo varias condiciones del suelo y clima.

El impacto de la labranza sobre la forma estructural del suelo depende del equipo usado, la forma estructural inicial, el contenido de agua en el suelo, el tiempo y frecuencia de la labranza. A corto plazo, la reducción en la labranza repercute en la disminución de la densidad aparente y por lo tanto en un incremento en la porosidad total en las capas de los suelos laboreados. Los poros grandes favorecen la transmisión del agua y el desarrollo de raíces en la superficie del suelo (Klute, 1982). Sin embargo, la labranza puede romper la continuidad del sistema de poros creados por las raíces y de la actividad de la fauna en la superficie del suelo, entre estas capas y las más profundas en los horizontes no laboreados (Gross *et al.*, 1984). Esto puede crear también zonas compactadas en el fondo de las capas laboreadas (Bowen, 1981). A largo plazo (>5 años) los efectos de la ausencia de la labranza sobre la porosidad total puede ser positiva, negativa ó estar ausente (Heard *et al.*, 1988). Van Lanen *et al.* (1992) observaron una mejor estructura, una mayor porosidad y una mejor conductividad hidráulica en suelos con pastizales nativos que en suelos jóvenes laboreados por 8 años.

Por otro lado, la compactación ocasionada por el tráfico vehicular ó de animales puede ser detrimental en la estructura del suelo y reducir la porosidad e incrementar las fuerzas del suelo y por último reducir el rendimiento de los cultivos e incrementar el riesgo de la erosión por el agua. Aunque el daño causado por la compactación puede en algunos casos ser disminuido por el subsoleo o por procesos naturales de humedecimiento/secado, en general se está de acuerdo en la prevención por medio del tráfico controlado o manteniendo los niveles de la MOS.

La protección física es probablemente menor en suelos cultivados que en suelos sin cultivar porque la labranza periódicamente rompe los agregados del suelo y expone la materia orgánica del suelo previamente protegida. Los agregados estables pueden proteger la materia orgánica del suelo oculta dentro de su estructura (Balesdent *et al.*, 1990).

2.11. La agregación del suelo

La estructura del suelo es definida como el tamaño y arreglo de partículas minerales y poros en los suelos. Una variedad de tamaños de poros del suelo son necesarios para el almacenamiento y transmisión del agua y aire a través del suelo y para el desarrollo radicular. Los agregados son considerados como las unidades fundamentales de la estructura del suelo. Su tamaño, forma y estabilidad controlan la distribución del tamaño de poro dentro del suelo. Edwards y Bremner (1967) establecieron que en un suelo bien estructurado, la mayoría de los macroagregados se encontró en un rango de 1-10 mm de diámetro.

La agregación de las partículas por sustancias orgánicas o minerales del suelo en unidades secundarias, pueden permanecer estables o ser alteradas por fuerzas perturbadoras como el viento y el agua. La estabilidad de agregados en seco

es más importante en áreas donde los procesos de erosión por el viento son dominantes. El agua, ya sea en forma directa, por medio de la precipitación ó como escurrimiento superficial, es la principal causa del rompimiento de los agregados en la mayoría de los suelos, por consiguiente, es la clave en el mantenimiento de la estructura, especialmente sobre la superficie del suelo.

La teoría de la estabilización de los agregados, publicada por Tisdall y Oades (1982) y posteriormente respaldada por Elliot (1986), propuso cuatro etapas de agregación. Primera, los agregados estables en agua $<2 \mu\text{m}$ de diámetro, están formados por agentes de uniones inorgánicos permanentes, adsorbidos sobre las superficies de las arcillas. Estos agentes de unión actúan como cementantes, uniendo las placas de arcilla a través de uniones electrostáticas y floculación. Los agentes de unión consisten de aluminosilicatos amorfos, óxidos y sustancias húmicas condensadas. El manejo puede no impactar en estos agentes de unión. Ahora bien, partículas estables en agua $<2 \mu\text{m}$ de diámetro no son agregados, pero consisten en placas de arcilla unidas por floculación.

Segunda, los agregados estables en agua de $2-20 \mu\text{m}$ de diámetro, consisten en partículas $<2 \mu\text{m}$ de diámetro, unidas fuertemente por agentes de uniones persistentes, no siendo impactados por las prácticas de manejo. Estos agentes de uniones persistentes, consisten de material húmico y polisacáridos del suelo asociados con cationes metálicos divalentes y trivalentes, así como por fragmentos de raíces resistentes a la degradación, hifas de hongos y células de bacterianas. La materia orgánica es interesante, por ser el centro del agregado con las partículas de arcilla fina adsorbidas sobre su superficie.

Tercera, agregados de $20-200 \mu\text{m}$ de diámetro, incluye microagregados, unidos por agentes de unión temporal que consisten de raíces, pelos radicales e

hifas de hongos, especialmente hifas micorrízicas vesicular-arbuscular. Estos agentes persisten por meses y años y son afectados por el manejo del suelo.

Cuarta, consiste de macroagregados, que se encuentran en el intervalo de 200-2000 μm de diámetro, unidos por agentes de unión transitorios, siendo los más importantes los microorganismos y polisacáridos de plantas. Estos agentes de unión son producidos cuando los restos de plantas y animales son agregados al suelo y subsiguientemente degradados por la población microbiana o están asociados con las raíces y biomasa microbiana dentro de la rizosfera. Los agentes de unión transitoria son producidos en forma rápida, pero degradados también rápidamente, perdurando de días a semanas en el suelo y siendo altamente sensibles a los cambios en el manejo del suelo.

Los factores bióticos juegan un papel importante en la formación de agregados, porque en suelos con textura de media a gruesa, con contenido de arcilla de 35% o menos (Oades, 1993) las lombrices de tierra contribuyen al desarrollo de agregados a través de la formación de galerías y de sus excrementos. Las raíces, también contribuyen a la formación de poros: cuando ejercen presión a través del suelo, cuando mueren y se descomponen, y forman canales (macroporos). Microartrópodos, principalmente ácaros y colémbolos contribuyen a la formación de agregados en el suelo, vía producción de desechos fecales. Estos desechos son una mezcla de restos de plantas, generalmente <1 mm de diámetro. Los hongos colonizan rápidamente estos desechos, utilizando parte de la materia orgánica y transformando otra en materia orgánica del suelo estable. Además, las hifas de hongos contribuyen a la estabilización de los agregados.

2.11. 1. Jerarquía de los agregados del suelo

Golchin *et al.* (1994b) propusieron la existencia de tres niveles de agregación: (1) la unión de las placas de arcillas en paquetes $<20 \mu\text{m}$, (2) la unión de los paquetes de arcillas en microagregados estables (20-250 μm) y (3) la unión de microagregados estables en macroagregados ($>250 \mu\text{m}$). La importancia y naturaleza de los materiales orgánicos está asociada con la variación de cada nivel de agregación. En la escala $<20 \mu\text{m}$, la agregación está regida por la mineralogía y propiedades químicas del suelo, importantes en el control de la magnitud de la dispersión. La unión de paquetes de arcillas para formar microagregados, involucra polisacáridos, los cuales actúan como pegamentos (sustancias mucilaginosas o mucigeles), producidos por las raíces de las plantas y microorganismos del suelo (Ladd *et al.*, 1996). Emerson *et al.* (1986), encontraron sustancias mucilaginosas localizadas entre los paquetes de las placas de arcilla. Los microagregados ($<53 \mu\text{m}$) están unidos por materia orgánica humificada y materiales procesados biológicamente, los cuales están adheridos alrededor de un núcleo orgánico particulado para producir mesoagregados $<2,000 \mu\text{m}$ (Golchin *et al.*, (1994b). Los macroagregados $>2,000 \mu\text{m}$ son estabilizados por la presencia de raíces, hifas de hongos y fragmentos más grandes de restos de plantas, los cuales interconectan los agregados del suelo por la unión de sus superficies, por penetración o través de los agregados y por unión física (Foster, 1994).

2.11.2. La materia orgánica y sus efectos en los agregados del suelo y su estabilidad

a) Efecto sobre agregados del suelo. La relación de la MOS con los agregados, se refleja en los efectos acumulativos que determina el método de incorporación, en la dinámica de la descomposición (incluyendo la transformación de las diferentes formas de carbono orgánico, su localización espacial y sus grados de

asociación con los materiales minerales) y la influencia del carbono orgánico sobre las características de los poros. Varios estudios han encontrado una estrecha relación entre el nivel de agregación y la MOS. Algunos de éstos son revisados por Tisdall y Oades (1982); otros autores han mostrado que la incorporación de residuos orgánicos, usualmente resulta en la formación de agregados estables en agua (Lynch y Bragg, 1985).

Los incrementos en el contenido de carbono orgánico del suelo, normalmente, repercuten en un incremento en la distribución y estabilidad de los agregados. En un estudio en suelo con contenido <0.6 a 10% de carbono orgánico, Kemper y Koch (1966) encontraron que la estabilidad de agregados se incrementaba diferencialmente en las capas del subsuelo y capas superficiales según éste se encontrase bajo pasto o bajo cultivo, respectivamente. La estabilidad decreció cuando los contenidos de carbono orgánico se ubicaban por debajo de 1.2-1.5%. Greenland *et al.* (1975) sugirieron un nivel crítico en el contenido de carbono de 2%, debajo del cual, se da un deterioro de la estructura del suelo, especialmente, en ausencia de CaCO₃. Albrecht *et al.* (1992) también hicieron notar que en Vertisoles y Ferrosoles, los agregados eran más estables si contenían un mínimo de 2% de carbono orgánico.

Las prácticas de labranza tienen una fuerte influencia en la modificación de la agregación y estabilidad estructural. Beare *et al.* (1994a) mostraron que suelos superficiales (0-10 cm) bajo no labranza, contenían agregados más estables y grandes que su contraparte, los suelos laboreados. Debido a los efectos combinados de la acumulación superficial de restos orgánicos de los cultivos y la ausencia de perturbaciones mecánicas en los sistemas de no labranza la alteración mecánica

ocasiona el rompimiento directo de los agregados y la oxidación de la MOS, la cual estabiliza los agregados.

b) Efecto sobre la estabilidad de agregados. Los mecanismos físicos a través de los cuales, la materia orgánica afecta la estabilidad de los agregados son complejos. La estabilidad de los agregados es controlada por dos factores opuestos: el desarrollo de tensión dentro del espacio poroso de los agregados durante el humedecimiento, debido a la compresión del aire atrapado y a las fuerzas de unión entre partículas.

Los cambios en la estabilidad de los agregados han sido atribuidos a los cambios en las cantidades de varias fracciones orgánicas; tales como la materia orgánica particulada (MOP), incluyendo raíces e hifas de hongos, polisacáridos y lípidos. Estos materiales son considerados lábiles y representan únicamente una fracción del contenido de carbono orgánico total. La fracción de macroagregados (>250 μm) es la más fuertemente influenciada por la fracción lábil de la MOS. Esta generalización es consistente con el modelo, que sugiere que, para la mayoría de los suelos la naturaleza de la MOS es la responsable de proporcionar estabilidad y varía con el tamaño de los agregados.

2.12. Porosidad total del suelo

La porosidad total raramente se ha medido de forma directa, normalmente se calcula de la densidad del suelo y la densidad de partícula.

2.12.1. Los poros su tamaño y distribución en el suelo

Poros de tamaños diferentes son a menudo agrupados en clases diferentes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación del tamaño de poro (Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, 1997).

Clase	Límites de clase Diámetro equivalente (μm)
Macroporos	>75
Mesoporos	30-75
Microporos	5-30
Ultramicroporos	0.1-5
Criptoporos	<0.1

Los poros $>30 \mu\text{m}$ incluyen bioporos; poros formados por contracción y rompimiento, poros entre los agregados del suelo, poros más grandes dentro de los agregados y pedos. Esta porosidad está incluida en la clase referida como porosidad estructural (Derdour *et al.*, 1993) o capacidad de aireación (Thomasson, 1978) y puede representar por lo mucho, una tercera parte de la porosidad total del suelo. Estos poros están influenciados por la textura y contenido de carbón orgánico y son muy sensibles al manejo. Los macroporos y en menor magnitud los mesoporos, son los menos estables de todas las clases de poros y tienden a colapsarse cuando son sometidos a un estrés.

El volumen de la fracción de los poros $>30 \mu\text{m}$ y la continuidad o conectividad de estos poros tiene una mayor influencia sobre el flujo de agua y solutos (Ahuja *et al.*, 1993), aireación (Thomasson, 1978), un rango de características mecánicas del suelo (Carter, 1990a) y sobre el desarrollo de raíces (Jakobsen y Dexter, 1988). A un potencial del agua cercano a cero (la mayoría de estos poros están llenos de agua), el flujo de agua y solutos, primeramente ocurre en mesoporos y macroporos. Estos poros drenan rápidamente y el aire del suelo es redistribuido en el suelo, la aireación es reforzada. La macroporosidad y la mesoporosidad representan zonas de fracturas

de baja tensión y como resultado de la reducción en la fracción del volumen, resulta un incremento en las fuerzas de tensión y resistencia a la penetración.

Poros con diámetro equivalente de 0.1-30 μm ., se refieren a menudo a poros almacenadores e incluyen a la fracción del volumen de poros que definen el agua que es potencialmente disponible para las plantas (Veihmeyer y Hendrickson, 1927). Estos poros, también proporcionan un hábitat para microorganismos y pequeña fauna del suelo. Microporos y ultramicroporos son fuertemente influenciados por la textura y contenido de materia orgánica pero, no son fuertemente influenciados por un incremento en la densidad de la masa como consecuencia del tráfico de la maquinaria u otro tipo de alteración (da Silva y Kay, 1997a).

Poros $<0.1 \mu\text{m}$., son menos influenciados por el manejo, que cualquier otra clase de poros. Aunque estos poros permanecen llenos de agua por mucho tiempo que otra clase de poros, solamente una pequeña proporción de agua en estos poros está disponible para las plantas y la relación del flujo del agua a través de ellos es muy baja. Estos poros permanecen biológicamente inactivos por mucho tiempo porque en ellos no pueden penetrar las raíces de las plantas o la mayoría de los microorganismos, siendo accesibles únicamente a productos secundarios formados por la actividad biológica. La relativa inaccesibilidad a este tipo de poros por los microorganismos, puede deberse a una de sus principales funciones a saber, la protección física del carbono orgánico.

2.12.2. La materia orgánica y su efecto en la porosidad del suelo

Se ha encontrado que la porosidad total en suelos, generalmente se incrementa con el aumento en el contenido de carbono orgánico (Schjønning *et al.*, 1994). La naturaleza dinámica de poros, con diámetro equivalente $>30 \mu\text{m}$ (macro o

mesoporosidad), suelen tener una baja correlación con el contenido de MOS y (Thomasson y Carter, 1992). La influencia de esta clase de poros es más notoria donde existe menor variación en la textura, mineralogía y condiciones de manejo.

El papel del contenido de carbono en poros con diámetro de 0.1-30 μm (micro y ultramicroporos) ha sido subestimado. Resultados de estudios de sitios específicos (Emerson, 1995), han mostrado un incremento en el volumen de poros de 0.2-30 μm ., con la aplicación de 1-10 mL g^{-1} de carbono orgánico. Sin embargo, Anderson *et al.* (1990) encontraron que, con el incremento de carbono orgánico debido a la adición anual de estiércol a un suelo montmorillonítico por 100 años, se incrementó el volumen de la fracción de poros $>25 \mu\text{m}$ y el volumen de la fracción de poros 5-25 μm decreció, sugiriendo que la última clase de poros puede ser menos sensible al incremento de carbono orgánico en suelos que son dominados por la expansión de minerales arcillosos.

2.13. El humus del suelo

El humus del suelo, se refiere a los materiales orgánicos que permanecen en el suelo, después de la extracción de la fracción soluble en agua y la exclusión de materiales orgánicos particulados (Figura 8).

El humus consiste de una mezcla de sustancias húmicas y biomoléculas no húmicas. En suelos alcalinos y neutros, el humus domina la fracción orgánica, debido a la descomposición rápida de los restos de plantas por la fauna y microorganismos del suelo. En suelos ácidos, los fragmentos de plantas pueden tener una gran contribución a la fracción orgánica del suelo; sin embargo, el humus representa una fracción importante y puede contribuir significativamente en los

procesos del suelo como podzolización y disolución mineral (Figura ¿?) (Baldock y Nelson, 2000).

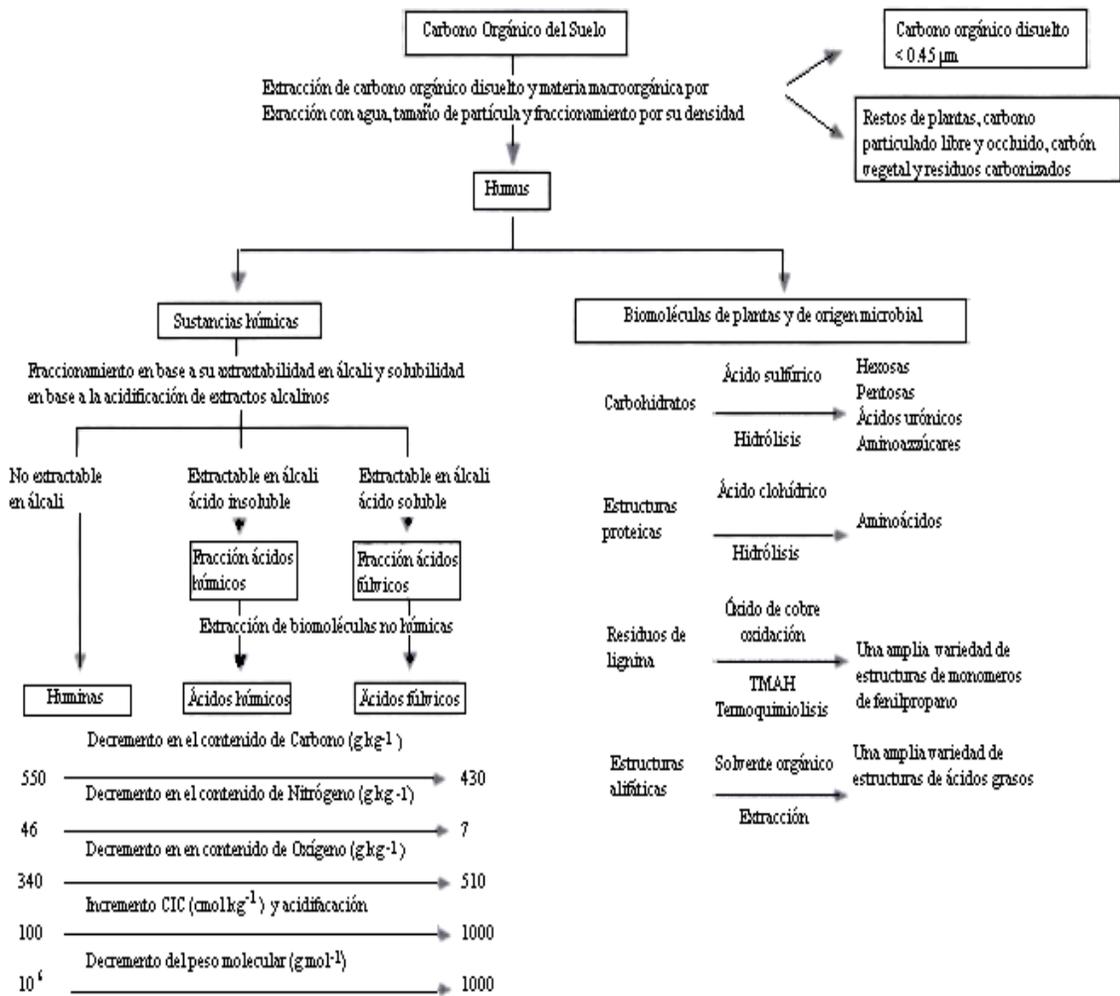


Figura 8. Fraccionamiento de la materia orgánica en base a sus propiedades físicas y químicas (modificado de Oades, 1989).

La MOS es generalmente dividida en dos grupos designados como sustancias no húmicas y sustancias húmicas (SH) (Scheffer y Ulrich, 1960; Felbeck, 1965; Schnitzer y Khan, 1972; Stevenson, 1982). El grupo de las sustancias no húmicas comprende compuestos orgánicos químicamente reconocibles y no son únicas del suelo. Estos compuestos orgánicos incluye: polisacáridos y carbohidratos simples, amino azúcares, proteínas y aminoácidos, grasas y ceras, resinas, pigmentos,

ácidos nucleicos, hormonas y una variedad de ácidos orgánicos. La mayoría de éstas sustancias son relativa y fácilmente degradables, y pueden ser utilizadas por los microorganismos del suelo, y por lo tanto tienen una existencia temporal en el suelo. En contraste, las sustancias húmicas comprenden una mezcla heterogénea de macromoléculas sin identificar y otras que son también fácilmente identificables y sintetizadas en el suelo; son relativamente resistentes a la degradación química y al ataque de los microorganismos (Stevenson, 1982). Hoy se sabe un poco más que hace un cuarto de siglo atrás.

Las sustancias húmicas son la mayor parte generalizada y presente en forma natural de materiales orgánicos no vivos en los ambientes terrestres y acuáticos y representan una proporción significativa del carbono orgánico total en el ciclo global del carbono (Stevenson, 1994).

Las sustancias húmicas comprenden una mezcla física y químicamente heterogénea, frecuentemente de naturaleza biogénica, de peso molecular relativamente alto, de color amarillo a negro, amorfa, coloidal, de polielectrolitos orgánicos dispersados mezclados con grupos de naturaleza alifática y aromática, formados por reacciones de síntesis secundaria (humificación) durante los procesos de descomposición y transformación de biomoléculas (Stevenson, 1982).

Basados en su solubilidad en ácidos y álcalis, las sustancias húmicas pueden ser divididas en varias fracciones: (1) ácidos húmicos (AH), la porción que es soluble en una solución alcalina diluida y es precipitada en un medio ácido a pH de 2; (2) ácidos fúlvicos (AF), la porción que es soluble en cualquier valor de pH, incluso debajo de 2; (3) huminas, la parte insoluble en medios alcalinos y ácidos; y (4) ácidos himatomelánicos, la porción soluble en alcohol de los AH. El fomento de la

separación en más fracciones analíticamente definidas son reportadas (Stevenson, 1982).

2.14. Extracción de las sustancias húmicas (SH)

Se han propuesto cuatro criterios generales como solventes para las SH (Whitehead y Tinsley, 1964): (1) una polaridad alta y una constante dieléctrica alta para contribuir en la dispersión de las moléculas cargadas; (2) un tamaño molecular pequeño para penetrar dentro de las estructuras húmicas; (3) la capacidad para afectar las uniones de hidrógeno existentes y proporcionar grupos alternativos para formar uniones húmico-hidrógeno solvente; y (4) la capacidad para inmovilizar cationes metálicos.

De acuerdo con Stevenson (1982 y 1994), el método de extracción ideal debe cumplir con los siguientes objetivos: (1) conducir al aislamiento de materiales inalterados; (2) las SH extraídas deben estar libres de contaminantes inorgánicos, tales como arcilla y cationes polivalentes; (3) la extracción es completa, si de este modo, la representación de las fracciones se encuentra en el rango total del peso molecular; y (4) que el método sea universalmente aplicable a todos los suelos.

Se han utilizado sales de sodio y potasio como los extractantes más selectivos para las SH. Una solución 0.1 mol l^{-1} de pirofosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) es la más ampliamente usada y con esto, más de 30% de HS es recuperado.

2.14.1. Fraccionamiento basado en su solubilidad

La modificación del pH es la técnica más usada para el fraccionamiento crudo de las SH extraídas del suelo por solventes alcalinos. Las fracciones principales obtenidas, incluyen: AH, soluble en álcali, insoluble en ácido (precipitado sobre un

ajuste de $\text{pH} \approx 1$); AF, soluble en álcali, soluble en ácido; Humina, insoluble en álcali y en ácido.

Se han utilizado también solventes orgánicos, sales y iones metales para promover la separación de AH y AF en subfracciones. Por ejemplo, los AH pueden ser extractados con etanol para obtener su fracción de etanol- soluble, llamado ácido himatomelánico (Oden, 1919). También se han utilizado Acetona, metanol, metilisobutilketona y éter dietil para fraccionar las SH.

2.15. Relación E_4/E_6

La relación de absorbancia de 465 y 665 nm, es referida como la relación E_4/E_6 y ha sido usada ampliamente para propósitos de caracterización. La relación E_4/E_6 para ácidos húmicos son usualmente <5.0 ; para los ácidos fúlvicos el rango es de 6.0-8.6 (Schnitzer, 1971). De acuerdo con Chen *et al.*, (1977) el mejor procedimiento para la determinación de la relación E_4/E_6 es disolver de 2-4 mg de ácido húmico o fúlvico en 10 ml de 0.05N NaHCO_3 , los cuales dan un pH óptimo para las mediciones de absorbancia (longitud de onda de 465 y 665 nm).

Las relaciones E_4/E_6 decrecen con el incremento del peso molecular y condensación y se ha utilizado como índice de humificación. De este modo, una relación baja puede ser indicativo de un grado relativamente alto de condensación de constituyentes aromáticos; en cambio, una relación alta refleja un grado bajo de condensación aromática e infiere estructuras más alifáticas. En un estudio realizado, Chen *et al.* (1977) concluyeron que, las relaciones E_4/E_6 de ácidos húmicos y fúlvicos son determinados por el contenido de grupos carboxil (COOH) y los contenidos de carbono y oxígeno.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

El objetivo general del presente estudio fue evaluar si había diferencias en las propiedades físicas y químicas de suelos con diferentes manejos previos (orgánico cultivado con especies anuales, cultivado con alfalfa por 5 años sin movimiento del suelo, convencional cultivado con varias especies) que a partir del año 2002 se sometieron a dos sistemas de laboreo (laboreo mínimo y laboreo convencional ambos cultivados con maíz), así como investigar la variación del contenido de carbono orgánico en la fracción mineral 50 y 250 μm como consecuencia de su redistribución ocasionada por el manejo y laboreo. También, evaluar la respuesta de las variables del cultivo de maíz en parcelas que tenían diferente historial de manejo (orgánico, alfalfa y convencional) sometidas a laboreo convencional y mínimo.

3.1.1. Objetivos específicos:

3.1.1.1. Evaluar la variación que experimentan las siguientes propiedades físicas y químicas de suelos que tenían diferente historial de manejo (orgánico, alfalfa y convencional): contenido de carbono orgánico, densidad aparente, porosidad total, pH, distribución de agregados en seco y diámetro medio ponderado en las profundidades 0-15 y 15-30 cm del suelo, como resultado de la redistribución de carbono orgánico histórico provocada por el laboreo (convencional y mínimo).

3.1.1.2. Determinar el contenido y distribución de carbono orgánico, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, relación AH/AF, relación E_4/E_6 para ácidos húmicos y relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en los microagregados de la fracción 50 y 250 μm en agregados en las mismas profundidades anteriores.

3.1.1.3. Evaluar la respuesta de las variables altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y materia verde del cultivo de maíz: en parcelas que tenían diferente historial de manejo (orgánico, alfalfa y convencional) sometidas a laboreo convencional y mínimo.

IV. HIPÓTESIS

4.1. El contenido de carbono orgánico, densidad aparente, porosidad total, pH, distribución de agregados en seco y diámetro medio ponderado son afectados por la redistribución de carbono orgánico según el suelo haya sido sometido al manejo orgánico, donde hubo alfalfa por 5 años y convencional. Además al laboreo convencional o mínimo a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm.

4.2. El manejo previo del suelo a que ha sido sometido como el orgánico, donde hubo alfalfa por 5 años y convencional, hacen que el contenido de carbono orgánico, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, relación AH/AF, relación E_4/E_6 para ácidos húmicos y la relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos de los microagregados de 50 μm difieran entre ellos, a las profundidades arriba mencionadas.

4.3. En microagregados de 250 μm , su contenido de carbono orgánico, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, relación AH/AF, relación E_4/E_6 para ácidos húmicos y la relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos, son afectados por: el manejo orgánico, donde hubo alfalfa y convencional, y los laboreos convencional y mínimo, a las profundidades mencionadas.

4.4. Las variables del cultivo de maíz: altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y materia verde son influenciadas por los manejos: orgánico, donde hubo alfalfa y convencional y los laboreos convencional y mínimo.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación y características del sitio experimental

El experimento se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, que se ubica en el área de Texcoco, entre 19°22' 00" y 19°35' 27" LN y 98°56' 44" LW (Macedonio, 1998), con una altitud cercana a los 2250 m.s.n.m. El clima del área es C (wo) (w) b (i'); templado subhúmedo, con una precipitación media anual de 650 mm y un régimen de lluvias en verano. La temperatura media anual es entre 12 y 18° C, con oscilación térmica entre 5 y 7° C.

Los suelos de esta zona se formaron de depósitos lacustres aluviales. El relleno aluvial de la cuenca, está estratificado con lavas y tobas que indican cuatro ciclos de erupción (INEGI, 1981).

Como la mayoría de los suelos del Valle de México son profundos, de textura fina a gruesa, con fases salinas y sódicas inundables (Ortíz y Cuanalo, 1977). Los suelos del sitio experimental corresponden a la serie Chapingo, que presenta colores pardos, con un estrato superficial de texturas medias, pero conforme se profundiza aumenta el contenido de arcilla y finalmente aparece un estrato con texturas gruesas. Tiene alta capacidad de retención de humedad, su reacción es de muy ligeramente ácida a muy ligeramente alcalina, con contenido medio de materia orgánica. Su fisiografía es de terrenos planos o con pendientes muy ligeras; la serie esta constituida por materiales aluviales, que no tienen un desarrollo pedogenético propio de los suelos formados "in situ", sino de materiales transportados por las corrientes fluviales de los ríos Texcoco y Chapingo que fueron depositados en las playas y deltas del Lago de Texcoco (Martínez, 1990).

Para realizar la fase de campo se seleccionaron en la zona indicada tres sitios, con los siguientes manejos: (a) suelo con manejo orgánico, que había sido tratado con aplicaciones de estiércoles de bovinos, ovinos, conejos y restos de cultivos anuales por un período de 10 años y cultivado con cultivos anuales; (b) suelo que había sido cultivado con alfalfa y por un período de 5 años y que no se había laboreado durante ese periodo; y (c) suelo con manejo convencional cultivado con cultivos anuales, por un período de más de 30 años. Los sitios seleccionados tenían una superficie aproximada de 4,831.2, 735.0 y 3,802.4 m², respectivamente.

En cada uno de los sitios seleccionados se aplicaron dos tratamientos de laboreo que, se mencionan a continuación:

◆ *Laboreo convencional.* Incluyó: un barbecho, dos rastreos y la siembra. La parcela se sembró con maíz el 11 de junio de 2002, con una sembradora de labranza de conservación. No fue necesario aplicar riego, ya que la humedad del suelo fue adecuada para el establecimiento del cultivo. Al cultivo se le hicieron las siguientes labores culturales: una primera labor o escarda y una segunda labor o aporque. No se aplicó fertilizante alguno.

◆ *Laboreo mínimo.* La alteración del suelo en este sistema fue mínima, sólo se practicaron dos rastreos, previos a la siembra. Ésta se llevó a cabo el 11 de junio del año 2002 con sembradora de labranza de conservación. El cultivo se estableció en el periodo de lluvias, por lo tanto no fue necesario regarlo. Tampoco, se aplicó fertilizante alguno.

5.2. Tamaño de las unidades experimentales

El tamaño de las unidades experimentales no fue el mismo en todos los casos. Para su definición se tomó en cuenta el área total disponible en cada

circunstancia y los requerimientos específicos de tratamientos de laboreo convencional y laboreo mínimo que se aplicaron en los sitios antes mencionados.

En todos casos, se sembró maíz variedad halcón de la casa Asgrow, considerada como una variedad de ciclo corto. La densidad aproximada de siembra fue de 60,000 plantas por hectárea.

Las dimensiones de la unidad experimental con historia previa de agricultura orgánica, con tratamiento laboreo convencional y mínimo fueron: 24.4 m x 102.0 m, con una superficie de 2,489 m², y 24.4 m x 96.0 m, con una superficie de 2,342 m², respectivamente. En cada una se establecieron 28 surcos, distanciados 0.80 m entre si.

Las dimensiones de la unidad experimental con alfalfa por 5 años con tratamiento de laboreo convencional y mínimo fueron: 7.5 m x 50.0 m, con una superficie de 375.0 m² y 9.0 m x 40.0 m, con una superficie de 360.0 m², respectivamente. En cada uno se establecieron 10 surcos, distanciados 0.80 m entre si.

Las dimensiones de la unidad experimental con manejo convencional con tratamiento de laboreo convencional y mínima fueron: 19.6 m x 97.0 m con una superficie de 1,901.2 para cada uno. Se establecieron 25 surcos distanciados 0.80 entre si.

5.3. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó para la evaluación del trabajo fue factorial 3x2, en donde se evaluaron el factor historial de cultivo: orgánico, alfalfa y convencional. Los niveles en cada factor fueron los sistemas de laboreo: convencional y mínimo.

Como repeticiones se consideraron los muestreos que se hicieron en el tiempo de: las propiedades físicas, químicas y para los tamaños de agregados de 50 y 200 μm . Además, para las variables del desarrollo del cultivo, se realizaron los análisis de varianza y las comparaciones de medias utilizándose el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, versión 1998), de propiedades físicas y químicas, microagregados de 50 y 250 μm , interacción manejo-profundidad y variables del desarrollo del cultivo a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm.

5.4. Muestreo

En cada una de las parcelas con un historial de manejo previo (3 manejos) y cada uno de los tratamientos de laboreo (convencional y mínimo). Se realizaron cuatro muestreos de suelo (11 de junio, 9 de julio, 15 de julio y 30 de octubre del 2002) en dos incrementos de profundidad: 0-15 y 15-30 cm. De cada muestreo, se obtuvo una muestra compuesta de 16 submuestras, que se tomaron en zigzag, cada submuestra tuvo un peso aproximado de 1kg. La muestra obtenida de cada sitio de muestreo se mezcló y se homogenizó sobre un plástico. Por último se procedió a cuartear para obtener una mezcla compuesta de 3 kg de cada parcela y de cada uno de los tratamientos.

5.5. Evaluación de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm

Entre las propiedades físicas y químicas propuestas para ambas profundidades se encuentran:

5.5.1. Densidad aparente

Se define como la cantidad de masa de sólidos que existe por unidad de volumen total del suelo, esto es el volumen que ocupan los sólidos y poros. Esta

característica varía con el manejo, principalmente el sistema de labranza y el contenido de materia orgánica. Se determinó por el método de la parafina, en el que la densidad aparente de los terrones o de las unidades estructurales de suelo, se puede calcular a partir de su masa y volumen (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

5.5.2. Densidad real

Se refiere a la cantidad de masa de sólidos que existe por unidad de volumen. Este parámetro es útil para la determinación de los porcentajes granulométricos (textura) y de la porosidad total. Para determinar esta propiedad se utilizó el método del picnómetro (Blake y Hartge, 1986).

5.5.3. Determinación del carbono orgánico del suelo a partir del contenido de la materia orgánica

El contenido de la materia orgánica del suelo se determinó por el método de Walkley y Black (1947) basado en la oxidación de la materia orgánica del suelo con un exceso de solución de dicromato de potasio- $K_2Cr_2O_7$ (agente oxidante) y la determinación de dicho exceso por medio de una titulación con una solución de sulfato ferroso de normalidad conocida (agente reductor). Para la determinación del carbono orgánico del suelo a partir del contenido de la materia, se utilizó la siguiente fórmula:

$$M.O = C.O. \times 1.724$$

donde:

M.O = Materia orgánica (%).

C.O. = Carbono orgánico del suelo (%).

1.724 = Factor de conversión, que considera que 58% de la materia orgánica del suelo es carbono.

5.5.4. Textura

Se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986).

5.5.5. pH del suelo

Se determinó con el método del potenciómetro (Kaúrichev, 1984). La medición se realizó en muestras compuestas de suelo, con una relación de suelo:agua de 1:2. Su clasificación se muestra en Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de suelos por su pH (Jones y Wolf, 1984).

Escala del pH del suelo	Categoría
<5.5	Muy ácido
5.6-6.0	Acido
6.1-6.5	Ligeramente ácido
6.6-7.3	Neutro
7.4-8.3	Alcalino
>8.4	Fuertemente alcalino

5.5.6. Distribución de agregados en seco

La distribución del tamaño de los agregados se realizó por el método de tamizado en seco propuesto por Yoder (1936), que consiste en tomar una muestra de suelo inalterada (100 g) secada al aire y tamizada a través de una serie de mallas (de 4.75, 2.00, 1.0, 0.50 y 0.25 mm de diámetro) en las cuales se coloca un tamiz recipiente.

Le Bissonnais (1996) reportó elementos básicos para los rangos de interpretación de estabilidad de agregados como se mencionan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Rango para interpretar la estabilidad estructural con relación al diámetro medio ponderado (DMP).

DPM (mm)	Estabilidad estructural	DPM (mm)	Estabilidad estructural
>0.5	Inestable	>0.4	Muy inestable
0.5 – 1.5	Ligeramente estable	0.4 – 0.8	Inestable
1.5 – 3.0	Moderadamente estable	0.8 – 1.3	Medio
3.0 – 5.0	Estable	1.3 – 2.0	Estable
>5.0	Muy estable	>5.0	Muy estable

El arreglo estructural de estos agregados tiende a afectar la penetración del agua, el drenaje, la aireación y desarrollo de las raíces y por lo tanto la productividad del suelo. También el laboreo influye de manera favorable o desfavorable en los agregados del suelo.

Cálculos:

$$Msi = \frac{Mssi}{Mss} * 100$$

donde:

Msi = Agregados retenidos en el suelo (%).

Mssi = Masa de los agregados del suelo seco en cada tamiz (g).

Mss = Masa total del suelo seco (g).

Msi: Agregados retenidos en cada tamiz.

Xi: Promedio del diámetro de abertura del tamiz (mm).

5.5.7. Diámetro medio ponderado

Para expresar la distribución de tamaño de agregados, se aplicó el parámetro denominado diámetro ponderado medio (DPM), expresado por la siguiente fórmula:

$$DPM = \frac{[\sum (Msi * Xi)]}{\text{Peso de la muestra}}$$

donde:

DMP: Diámetro medio ponderado (mm).

5.6. Evaluación del contenido y distribución de carbono por efectos del manejo y laboreo en microagregados del suelo de las fracciones 50 y 250 µm por el método de combustión

Para la obtención de los microagregados se utilizaron tamices con mallas de 0.25 y 0.050 mm de diámetro, utilizándose el suelo del muestreo compuesto que se utilizó para las determinaciones de las propiedades físicas y químicas.

Se coloca una cápsula de porcelana a 375° C en la mufla por una hora; se abrió la puerta y se dejó enfriar hasta 150° C. Se trasladó la cápsula al desecador, se dejó enfriar durante 30 minutos y se taró. Se adicionó 5 g de suelo tamizado a 50 µm y 250 µm y secado en la estufa (105° C). Se colocó la cápsula con la muestra de suelo en la mufla y se elevó la temperatura lentamente hasta alcanzar 375° C, y se dejó calcinar la muestra toda la noche (16 h). Se apagó la mufla y se permitió que la temperatura bajara hasta 150° C. Se trasladó la cápsula a un desecador y se dejó por 30 minutos, por último se pesó hasta mg (Karla y Maynard, 1991).

Cálculos:

$$\%M.O. = \frac{P_{MSC} - P_{MSH}}{P_{MSH}} \times 100$$

donde:

% M.O. = porcentaje de MO estimada por pérdida de peso

PMSC = peso de la muestra sin calcinar

PMSH = peso de la muestra seca en la estufa.

Comentarios:

En éste método, la MO se oxidó por calentamiento a 375 °C y se estimó la pérdida de peso. Para la mayoría de procesos descriptivos es una estimación lo suficientemente precisa. El procedimiento no es adecuado para suelos calcáreos, pues la pérdida de peso puede incluir el carbono de los carbonatos. También, se

pueden perder grupos hidrófilos del agua y las arcillas, por combustionarse compuestos inertes de carbono y volatilizarse otras sustancias, aparte del material orgánico.

5.7. Evaluación del contenido y distribución de compuestos orgánicos por efectos del manejo y laboreo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en base a su solubilidad

Como ya se mencionó en el punto 5.6, para la obtención de microagregados se utilizaron tamices con mallas de 0.25 y 0.050 mm de diámetro.

Su extracción (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) se realizó con pirofosfato de sodio ($\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) e hidróxido de sodio (NaOH) que reaccionan con Ca, Fe y Al formando precipitados muy estables y se liberan las sustancias húmicas solubles en forma de sales sódicas. Las propiedades de solubilidad a diferentes pH permitieron su fraccionamiento en ácidos húmicos (AH) a pH inferior a 2.0, los cuales son insolubles y precipitan, a diferencia de los ácidos fúlvicos (AF) que son solubles a cualquier valor de pH. El contenido de C orgánico total se determinó por el método de Walkey y Black (1947) y se empleó un blanco de reactivos. Los cálculos para su determinación son:

$$\% \text{ C (AH+AF)} = (NV - N_1V_1) * (200/\text{g} * \text{alícuota}) * 0.003 * 1.1 * 100$$

donde:

V = Mililitros de sal de Mohr empleados en la valoración del blanco de reactivos.

N = Normalidad de sal de Mohr empleada en la valoración del blanco de reactivos.

V_1 = Mililitros de sal de mohr empleados en la valoración de la muestra.

N = Normalidad de la sal de mohr.

200 = Mililitros de la solución extractora.

g = Cantidad de la muestra de suelo (g).

0.003 = Miliequivalente del carbono.

1.1 = Factor de corrección para llevar al 100% (el poder de extracción del pirofosfato es solo del 90%).

$$\% C (AH) = (NV - N_1V_1) * (200 * V_2 / g * \text{alícuota}_1 * \text{alícuota}_2) * 0.003 * 1.1 * 100$$

donde:

V = Mililitros de sal de Mohr empleados en la valoración del blanco de reactivos.

N = Normalidad de sal de Mohr empleada en la valoración del blanco de reactivos.

V₁ = Mililitros de sal de mohr empleados en la valoración de la muestra.

V₂ = Mililitros de volumen total de disolución con NaOH 0.05 N.

N = Normalidad de la sal de mohr.

200 = Mililitros de la solución extractora.

g = Cantidad de la muestra de suelo (g).

0.003 = Miliequivalente del carbono.

1.1 = Factor de corrección para llevar al 100% (el poder de extracción del pirofosfato es solo del 90%).

De acuerdo con Pujola (1989), el Cuadro 4 muestra las relaciones entre los diferentes componentes húmicos de los suelos y su interpretación para un determinado método analítico y tipo de suelo.

Cuadro 4. Clave de diagnóstico de la composición húmica de los suelos.

Parámetro	Niveles y evaluación
% CAH	. Valores normales superiores 0.15%. . Contenidos inferiores pueden indicar: <ul style="list-style-type: none"> - Suelos empobrecidos. - Falta de evolución. - Evolución exagerada de los compuestos orgánicos.
% CAF	. Valores normales entre 0.10 y 0.30%. . Valores inferiores indican suelos empobrecidos. . Valores superiores indican mala evolución.
% CHUM	. Valores normales entre 0.5 y 3.0%. . Valores normales CHUM/CTOTAL entre 40-70%.
% CnH	. Carbono correspondiente a la MOS no humificada, complementario al grado de humificación.
Índice de polimerización	. Valores normales superiores a 1
C AH/AF	. Valores inferiores pueden indicar: <ul style="list-style-type: none"> - Aportes recientes de materia orgánica. - Mala evolución (razones edáficas y de manejo).
Índice de estabilidad estructural de las SH	. Cuanto más alto mejor (si CAH y CAF es correcto). . Valorar más su evolución que su valor absoluto.
Chum/CAH + CAF	

...continuación Cuadro 4. Clave de diagnóstico de la composición húmica de los suelos.

Grado de humificación	. Valores normales entre 65 y 92%
(CAH + CAF + Chum)/C ORG.TOTAL	. Valores inferiores pueden indicar: <ul style="list-style-type: none">- Los residuos orgánicos aportados no han tenido tiempo de evolucionar (muestreo incorrecto).- Mala evolución (razones edáficas y de manejo).
	. Valores altos indican: <ul style="list-style-type: none">- Suelos empobrecidos, sin aportes orgánicos.

5.8. Determinación de la relación E_4/E_6 de ácidos húmicos y fúlvicos en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm

La relación E_4/E_6 se determinó en muestras de los AH y AF extraídos y se midieron sus absorbancias a 465 y 665 nm con el espectrómetro de absorbancia atómica (Chen *et al.*, 1977).

5.9. Evaluación de la respuesta de las variables agronómicas del cultivo de maíz al manejo y laboreo

Para la evaluación de las variables agronómicas, se marcaron seis plantas al azar, sujetas a competencia completa en cada una de las parcelas con historial de manejo orgánico, donde hubo alfalfa y convencional con tratamientos aplicados de laboreo convencional y mínimo. Se realizaron tres tomas de datos en cada una de éstas plantas durante su desarrollo: la primera el 23 de agosto, la segunda el 11 de septiembre y la tercera el 6 de octubre. Las cuales se consideraron como repeticiones para realizar el análisis estadístico, cuyo diseño experimental fue un factorial 3 x 2. Las variables evaluadas se mencionan a continuación:

5.9.1. Altura de planta

Se consideró como altura de planta, aquella que alcanzaron las plantas marcadas, desde su base hasta la base de la hoja bandera.

5.9.2. Diámetro de tallo

Se midió con vernier en el punto localizado inmediatamente arriba donde se originan las raíces adventicias de las plantas marcadas. Con estos datos se obtuvo el diámetro promedio del tallo de las seis plantas marcadas por unidad experimental.

5.9.3. Área foliar

A las plantas marcadas se les estimó el área foliar de cada una de las hojas, usando el método propuesto por Montgomery, (1911), que consiste en medir el largo máximo, el ancho máximo y multiplicar su producto por 0.75. La suma de las áreas foliares de todas las hojas proporcionó el área foliar por planta. Posteriormente, se calculó el área foliar promedio de las seis plantas por cada unidad experimental.

5.9.4. Producción de materia verde

La producción final del cultivo de maíz se midió como biomasa, considerando toda la parte aérea (tallos, hojas y fruto). Por las características del trabajo, a esta variable no se le pudo realizar su análisis de varianza y solamente se mencionan los datos obtenidos.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El manejo del suelo y de los cultivos puede mejorar de forma importante el tiempo de residencia y el almacenamiento del carbono en el suelo (Buyanovski y Wagner, 1998).

Las prácticas de labranza se remontan a miles de años atrás y han estado dirigidas a proporcionar aireación al suelo y controlar las malezas. El aumento de la aireación del suelo y los fuertes disturbios a que es sometido son los principales factores que estimulan la mineralización de la materia orgánica por los microorganismos del suelo. Los últimos trabajos demuestran que la labranza juega un papel importante en la desprotección de la materia orgánica presente en macroagregados y en alguna medida en microagregados. Las prácticas de labranza han sido la causa general de la disminución de la materia orgánica de los suelos intensamente cultivados (Balesdent *et al.*, 2000).

6.1. Resultados de la evaluación de la variación de las propiedades físicas y químicas por efectos del manejo y laboreo del suelo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

Los resultados se muestran en los Cuadros 5 y 6 en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm., respectivamente.

Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del suelo en estudio a la profundidad de 0-15 cm.

Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Manejo Agrícola					
	Orgánico		Alfalfa		Convencional	
	Laboreo		Laboreo		Laboreo	
	Conven.	Mínimo	Conven.	Mínimo	Conven.	Mínimo
Carbono orgánico (%)	1.19	1.20	0.66	0.67	0.82	0.81
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.46	1.52	1.62	1.64	1.50	1.49
Densidad real (g cm ⁻³)	2.24	2.25	2.48	2.46	2.42	2.32
Porosidad total (%)	34.59	32.55	34.47	33.43	38.11	35.77
pH del suelo	7.37	7.24	6.84	6.47	6.59	6.69
Distribución de agregados en seco (mm)						
>6.35	24.16	28.46	20.52	25.16	11.95	15.41
6.35-4.76	4.92	6.03	5.80	4.57	2.89	3.42
4.76-3.36	9.87	11.62	9.63	9.95	5.26	7.28
3.36-2.0	13.02	14.43	12.68	9.79	8.09	10.62
2.0-1.0	10.00	10.74	8.80	6.75	7.17	8.41
1.0-0.5	23.97	18.83	17.08	14.45	21.05	21.56
0.5-0.25	5.62	4.11	7.42	7.21	10.64	9.44
<0.25	8.50	5.72	18.64	21.73	29.54	23.73
Diámetro medio ponderado (%)	2.82	3.26	2.60	2.75	1.59	1.99
Textura						
% Arena	20.0	17.0	53.0	57.0	37.0	29.0
% Limo	30.0	30.0	21.0	17.0	25.0	27.0
% Arcilla	50.0	53.0	26.0	26.0	38.0	44.0
* Clasificación textural	A	A	F-A-Arn	F-A	F-A-Arn	A

*

A = Arcilloso

F = Franco

Arn = Arenoso

Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas del suelo en estudio a la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Manejo Agrícola					
	Orgánico		Alfalfa		Convencional	
	Laboreo		Laboreo		Laboreo	
	Conven.	Mínimo	Conven.	Mínimo	Conven.	Mínimo
Carbono orgánico (%)	1.03	1.01	0.60	0.49	0.86	0.86
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.52	1.52	1.60	1.60	1.58	1.51
Densidad real (g cm ⁻³)	2.25	2.20	2.40	2.45	2.36	3.34
Porosidad total (%)	32.44	30.90	33.01	34.58	33.10	35.57
pH del suelo	7.47	7.16	6.85	6.56	6.65	6.84
Distribución de agregados en seco (mm)						
>6.35	27.18	33.33	15.72	18.49	12.92	19.15
6.35-4.76	5.55	8.05	4.27	3.91	3.12	3.58
4.76-3.36	11.98	14.44	8.39	7.66	7.11	7.32
3.36-2.0	14.24	14.86	13.31	10.99	10.04	9.38
2.0-1.0	10.66	9.55	10.65	8.59	8.29	7.44
1.0-0.5	19.06	13.85	20.18	20.72	21.54	19.39
0.5-0.25	4.51	2.57	8.22	8.83	10.14	9.20
<0.25	6.60	3.60	19.40	20.90	27.0	24.49
Diámetro medio ponderado (%)	3.14	3.81	2.17	2.43	1.76	2.19
Textura						
% Arena	18.0	17.0	53.0	53.0	38.0	27.0
% Limo	30.0	29.0	20.0	21.0	26.0	27.0
% Arcilla	52.0	54.0	27.0	26.0	36.0	46.0
* Clasificación textural	A	A	F-A-Arn	F-A-Arn	F-A	A

*

A = Arcilloso
 F = Franco
 Arn = Arenoso

6.1.1. Análisis estadístico de la variación de las propiedades físicas y químicas por efectos del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 0-15 cm

Los resultados del Cuadro 7 indican una respuesta significativa, principalmente del factor manejo, en las propiedades contenido de carbono orgánico, densidad aparente, porosidad total, distribución de agregados en seco en los tamaños >6.35, 6.35-4.76, 4.76-3.36, 3.36-2.0, 2.0-1.0, 1.0-0.5, 0.5-0.25, <0.25 y diámetro medio ponderado.

Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factores	
	Manejo	Laboreo
Carbono orgánico (%)	**	n.s.
Densidad aparente (g cm ⁻³)	**	n.s.
Porosidad total (%)	*	n.s.
pH del suelo	**	n.s.
Distribución de agregados en seco (mm)		
>6.35	**	n.s.
6.35-4.76	**	n.s.
4.76-3.36	**	n.s.
3.36-2.0	**	n.s.
2.0-1.0	**	n.s.
1.0-0.5	*	n.s.
0.5-0.25	**	n.s.
<0.25	**	n.s.
Diámetro medio ponderado (%)	**	n.s.

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$).

* Significativo ($\alpha < 0.05$).

n.s. No significativo.

Cuadro 8. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedad	Manejo			Laboreo	
	Orgánico	Alfalfa	Conven.	Conven.	Mínimo
Carbono orgánico (%)	1.19a	0.66c	0.81b	0.88a	0.89a
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.49b	1.63a	1.49b	1.54a	1.52a
Porosidad total (%)	33.57b	33.95b	36.94a	35.72a	33.91a
pH del suelo	7.31a	6.66b	6.64b	6.93a	6.80a
Distribución de agregados en seco (mm)					
>6.35	26.77a	22.84a	13.68b	19.18a	23.01a
6.35-4.76	5.94a	5.18a	3.15b	4.84a	4.67a
4.76-3.36	11.23a	9.79a	6.27b	8.58a	9.62a
3.36-2.0	14.19a	11.23b	9.36b	11.57a	11.61a
2.0-1.0	10.83a	7.77b	7.79b	8.96a	8.63a
1.0-0.5	21.86a	15.76b	21.30a	21.01a	18.28a
0.5-0.25	5.33b	7.31b	10.04a	8.20a	6.92a
<0.25	7.58c	20.19b	26.63a	19.20a	17.06a
Diámetro medio ponderado (%)	3.04a	2.67a	1.79b	2.33a	2.67a

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.1.2. Análisis estadístico de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 15-30 cm

Los resultados del Cuadro 8 indican que el factor principal que afectó las propiedades del suelo fue el manejo, en el contenido de carbono orgánico, densidad aparente, pH del suelo, distribución de agregados en seco con tamaños de >6.35, 6.35-4.76, 4.76-3.36, 3.36-2.0, 0.5-0.25, <0.25 y diámetro medio ponderado. Mientras, que el laboreo, únicamente afectó el pH del suelo.

Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factores	
	Manejo	Laboreo
Carbono orgánico (%)	**	n.s.
Densidad aparente (g cm ⁻³)	*	n.s.
Porosidad total (%)	n.s.	n.s.
pH del suelo	**	**
Distribución de agregados en seco (mm)		
>6.35	*	n.s.
6.35-4.76	**	n.s.
4.76-3.36	**	n.s.
3.36-2.0	**	n.s.
2.0-1.0	n.s.	n.s.
1.0-0.5	n.s.	n.s.
0.5-0.25	**	n.s.
<0.25	**	n.s.
Diámetro medio ponderado (%)	**	n.s.

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$).

* Significativo ($\alpha < 0.05$).

n.s. No significativo.

Cuadro 10. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto del manejo y laboreo del suelo en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedad	Manejo			Laboreo	
	Orgánico	Alfalfa	Conven.	Conven.	Mínimo
Carbono orgánico (%)	1.02a	0.54c	0.86b	0.83a	0.79a
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.52b	1.60a	1.54b	1.56a	1.54a
Porosidad total (%)	31.67a	33.80a	34.36a	32.87a	33.68a
pH del suelo	7.31a	6.70b	6.74b	6.99a	6.85b
Distribución de agregados en seco (mm)					
>6.35	30.25a	17.10b	16.03b	18.60a	23.66a
6.35-4.76	6.80a	4.09b	3.35b	4.31a	5.18a
4.76-3.36	13.21a	8.02b	7.21b	9.16a	9.80a
3.36-2.0	14.55a	12.15b	9.71b	12.53a	11.74a
2.0-1.0	10.11a	9.85a	7.86a	9.87a	8.68a
1.0-0.5	16.45a	20.45a	20.46a	20.26a	17.98a
0.5-0.25	3.54b	8.52a	9.67a	7.62a	6.86a
<0.25	5.10b	20.15a	25.74a	17.67a	6.33a
Diámetro medio ponderado (%)	3.47a	2.20b	1.97b	2.35a	2.74a

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.1.3. Análisis estadístico de la variación de las propiedades físicas y químicas del suelo en la interacción manejo x profundidad

El Cuadro 9 indica que las propiedades con efectos significativos en la interacción manejo-profundidad fueron: contenido de carbono orgánico, densidad aparente, porosidad total, pH del suelo, distribución de agregados en seco en los tamaños >6.35, 6.35-4.76, 4.76-3.36, 3.36-2.0, 2.0-1.0, 1.0-0.5, 0.5-0.25, <0.25 y diámetro medio ponderado.

Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza de la variación de las propiedades físicas y químicas del suelo en la interacción manejo x profundidad. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factor
	Interacción manejo-profundidad
Carbono orgánico (%)	**
Densidad aparente (g cm ⁻³)	**
Porosidad total (%)	**
pH del suelo	**
Distribución de agregados en seco (mm)	
>6.35	**
6.35-4.76	**
4.76-3.36	**
3.36-2.0	**
2.0-1.0	**
1.0-0.5	*
0.5-0.25	**
<0.25	**
Diámetro medio ponderado (%)	**

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$)

* Significativo ($\alpha < 0.05$)

n.s. No significativo

Cuadro 12. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos de la variación de las propiedades físicas y químicas del suelo en la interacción manejo x profundidad. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Manejo					
	Orgánico		Alfalfa		Convencional	
	Profundidad (cm)					
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
Carbono orgánico (%)	1.30a	1.02b	0.66de	0.52e	0.81cd	0.86bc
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.49b	1.52b	1.63a	1.60a	1.49b	1.54b
Porosidad total (%)	33.57b	31.67b	33.95b	33.80b	39.19a	34.36b
pH del suelo	7.31a	7.31a	6.66b	6.70b	6.64b	6.74b
Distribución de agregados en seco (mm)						
>6.35	26.93a	30.25a	22.84ab	17.01bc	13.68c	16.03bc
6.35-4.76	6.09ab	6.80a	5.18bc	4.12cd	3.15d	3.35d
4.76-3.36	11.36ab	13.21a	9.79bc	8.02cd	6.27d	7.21d
3.36-2.0	14.34a	14.55a	11.23bc	12.15ab	9.36c	9.71c
2.0-1.0	10.99a	10.11a	7.77c	9.85ab	7.80c	7.86bc
1.0-0.5	22.02a	16.45b	15.76b	20.45ab	21.30a	20.46ab
0.5-0.25	5.48cd	3.54d	7.31bc	8.52ab	10.04a	9.67ab
<0.25	7.73c	5.10c	20.19b	20.15b	26.63a	25.74ab
Diámetro medio ponderado (%)	3.04ab	3.47a	2.67bc	2.20cd	1.79d	1.97d

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.1.4. La textura del suelo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm

En el Cuadro 5 se muestran los contenidos de arcilla, limo, arena y las clases texturales de los suelos, sometidos a diversos manejos y laboreos a la profundidad de 0-15 cm. Para el suelo con manejo orgánico, laboreos convencional y mínimo, la textura es arcillosa (Figuras 9A, 9B), respectivamente. El suelo con manejo donde hubo alfalfa, con laboreo convencional y mínimo, su textura correspondió a un migajón-arcillo-arenosa (Figuras 10A, 10B), mientras que para el suelo bajo manejo

convencional con laboreos convencional y mínimo las texturas van de migajón-arcillosa hasta arcillosa (Figuras 11A, 11B), respectivamente.

En el Cuadro 6 se muestran contenidos de arcilla, limo, arena, así como las clases texturales de los suelos, sometido a diversos manejos y laboreos, a la profundidad de 15-30 cm. El suelo bajo manejo orgánico, con laboreos convencional y mínimo, la textura es arcillosa en ambos laboreos (Figuras 9A, 9B). El suelo con manejo donde hubo alfalfa, con laboreos convencional y mínimo, la textura es migajón-arcillo-arenosa en ambos laboreos (Figuras: 10A y 10B). El suelo con manejo convencional, en los laboreo convencional y mínimo las texturas van de migajón-arcillosa hasta arcillosa (Figuras 11A, 11B), respectivamente.

Los mayores contenidos de arcilla y limo y menor contenido de arena se presentaron en el suelo bajo manejo orgánico con laboreo convencional y mínimo en ambas profundidades de muestreo (Cuadros A4, A6). De acuerdo con Schimel *et al.* (1994) y Oades (1988), los suelos con altos contenidos de arcilla y limo tienen un efecto significativo en la acumulación de carbono orgánico por presentar, tanto mecanismos físicos como químicos en la protección del carbono orgánico a la descomposición por los microorganismos del suelo. Suelos con alto contenido de arena, como en los casos de los manejos donde hubo alfalfa y convencional, suelen presentar velocidades más altas de mineralización y niveles más bajos de carbono orgánico (Figuras: 12A, 12B), porque los mecanismos de protección son reducidos ó se encuentran ausentes. Aparte de la protección física del COS, que se da a través de la agregación la cual reduce la accesibilidad de los compuestos orgánicos a los microorganismos y enzimas, también existen, la protección química, dada por la formación de complejos órgano-mineral y la protección bioquímica a través de

moléculas orgánicas químicamente recalcitrantes (Sollins *et al.*, 1996; Jastrow y Miller, 1998) y que es referida como un pool pasivo (Parton *et al.*, 1987).

Otros trabajos, que han remarcado la importancia de la textura por afectar las cantidades de COS y la retención de la materia orgánica en el suelo, se encuentran los siguientes: Correlaciones lineares fueron encontradas entre la textura del suelo y el COS por Spain (1990) y Hassink (1994). Las diferencias en las velocidades de descomposición y cantidades de COS en varios suelos texturizados han sido atribuidas a diferencias en la protección física del COS, por ejemplo: residuos de cultivos adicionados al suelo se descomponen más rápidamente en suelos arenosos que en suelos arcillosos, por lo tanto, en estos últimos, la protección es mayor (Sørensen, 1981; Ladd, *et al.*, 1985). Jenkinson (1988) encontró que con el mismo ingreso de materiales orgánicos, los suelos arcillosos tienden a contener más materia orgánica que suelos arenosos. Liang *et al.* (1998) reportaron que la textura del suelo controla directamente la proporción de carbono de los residuos de cosechas contenido en los suelos. La agregación y textura determinan indirectamente el nivel de carbono retenido en el suelo por suprimir la actividad biológica (Hassink, 1996). El efecto de la estabilización ha sido atribuida a la adsorción de compuestos orgánicos sobre las superficies, tales como las partículas de arcillas (Oades, 1988) y encapsulación entre partículas de arcillas (Tisdall y Oades, 1982; Elliott y Coleman, 1988).

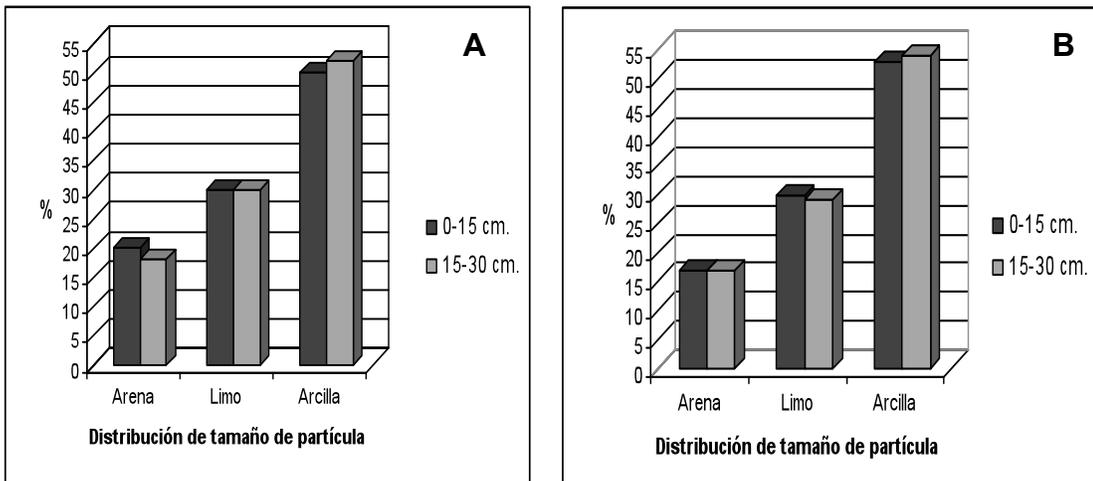


Figura 9. Manejo orgánico del suelo y distribución de tamaño de partícula: **(A)** laboreo convencional, suelo con textura arcillosa y **(B)** laboreo mínimo, suelo con textura arcillosa.

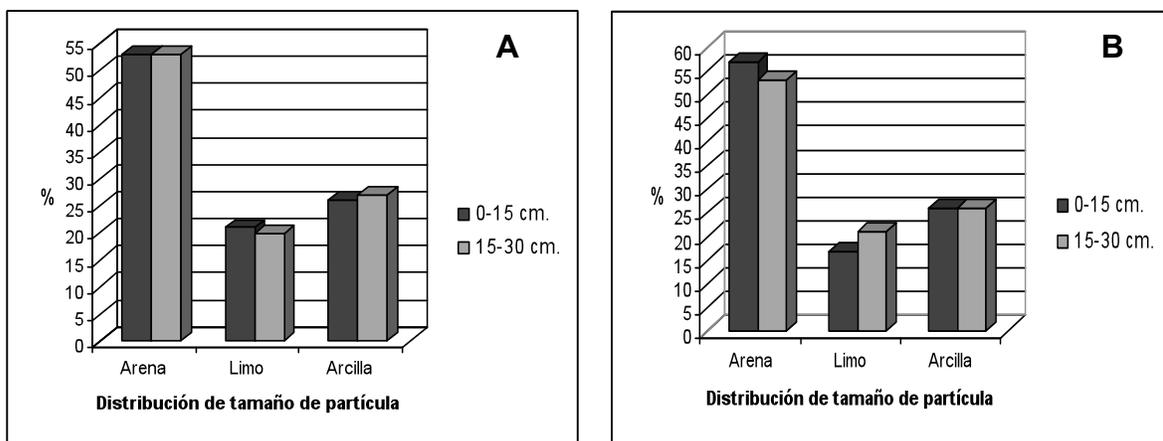


Figura 10. Manejo del suelo donde hubo alfalfa y distribución de tamaño de partícula: **(A)** laboreo convencional; suelo con textura migajón-arcillo-arenoso y **(B)** laboreo mínimo; suelo con textura migajón-arcillo-arenoso.

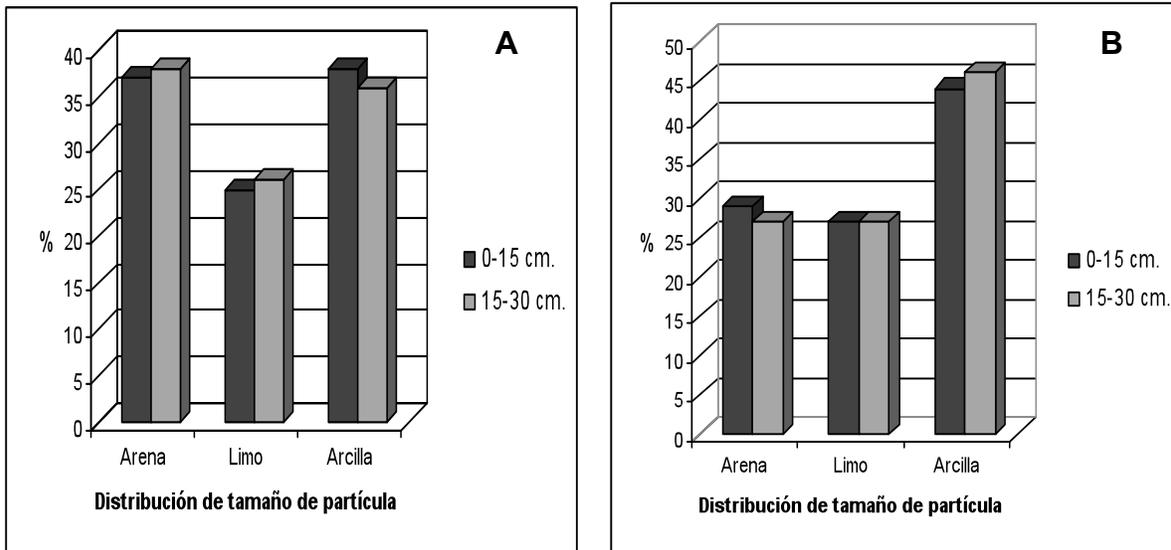


Figura 11. Manejo convencional del suelo y distribución de tamaño de partícula: **(A)** laboreo convencional; suelo con textura migajón- arcillosa y **(B)** laboreo mínimo; suelo con textura arcillosa.

6.1.5. Contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

El análisis de varianza para la variable COS, a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 7), el manejo presentó diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$); mientras que en el laboreo, sus valores no fueron estadísticamente diferentes. La prueba de comparación de medias ($\alpha \leq 0.05$), reflejó que los tres manejos fueron diferentes estadísticamente, en primer lugar, con mayor contenido de COS, el manejo orgánico (1.19%), en segundo el convencional (0.81%) y tercero donde hubo alfalfa (0.66%), los dos últimos, superados por el manejo orgánico (31.93% y 44.53%, respectivamente), (Cuadro 10, Figura 12A). El contenido de COS, en los laboreos convencional y mínimo no presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 10, Figura 12B).

El contenido de carbono orgánico, a la profundidad 15-30 cm, en el análisis de varianza (Cuadro 8), el factor manejo volvió a presentar diferencias altamente

significativas ($\alpha \leq 0.01$); mientras que el laboreo, estadísticamente no presentó diferencias. La comparación de medias ($\alpha \leq 0.05$), mostró al manejo orgánico con el mayor contenido de COS (1.02), seguido por el convencional (0.864) y por último donde hubo alfalfa (0.549). El manejo orgánico resultó superior al convencional (46.29%) y donde hubo alfalfa (46.17%), (Cuadro 11 y Figura 12A). El contenido de COS de los laboreos convencional y mínimo, estadísticamente no presentó diferencias (Cuadro 11, Figura 12B).

Los resultados anteriores, en ambas profundidades de muestreo, demuestran que el contenido de COS, dependió del manejo agronómico del suelo, dentro del cual se encuentra el manejo orgánico, con un mayor contenido de carbono, superando a donde hubo alfalfa y convencional, Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Jenny (1930), en que un factor adicional, aparte de los factores de formación del suelo, que influye en el contenido de COS, lo constituye el manejo agronómico. La materia orgánica estable y las concentraciones de COS pueden ser también relacionadas con el manejo del suelo a través de la labranza y la textura del mismo (Anderson y Paul, 1984; Becker-Heidmann y Scharpenseel, 1992). Camberdella (1998) al estudiar las fracciones de carbono orgánico encontró que estas son muy sensibles al manejo del suelo, debido a su composición compleja y heterogénea. Además, por su asociación con los minerales del suelo como puede observarse en las Figuras 9A, 9B, 10A, 10B, 11A, 11B de los resultados obtenidos en este estudio. Las prácticas de manejo, tales como la no labranza o labranza reducida promueve el mantenimiento y acumulación de COS y mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Kern y Johnson, 1993; Burke *et al.*, 1995; Paustian *et al.*, 1997; Hendrix *et al.*, 1998). La mayor cantidad de macroagregados obtenidos bajo no labranza, juegan un papel importante en la

reducción de las pérdidas de la MOS lábil, mientras que las prácticas de labranza al alterar los agregados, conducen a un aumento en la descomposición de la MOS (Six *et al.*, 1998).

El manejo de no labranza, el suelo no es arado y existe una acumulación de restos de cultivos sobre la superficie del suelo como mulch. Varios estudios han demostrado que si los residuos no son removidos, el manejo de no laboreo puede mejorar la agregación del suelo y reducir las pérdidas de la materia orgánica del suelo que resultan de los cultivos (Carter, 1992).

Cuando se laboreo el suelo, esto ocasiona el trastorno de los agregados y la pérdida de la materia orgánica del suelo (Kay, 1990). Bajo prácticas de labranza convencional, como el barbecho, rastreo y la labranza rotacional, traen como resultado la mezcla de los horizontes del suelo, la fragmentación y entierro de los restos de los cultivos. Estos efectos tienden a moderar las fluctuaciones de temperatura y agua en los restos enterrados e incrementar su proximidad a los nutrientes minerales por lo tanto mejorar la descomposición de los restos orgánicos y las transformaciones de la materia orgánica (Beare *et al.*, 1992).

El contenido de COS se vio afectado por el manejo además, de la profundidad, la cual está influyendo en su distribución vertical en el suelo. La interacción manejo-profundidad (Cuadro 9), presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$). La comparación de medias por DMS ($\alpha \leq 0.05$) mostró, que la distribución de COS en el manejo orgánico, tendió a disminuir conforme la profundidad se incrementaba; mientras que los manejos convencional y donde hubo alfalfa, estadísticamente fueron similares (Cuadro 12, Figura 12C).

Resultados parecidos fueron encontrados por Angers *et al.* (1997), quienes midieron las diferencias en el contenido de carbono orgánico en labranza reducida y labranza convencional por 11 años y concluyeron que, a pesar de que la mayoría de los suelos bajo labranza reducida tuvieron más carbono orgánico en los primeros 10 cm que bajo labranza convencional, esto fue compensado por contener menos carbono a profundidades más bajas. Los resultados anteriores pueden remarcar la importancia de muestrear a la mínima profundidad o más profundo en las prácticas de labranza, ya que ésta puede impactar en la cantidad y distribución del COS en las diferentes profundidades del suelo, como en este estudio y de Paustian *et al.* (1997). También, Ellert y Gregorich (1995) mencionaron la importancia de la profundidad de muestreo del suelo, para la evaluación del contenido de carbono, ya que éste ha variado ampliamente, dependiendo de la profundidad del cultivo, objetivos de estudio y duración, la profundidad de penetración de la raíz y espesor del suelo. Además, las concentraciones de carbono orgánico en la mayoría de los suelos, decrece con la profundidad, porque los ingresos de carbono (restos de plantas), generalmente se encuentran localizados en la superficie. Por lo tanto, el mayor contenido de materia orgánica se encuentra en los horizontes O que en los A, como en las praderas permanentes donde el contenido de MOS es mayor que en bosques.

Por último, a igualdad de condiciones, el contenido de MOS aumenta con la precipitación y disminuye al incrementarse la temperatura. En suelos mal drenados, la velocidad de mineralización es lenta, por lo que se presentan contenidos de materia orgánica mayores que los suelos bien drenados, siendo la turba un caso extremo de lentitud de la biodegradación (Porta *et al.*, 1999).

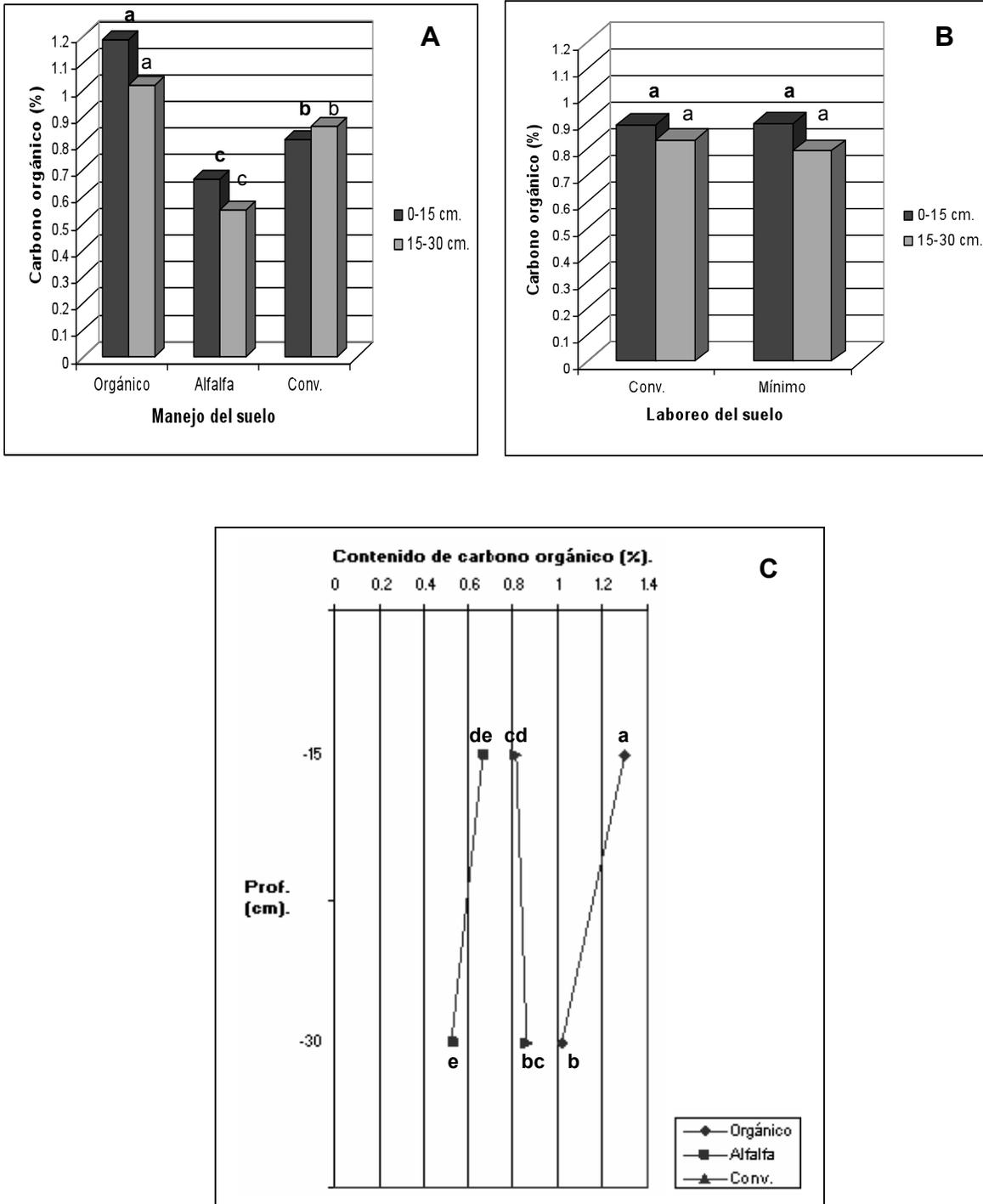


Figura 12. Contenido de carbono orgánico del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

6.1.6. Densidad aparente en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

La densidad aparente del suelo a la profundidad de 0-15 cm, en el análisis de varianza (Cuadro 7), el manejo presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$); mientras que el laboreo no resultó significativo. La prueba de comparación de medias por DMS ($\alpha \leq 0.05$), mostró al manejo donde hubo alfalfa, con diferencias estadísticas, comparado con el convencional y orgánico pero, entre éstos últimos, sin diferencias estadísticas. El manejo donde hubo alfalfa, presentó el valor más alto en la densidad (1.63 g cm^{-3}), comparado con el orgánico y convencional, cuyo valor para ambos fue de 1.49 g cm^{-3} , superados éstos últimos por el manejo orgánico (8.6%), (Cuadro A2 y Figura 13A). Los laboreo convencional y mínimo, no presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 10, Figura 13B).

La densidad aparente del suelo, a la profundidad de 15-30 cm, en el análisis de varianza (Cuadro 8), el manejo presentó diferencias estadísticas significativas ($\alpha \leq 0.05$); mientras que el laboreo no presentó diferencias estadísticas. La prueba de comparación de medias ($\alpha \leq 0.05$), mostró al manejo donde hubo alfalfa con diferencias estadística, comparado con el convencional y orgánico, cuyos valores fueron estadísticamente similares. El primero con el valor más alto en la densidad aparente (1.60 g cm^{-3}), seguido por el convencional (1.54 cm^{-3}) y por último el orgánico con el valor más bajo (1.52 g cm^{-3}), siendo superados éstos por el manejo donde hubo alfalfa (3.7 y 5.0%, respectivamente) (Cuadro 11, Figura 13A). El laboreo convencional y mínimo no presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 11, Figura 13B).

Los resultados anteriores, con respecto a la variable densidad aparente en ambas profundidades de muestreo, concuerdan con lo expuesto por Lal y Kimble,

(2001), quienes señalaron que uno de los factores que afectan la densidad aparente es el contenido carbono orgánico. Los resultados del Cuadro 10 a la profundidad de 0-15 cm, indican que los mayores contenidos de carbono orgánico se presentaron en el manejo orgánico (1.19%) y convencional (0.81%). Resultados similares se reportan en el Cuadro 11 (la profundidad de 15-30 cm), donde los mayores contenidos de COS fueron para el manejo orgánico (1.02%) y convencional (0.86%) y con los valores más bajos en la densidad aparente del suelo.

Aunque para Barber *et al.*, (1989), existen otros factores que pueden afectar la magnitud de las variaciones temporales y por lo tanto de la densidad aparente del suelo, como son: (a) el uso del suelo, que determina la cubierta vegetal, el grado y frecuencia de la alteración del suelo. La densidad de la capa laboreada es normalmente baja (inmediatamente después de la labranza) que la de suelos naturales o sin disturbio; (b) variación de la densidad del suelo con la estación, en muchos suelos cultivados, la densidad varía con la estación; (c) La labranza puede aflojar los suelos compactados y hacerlos extremadamente friables y sueltos; (d) incrementos de la densidad ocasionada por el tráfico vehicular y clima al momento de la cosecha; y (e) los métodos de labranza, manejo de residuos y sistemas de rotación de cultivos afectan la densidad del suelo a través de las alteraciones de la cubierta vegetal, incorporación de la biomasa en el suelo y naturaleza del sistema radical.

Algunas de las estrategias para reducir la densidad aparente del suelo son: el método de labranza, manejo de los residuos de cosecha y cultivos con un sistema radical apropiado (raíz principal) para aflojar el subsuelo (Hulugalle y Lal, 1986). La fauna del suelo también juega un importante papel en su influencia en la densidad del suelo. La biodisturbación a través de la actividad de lombrices de tierra, termitas

y otra fauna del suelo, mejoran la estructura del suelo y reducen la densidad (Lal, 1991).

De acuerdo con Hamblin, (1985) y Howeler *et al.* (1993), la labranza generalmente reduce la densidad del suelo. Sin embargo, en el presente estudio, la falta de efectos significativos en la densidad aparente por efecto de los métodos de labranza puede ser atribuida al fácil compactado natural del suelo, a las bajas concentraciones de carbono orgánico y a las insignificantes cantidades de residuos orgánicos.

El carbono orgánico del suelo tiene un impacto directo en la densidad del suelo donde la densidad de partícula de la materia orgánica es considerablemente más baja que la del material mineral. También, la materia orgánica del suelo es a menudo asociada con un incremento en la agregación y el desarrollo de poro permanente como resultado de la actividad biológica (Pikul y Zuzel, 1994; Franzluebbbers *et al.*, 2000).

La densidad aparente del suelo en la interacción manejo-profundidad, el análisis de varianza (Cuadro 9) mostró diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$). En la comparación de medias ($\alpha \leq 0.05$), las diferencias estadísticas en la densidad del suelo, se deben más al manejo del suelo como quedo demostrado en los resultados anteriores, que a la propia profundidad del mismo (Cuadro 12). Se puede observar en la Figura 13C, la tendencia hacia un incremento de la densidad en los manejos orgánico y convencional y a la disminución en el manejo donde hubo alfalfa, aunque sin diferencias estadísticas. Esto significa que la relación de estatificación de la densidad aparente del suelo fue más baja en la labranza convencional que bajo no labranza en todos los sistemas intensivos de cultivo.

La densidad es considerada un atributo negativo del suelo bajo la mayoría de las condiciones, sobre todo cuando la densidad alta limita la porosidad y subsecuentemente el movimiento del agua y desarrollo de las raíces de las plantas. Por lo tanto, una relación de estratificación más baja de la densidad del suelo podría mejorar la calidad del suelo.

Una de las principales razones para la labranza es aflojar el suelo para formar la cama de siembra y mejorar el desarrollo del sistema radical. La pérdida de esta característica del suelo a través de la estación de crecimiento, refleja la necesidad de frecuentes laboreos para restaurar esta condición perdida. La materia orgánica podría entre otras cosas mejorar la compactación del suelo (Franzluebbers, 2002a).

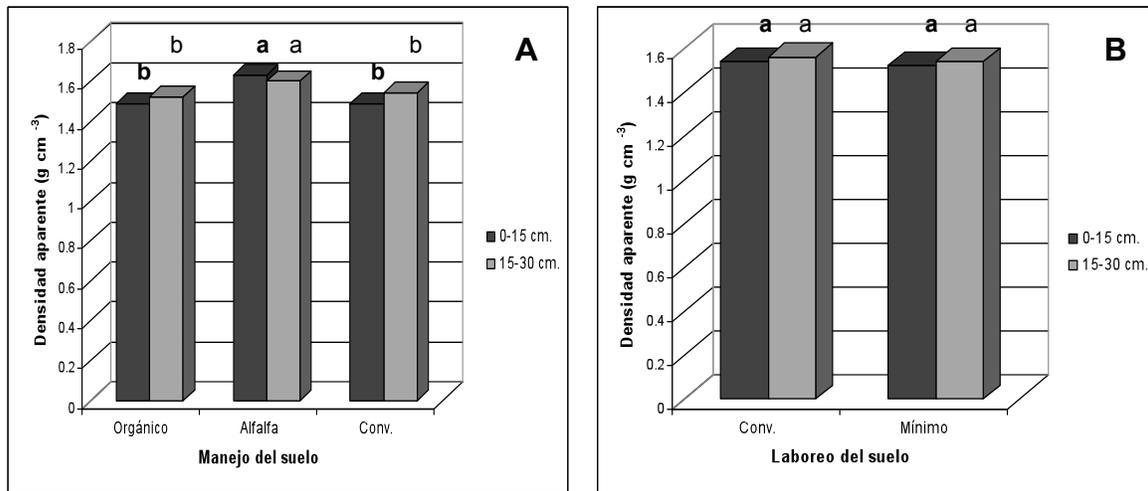


Figura 13. Densidad aparente del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo - profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

...continuación de la figura 13

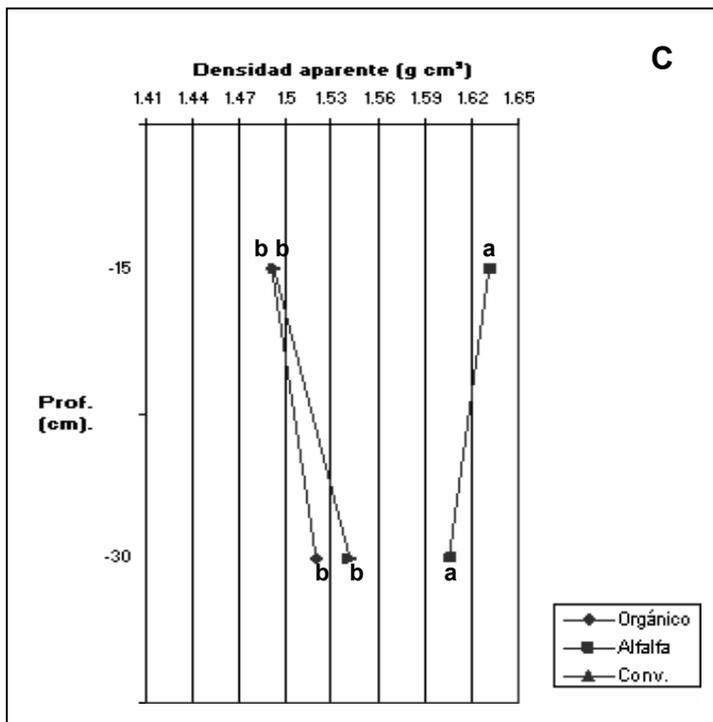


Figura 13. Densidad aparente del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo - profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

6.1.7. Porosidad total en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

Para la variable porosidad total del suelo a la profundidad de muestreo de 0-15 cm, en el factor manejo, el análisis de varianza ($\alpha \leq 0.05$), mostró diferencias estadísticas significativas, mientras que el laboreo no resultó significativo (Cuadro 7). De acuerdo con la comparación de medias ($\alpha \leq 0.05$), la porosidad total del suelo presentó diferencias estadísticas en el manejo convencional, comparada con el manejo donde hubo alfalfa y orgánico, cuyos valores fueron similares y sin diferencias estadísticas. El mayor porcentaje de porosidad, correspondió al manejo

convencional (36.94%) con respecto a donde hubo alfalfa y orgánico con valores similares (33.95 y 33.57%), respectivamente. El manejo convencional superó a donde hubo alfalfa y orgánico (8.09 y 9.12%) respectivamente (Cuadro A2 y Figura 14A). La porosidad del suelo en los laboreos convencional y mínimo no fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 10, Figura 14B).

El análisis de varianza y la comparación de medias para la porosidad total del suelo a la profundidad de 15-30 cm (Cuadros 8, 11) y (Figuras 14A, 14B), el manejo y laboreo no presentaron diferencias estadísticas. No obstante lo anterior, el manejo convencional presentó el mayor porcentaje en la porosidad (34.36%), seguido por donde hubo alfalfa (33.80%) y por último el orgánico (31.67%), superando el primero a los dos últimos (1.62 y 7.82%, respectivamente) (Cuadro 11, Figura 14A).

Los resultados anteriores, en ambas profundidades de muestreo, concuerdan con lo expuesto por Figueroa (1982), en el sentido de que la labranza afloja el suelo cercano al implemento, reduciendo notablemente la densidad aparente e incrementando la porosidad total del suelo, dando como resultado un incremento en las tasas de infiltración y aireación. El subsiguiente tráfico y fenómenos naturales como lluvia, viento e insolación tienden a recompactar el suelo hasta lograr cierto equilibrio. Baver *et. al.* (1980), Ortiz y Ortiz (1990) y Narro (1994) y señalan además, que las características de la Pt del suelo, dependen de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, tipo e intensidad de cultivo, labranza y otras características del suelo y su manejo. Hillel (1982) y Narro (1994) mencionaron que valores menores que 50% de Pt indican una alteración estructural, la cual se manifiesta en un bajo valor de su estabilidad; es decir, de un diámetro medio ponderado menor de los agregados, menor contenido de materia orgánica como lo encontrado en este estudio en los manejos convencional y donde hubo alfalfa.

También la porosidad total se ve afectada por el aumento de la D_a , debido a la compactación del suelo (Chávez, 1991). Dexter (1988) y Muñoz (1993) reportaron que el tránsito de animales, seres humanos y maquinaria agrícola sobre el terreno, reducen la porosidad total y el desarrollo de raíces.

Por otro lado, a largo plazo, la porosidad total tiende a ser mayor en el sistema de no laboreo que bajo labranza convencional, como resultado de las diferencias en la densidad del suelo (Franzluebbers, 2002b).

La porosidad total en la interacción manejo-profundidad (Cuadro 9) fue más afectada por el manejo convencional en ambas profundidades, con diferencias estadísticas significativas ($\alpha \leq 0.05$), mientras que los manejos donde hubo alfalfa y orgánico con valores similares en ambas profundidades no presentaron diferencias estadísticas. Por lo tanto, el manejo más afectado y con el porcentaje mayor en la porosidad del suelo correspondió al manejo convencional (Cuadro 12, Figura 14C).

De acuerdo con Franzluebbers (2002b), la estratificación de la porosidad como de la densidad aparente pueden estar más relacionadas de forma mecánica con la función de la infiltración que con la relación de la estratificación del carbono orgánico del suelo.

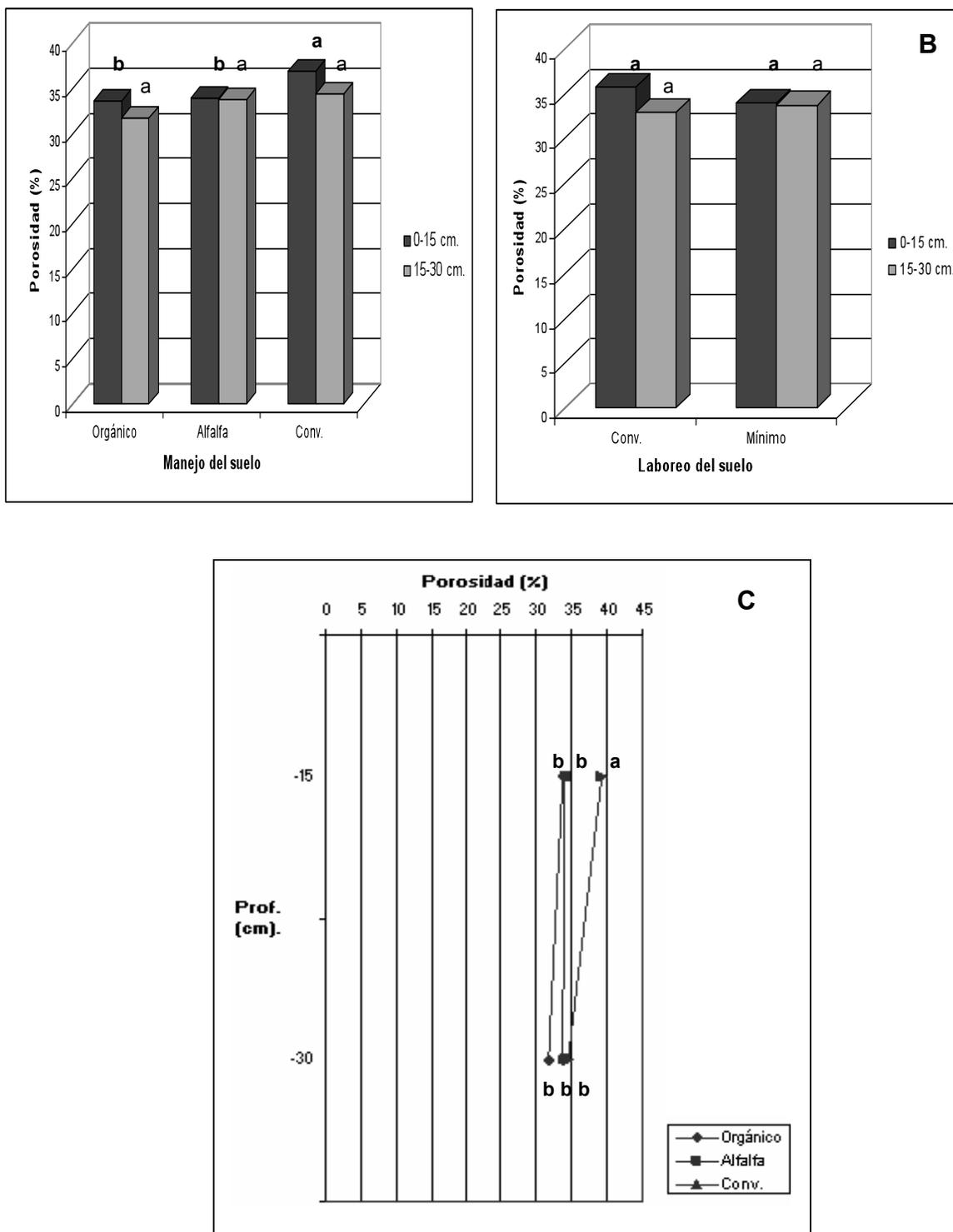


Figura 14. Porosidad total del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con las misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

6.1.8. pH del suelo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

El pH del suelo, a la profundidad de 0-15cm, el análisis de varianza (Cuadro 7), mostró que hay diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) en el manejo, mientras que el laboreo no fue significativo. De acuerdo con la comparación de medias ($\alpha \leq 0.05$), el manejo orgánico con un pH de 7.31 fue diferente estadísticamente al manejo convencional y donde hubo alfalfa, que presentaron valores estadísticos similares (6.74 y 6.70) respectivamente. El laboreo convencional y mínimo no presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 10, Figura 15B).

En el Cuadro 2 se puede apreciar, que dependiendo del valor del pH, los suelos se pueden clasificar como neutros para el manejo orgánico y ligeramente ácido para donde hubo alfalfa y convencional.

A la profundidad de 15-30 cm, se encontró que el pH en el análisis de varianza (Cuadro 8), el manejo y laboreo presentaron diferencias estadísticas altamente significativas (≤ 0.01). La comparación de medias (≤ 0.05), reflejó que estas diferencias estadísticas, solo se encontraron en el manejo orgánico, mientras que donde hubo alfalfa y convencional, presentaron valores estadísticamente similares (6.70 y 6.74), respectivamente, (Cuadro 11, Figura 15A). En cuanto a los laboreo convencional y mínimo, ambos fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 11, Figura 15B)

Los suelos para tres manejos y los dos laboreos en estudio se caracterizan por ser neutros (Cuadro 2).

En ambas profundidades de muestreo, el suelo con manejo convencional presentó un pH ligeramente ácido, lo cual pudo deberse a que en la zona aplican

fertilizantes nitrogenados con fuentes amoniacales, lo que conlleva a una disminución en el pH (Rhoton *et al.*, 1993). Resultados similares fueron reportados por Unger (1991), quien señala que en los sitios donde se aplica la labranza de conservación existe una reducción en el pH. Blewin *et al.* (1977), también mencionaron que la acumulación de materia orgánica, en la capa superficial, conlleva a una disminución del pH.

En el manejo orgánico, el pH es neutro, reafirmando lo propuesto por Allison (1973), quien comenta sobre la capacidad amortiguadora de la materia orgánica, la cual se dá por la interacción de las sustancias húmicas y arcillas que forman coloides y tienen cargas negativas en sus superficies y adhieren cationes como H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} . De este modo, la resistencia a los cambios en el pH, es mínima en suelos arenosos y alta en suelos con alta capacidad de intercambio catiónico.

La reacción del suelo influye en el contenido de la materia orgánica del mismo. Al respecto, Fassbender y Bornemisza (1994) encontró que en suelos ácidos, con un pH menor que cinco, se produce una acumulación de la materia orgánica. Esto se debe a diferentes razones: el pH incide en el contenido y composición de los microorganismos del suelo: en condiciones ácidas se limita la acción bacteriana y de la microflora y se favorece la reproducción de hongos, lo que da por resultado una menor eficiencia en la mineralización y humificación con la consecuente acumulación de la materia orgánica; por otro lado, la reacción del suelo determina la saturación del complejo de intercambio de los suelos; en condiciones ácidas aumenta el aluminio cambiante, lo que conlleva un efecto de estabilización de los complejos órgano-minerales y se producen deficiencias en la disponibilidad de Ca y Mg para los microorganismos, conduciendo igualmente a una acumulación de carbono.

También, el pH es un indicador de que la mayoría de los elementos químicos en los suelos pueden estar asociados con su disponibilidad, deficiencia o toxicidad en el desarrollo de las plantas. A pH bajos, Al y Mn son los más solubles y pueden ser tóxicos para las plantas. La solubilidad de la mayoría de los micronutrientes, excepto para el Mo, decrece cuando el pH se incrementa (>7), observándose síntomas de deficiencia. El grado de hidrólisis de Al es controlada por el pH, el cual promueve los efectos de la acides total del suelo y el nivel de toxicidad del Al para las plantas. El pH del suelo también tiene un impacto significativo en la actividad microbial; debido a que se incrementan las velocidades de mineralización y nitrificación a pH arriba de 7 (Alexander, 1980).

El pH del suelo en la interacción manejo-profundidad, mostró que la profundidad de cada uno de los manejos, no logro impactar esta variable, más bien, las diferencias estadísticas que se presentaron se debe a los diversos manejos a fue sometido el suelo (Cuadro 9, 12, Figura 15C).

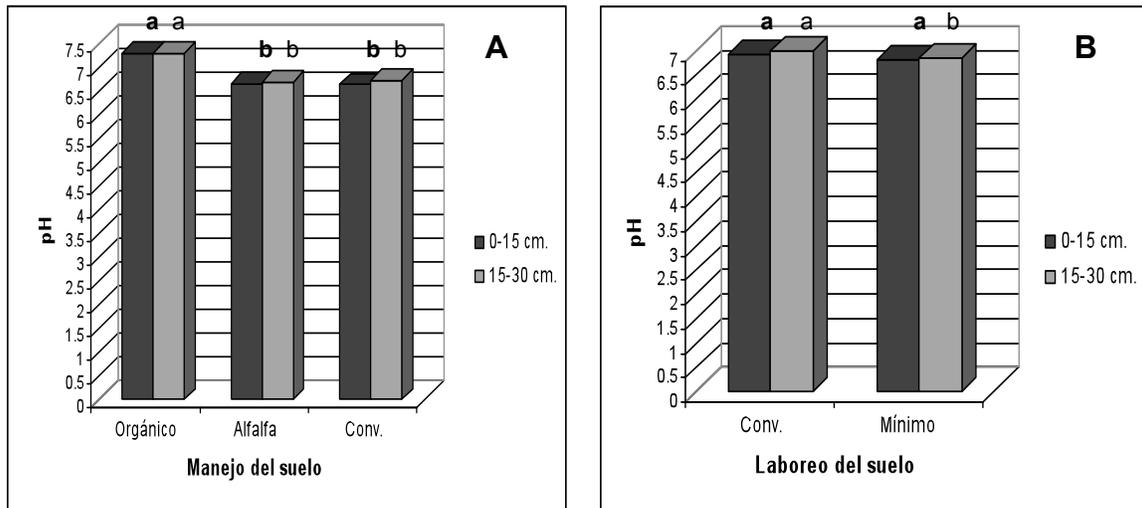


Figura 15. pH del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similar ($\alpha= 0.05$).

...continuación de la figura 15

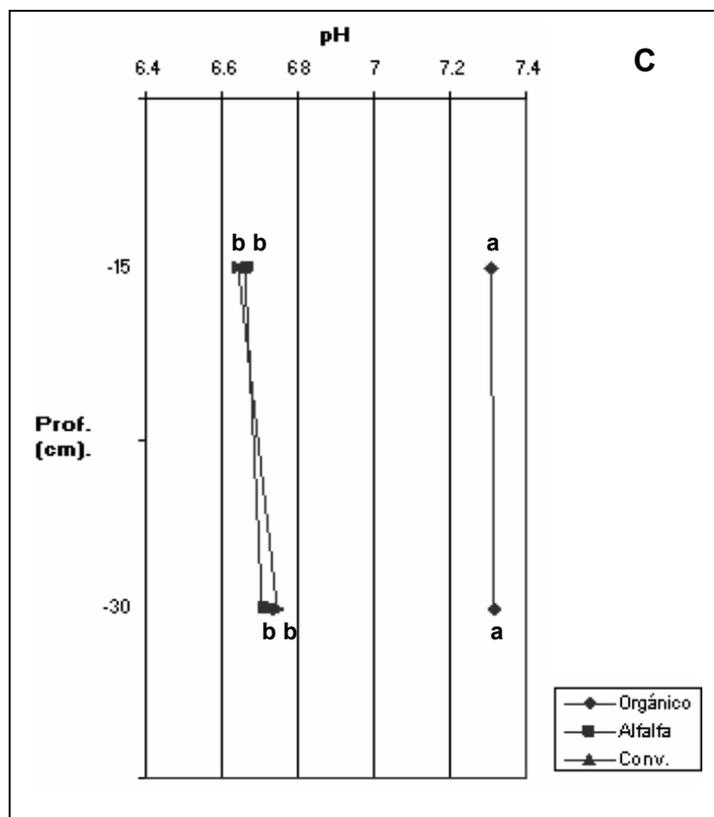


Figura 15. pH del suelo: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similar ($\alpha= 0.05$).

6.1.9. Distribución de agregados en seco en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

El Cuadro 7 muestra la síntesis del análisis de varianza para la distribución de agregados en seco a la profundidad de 0-15. De los diferentes factores estudiados, ésta mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha\leq 0.01$) en el manejo, mientras que el laboreo no presentó diferencias estadísticas. La comparación de medias (Cuadro 10, Figuras 16A, 16B), mostró diferencias estadísticas significativas ($\alpha\leq 0.05$) en la distribución de agregados en seco y el manejo orgánico, con una mayor macroagregación, comparado con los manejos donde hubo alfalfa y convencional, cuyos valores fueron 96.15, 78.88 y 71.59%, respectivamente. En el

laboreo, aún y cuando la comparación de medias no mostró diferencias significativas, el mayor contenido de magroagregados fue para el mínimo con 82.74%, mientras que para el convencional fue de 82.34%. En cuanto a la microagregación, el manejo convencional con 26.63% fue superior a donde hubo alfalfa (20.19%) y al orgánico (7.58%).

En fracciones de agregados con tamaño de <6.35, 6.35-4.76, 4.76-3.36, el manejo orgánico y donde hubo alfalfa fueron estadísticamente similares, con porcentajes de agregados de 43.94 y 37.81%, respectivamente. Mientras, que el manejo convencional fue estadísticamente diferente ($\alpha= 0.05$), con el porcentaje más bajo (23.10%).

En agregados con tamaños de 3.36-2.0, 2.0-1.0, la mayor diferencia estadística ($\alpha= 0.05$), se presentó en el manejo orgánico con 25.02%, en cambio, en los manejos donde hubo alfalfa y convencional, estadísticamente fueron similares (19.0 y 17.17%), respectivamente.

Agregados con tamaño de 1.0-0.5, la diferencia estadística ($\alpha= 0.05$) se presentó en el manejo alfalfa, con el porcentaje más bajo. El orgánico y convencional estadísticamente fueron similares, con porcentajes de (21.86 y 21.30%), respectivamente.

Para las fracciones de agregados con tamaño de 0.5-0.2, el manejo convencional fue estadísticamente diferente ($\alpha= 0.05$) y con 10.04%, en contraste en orgánico y donde hubo alfalfa, que fueron estadísticamente similares (con 5.33 y 7.31%, respectivamente).

Con respecto a los microagregados con tamaño <0.25, los tres manejos fueron estadísticamente diferentes ($\alpha= 0.05$), con los porcentajes más altos para el

manejo convencional, seguido por el manejo donde hubo alfalfa y orgánico (26.63, 20.19 y 7.58%, respectivamente).

Con respecto al laboreo el mínimo y convencional, estadísticamente ($\alpha= 0.05$), no fueron diferentes.

El Cuadro 8 muestra la síntesis del análisis de varianza para la variable distribución de agregados en seco a la profundidad de 15-30. Las mayores diferencias estadísticas se presentaron en el manejo, mientras que el laboreo no presentó diferencias estadísticas.

El Cuadro 11 y las Figuras 17A y 17B, muestran la comparación de medias para la variable distribución de agregados, en los diversos manejos y laboreos evaluados, a la profundidad de 15-30 cm. El manejo orgánico presentó diferencias estadísticas ($\alpha= 0.05$) en agregados con tamaño >6.35 , 6.35-4.76, 4.76-3.36 (50.26%), mientras donde hubo alfalfa y convencional estadísticamente fueron similares (29.24 y 26.59%, respectivamente).

Agregados con tamaño de 3.36-2.0, 2.0-1.0 y 1.0-0.5, los manejos orgánico, donde hubo alfalfa y convencional estadísticamente, ($\alpha= 0.05$), no fueron diferentes, con porcentajes de agregados (41.11, 42.45 y 38.03%, respectivamente).

En los tamaños de agregados de 0.5-0.25, el manejo orgánico fue estadísticamente diferente ($\alpha= 0.05$) (3.54%); en cambio donde hubo alfalfa y convencional estadísticamente fueron iguales (8.52 y 9.67%, respectivamente).

En microagregados con tamaño <0.25 , los manejos orgánicos, donde hubo alfalfa y convencional estadísticamente fueron diferentes ($\alpha=0.05$), con porcentajes de microagregación de 5.10, 20.15 y 25.74, respectivamente.

La interacción manejo-profundidad, el análisis de varianza (Cuadro 9) mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha=0.01$), en las diferentes fracciones de agregados, con excepción de la fracción con tamaño de 1.0-0.5, que presentó diferencias estadística ($\alpha=0.05$). La comparación de medias ($\alpha=0.05$), indica que la fracción de agregados >6.35 en ambas profundidades de muestreo indican los mayores porcentajes correspondieron al manejo orgánico y donde hubo alfalfa y el menor porcentaje al manejo convencional. La comparación de la fracción anterior, con la fracción >0.25 corresponde a los microagregados (Tisdall y Oades, 1982), se tiene una menor microagregación en el manejo orgánico, comparado con el manejo orgánico y convencional que presentaron los porcentajes más altos. Las demás fracciones de agregados, es claro que de una forma u otra se van a ver influenciadas tanto por el manejo, como por la profundidad, como puede apreciarse en el Cuadro 12 y Figura 18.

En el presente estudio, las proporciones de fracciones de tamaños de agregados en seco, variaron entre los diferentes manejos y también dentro de éstos. La predominancia de las fracciones de tamaño dentro de los macroagregados no fue la misma en los diferentes manejos, pero sí para los laboreos. La composición física y química de los agregados varió ampliamente a través de este estudio, como es el caso de la composición textural del suelo en cada uno de los manejos evaluados (Figuras 9,10 y 11), y su contenido de carbono orgánico (Figura 12), en los cuales, el manejo orgánico con textura arcillosa presentó los valores más elevados de carbono orgánico. Este resultado concuerda con Kooistra y van Noordwijk (1996), quienes mencionaron que la protección física de la materia orgánica del suelo dentro de los agregados es un factor importante que controla su descomposición, porque limita su accesibilidad a los microorganismos y fauna del suelo.

El manejo del suelo influye en la protección de la materia orgánica porque se ha observado que cuando los agregados del suelo son rotos, la mineralización del carbono se incrementa (Elliot, 1986). Por lo tanto, se concluye que la fracción mineral provee de protección física a la materia orgánica. Sin embargo, el nivel de protección varía con el manejo agrícola del suelo. Beare *et al.* (1994) mostraron que el nivel de protección física de la MO era mayor en suelos no labrados y menor en suelos labrados. La cantidad de MO localizada y protegida en los agregados del suelo, depende de la resistencia a la degradación de ésta y de la resistencia de agregados a algunas presiones naturales como humedecimiento y secado, y otras presiones artificiales como la labranza.

Existen varios estudios que han evaluado los efectos del manejo sobre las características estructurales del suelo, especialmente en la estabilidad y distribución de agregados (Angers, 1992; Ismail *et al.*, 1994; Beare *et al.*, 1994). Estos autores han mencionado que la cubierta de residuos en los métodos de no remoción mejoraron la agregación del suelo y el contenido de carbono orgánico. Tisdall y Oades (1982), Elliott (1986) y Kay (1990) encontraron que el laboreo puede causar el rompimiento de los agregados y perderse el carbono orgánico del suelo.

En los suelos, el carbono orgánico contribuye a la formación y estabilización de los agregados, los cuales proporcionan un ambiente para la protección física de otras fracciones de carbón lábil contra la degradación microbial. Otros estudios han mostrado que la resistencia de los agregados del suelo a fuerzas externas es inversamente relacionada con su tamaño y que macroagregados son menos resistentes y generalmente contienen una mayor proporción de carbono lábil (Angers y Giroux, 1996; Jastrow *et al.*, 1996) y carbono depositado recientemente (Puget *et al.*, 1995).

Generalmente, el carbono orgánico del suelo es un factor básico que afecta la agregación (Elliott, 1986). Beare *et al.* (1994) encontraron que agregados en el intervalo de 2 -2.5 mm de tamaño, necesitaron ser protegidos por agentes de unión temporal y transitorios, ya que si son sometidos bajo laboreos pesados e intensivos, los agregados pueden ser alterados. Angers y Mehuys (1989) también mencionaron que en un suelo arcilloso de región húmeda, aplicando un sistema de no laboreo, resultó con cantidades más altas de carbono orgánico y agregados más estables, comparado con otros tratamientos bajo laboreo.

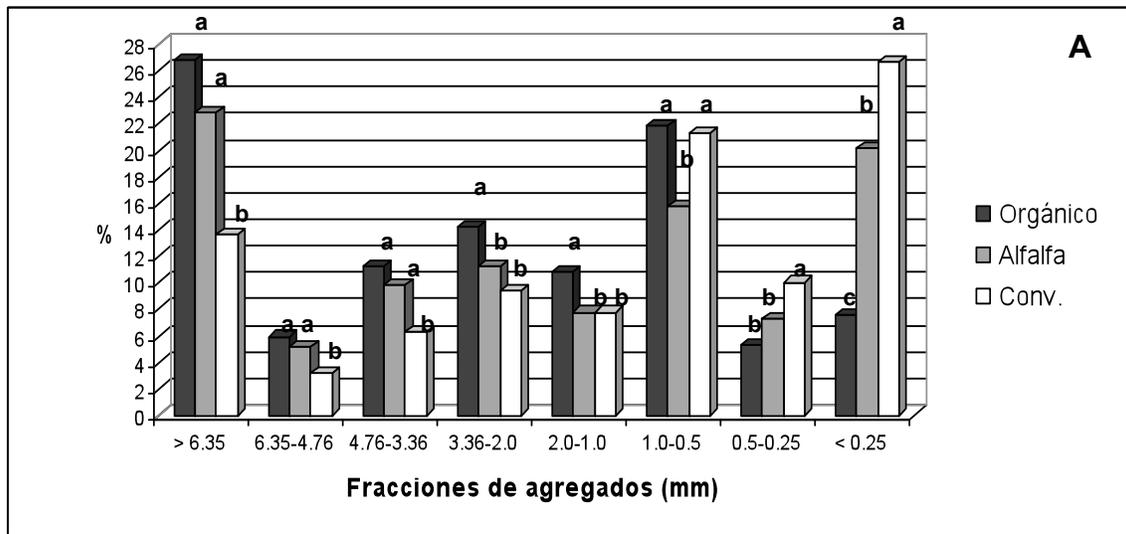


Figura 16. Distribución de agregados en seco, a la profundidad de muestreo de 0-15 cm: (A) manejo y (B) laboreo.

*Barras con las mismas literales en sentido horizontal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

...continuación de la figura 16

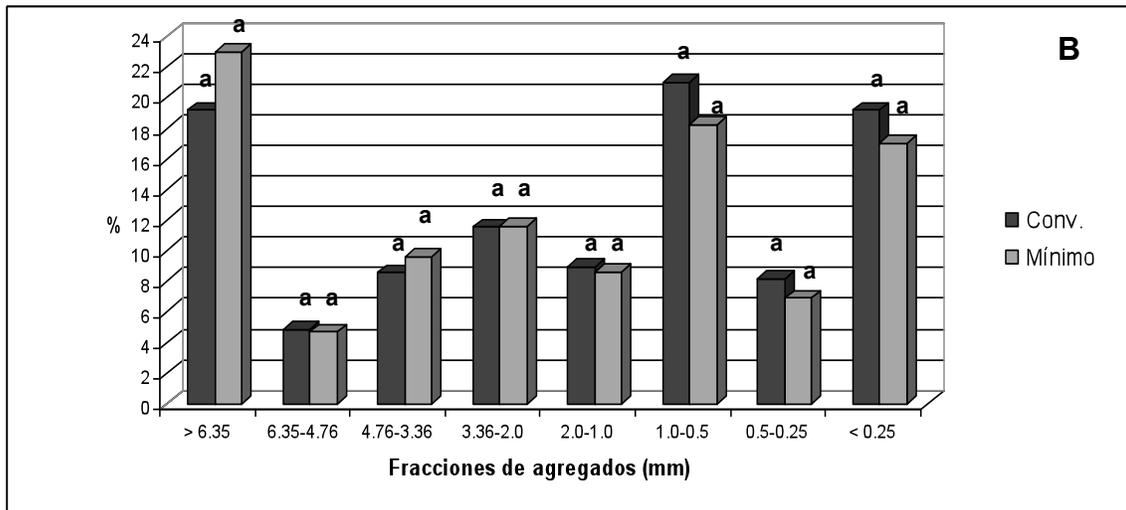


Figura 16. Distribución de agregados en seco, a la profundidad de muestreo de 0-15 cm: (A) manejo y (B) laboreo.

*Barras con las mismas literales en sentido horizontal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

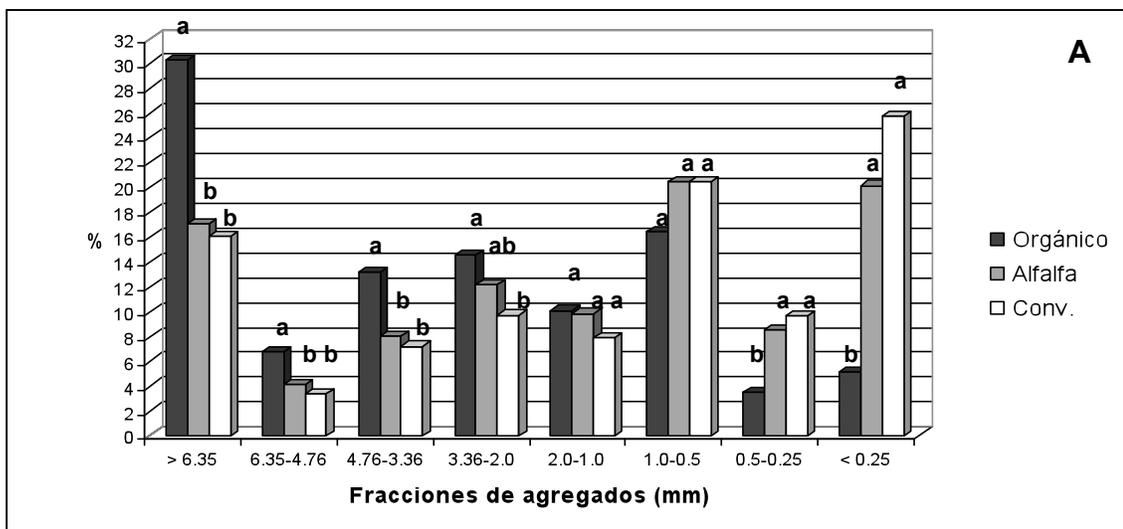


Figura 17. Distribución de agregados en seco, a la profundidad de muestreo de 15-30 cm: (A) manejo y (B) laboreo.

*Barras con las mismas literales en sentido horizontal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

...continuación de la figura 17

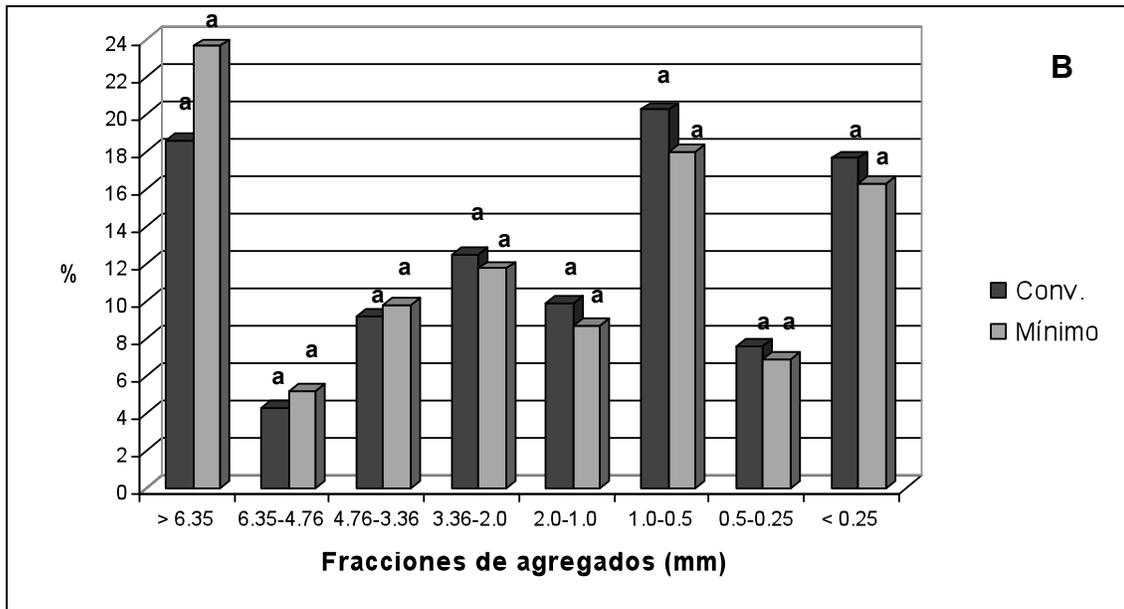


Figura 17. Distribución de agregados en seco, a la profundidad de muestreo de 15-30 cm: (A) manejo y (B) laboreo.

*Barras con las mismas literales en sentido horizontal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

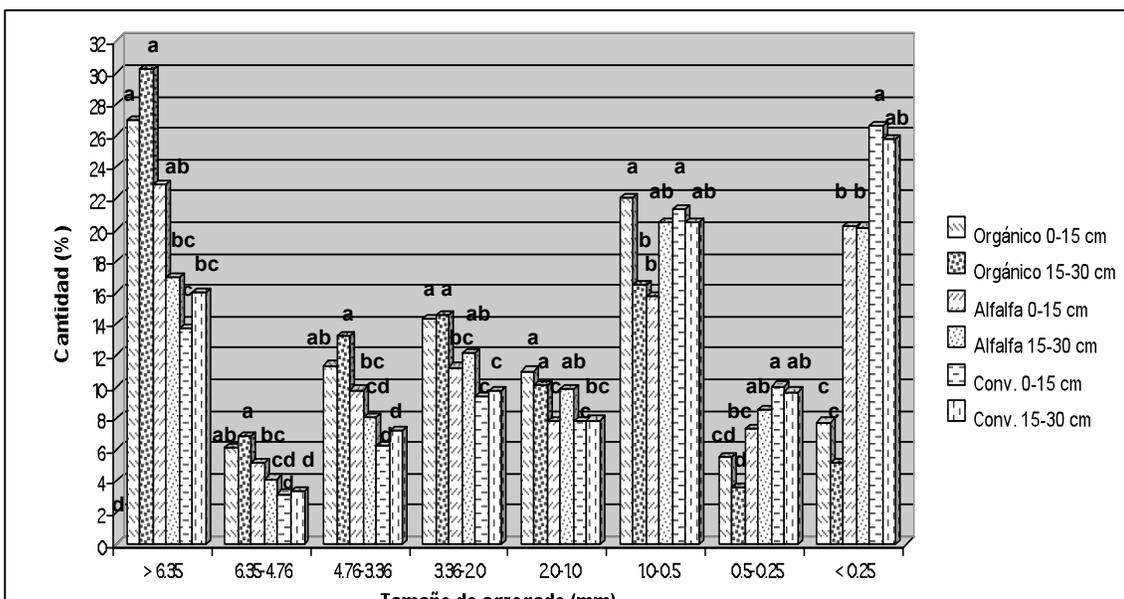


Figura 18. Distribución de agregados en seco en la interacción manejo-profundidad.

*Barras con las mismas literales en sentido horizontal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

6.1.10. Diámetro medio ponderado (DMP) en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

El diámetro medio ponderado (DMP), a la profundidad de 0-15, cm presentó diferencias altamente significativas ($\alpha= 0.01$) en el manejo, mientras que el laboreo no fue significativo (Cuadro 7). En la comparación de medias (Cuadro 11, Figura 19A), el manejo convencional presentó diferencias significativas (≤ 0.05) con el valor más bajo (1.79%), mientras que los manejos donde hubo alfalfa (2.67%) y orgánico (3.04%), estadísticamente no fueron diferentes. El laboreo convencional, con un valor de 2.33% y el laboreo mínimo con 2.67% no fueron significativos (Cuadro 11, Figura 19B).

La variable diámetro medio ponderado a la profundidad de 15-30 cm, de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 8), el factor manejo presentó diferencias altamente significativas, mientras que el factor laboreo no presentó diferencias estadísticas. La comparación de media (Cuadro 11, Figura 19A) indican que el manejo orgánico presentó diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$), con una media de 3.47%, superior a los manejos donde hubo alfalfa (2.20%) y convencional (1.97%), valores que estadísticamente no presentaron diferencias. Los laboreos convencional y mínimo, sus valores fueron estadísticamente similares, por lo tanto, no presentaron diferencias (Cuadro 11, Figura 19B).

La estabilidad de los agregados es a menudo usada como una medida de la estructura del suelo. La estabilidad de agregados ha mostrado ser un buen indicador

de la erodabilidad del suelo (Coote *et al.*, 1988). Sin embargo, la estabilidad de agregado es a menudo medida sobre un tamaño de agregado específico, la cual no mide toda la estructura del suelo. Por otro lado, el diámetro medio ponderado (DMP), es un índice que caracteriza la estructura de todo el suelo.

Los rangos para interpretar la estabilidad estructural con relación al diámetro medio ponderado (Montenegro y Malagón, 1990), Cuadro A9 la estructura del suelo puede ser caracterizada como estable para el manejo orgánico y moderadamente estable para donde hubo alfalfa y convencional.

Está claro, que el manejo está influyendo en el contenido de carbono orgánico y este a su vez en la estructuración del suelo, como lo demostraron por Bolaños (1989), Karlen *et al.* (1990) y Skujins (1991), quienes reportaron que la materia orgánica es el factor que determina el espacio poroso y estabilidad estructural debido a una mayor formación de agregados.

Asimismo Hajabbasi y Hemmat (2002), mencionaron que un suelo bajo diferentes sistemas de laboreo presentó diferencias significativas en la agregación, aunque al inicio el suelo contenía bajo contenido de carbono orgánico y una estructura débil; agregan que cuando se evitó el disturbio del suelo y se acumulan residuos, se incrementaron los niveles de carbono orgánico y DMP. Lal *et al.* (1994) reportaron que el diámetro medio ponderado (DMP) de agregados estables en agua fue mayor en los sistemas de no labranza que en los sistemas intensivos.

En los sistemas de cultivo, la labranza es un mecanismo importante por medio del cual los agregados son rotos y hay una disminución en el DMP (Plante y McGill, 2002). Mrabet (2002) encontró que el DMP fue 56% mayor en suelos con pastizales vírgenes que en pastizales cultivados.

Oguremi *et al.* (1986) reportaron que la no labranza incrementó el DMP de los agregados comparado con el laboreo para un campo de arroz en el sudeste de Nigeria. Más aún, Aina (1979) reportó una mayor estabilidad de agregados bajo no labranza que bajo labranza convencional. La diferencia en la agregación entre estos sistemas de labranza es una disminución con la profundidad.

El diámetro medio ponderado, en la interacción manejo-profundidad, el análisis de varianza presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$), reflejando la tendencia a una mayor agregación en el manejo orgánico, conforme se incrementó la profundidad en el perfil del suelo. El manejo convencional y donde hubo alfalfa no presentaron diferencias estadísticas, aunque el primero, conforme se incrementó la profundidad aumentó su contenido, mientras que el segundo tuvo comportamiento contrario. A la profundidad de 0-5 cm de un suelo arcilloso y pobremente drenado, Kacemi *et al.* (1992) encontraron un mayor DMP en seco bajo no labranza que bajo laboreo. Sin embargo, en horizontes más profundos (5-10 y 10-15) no encontraron diferencias en la agregación y en los sistemas de labranza.

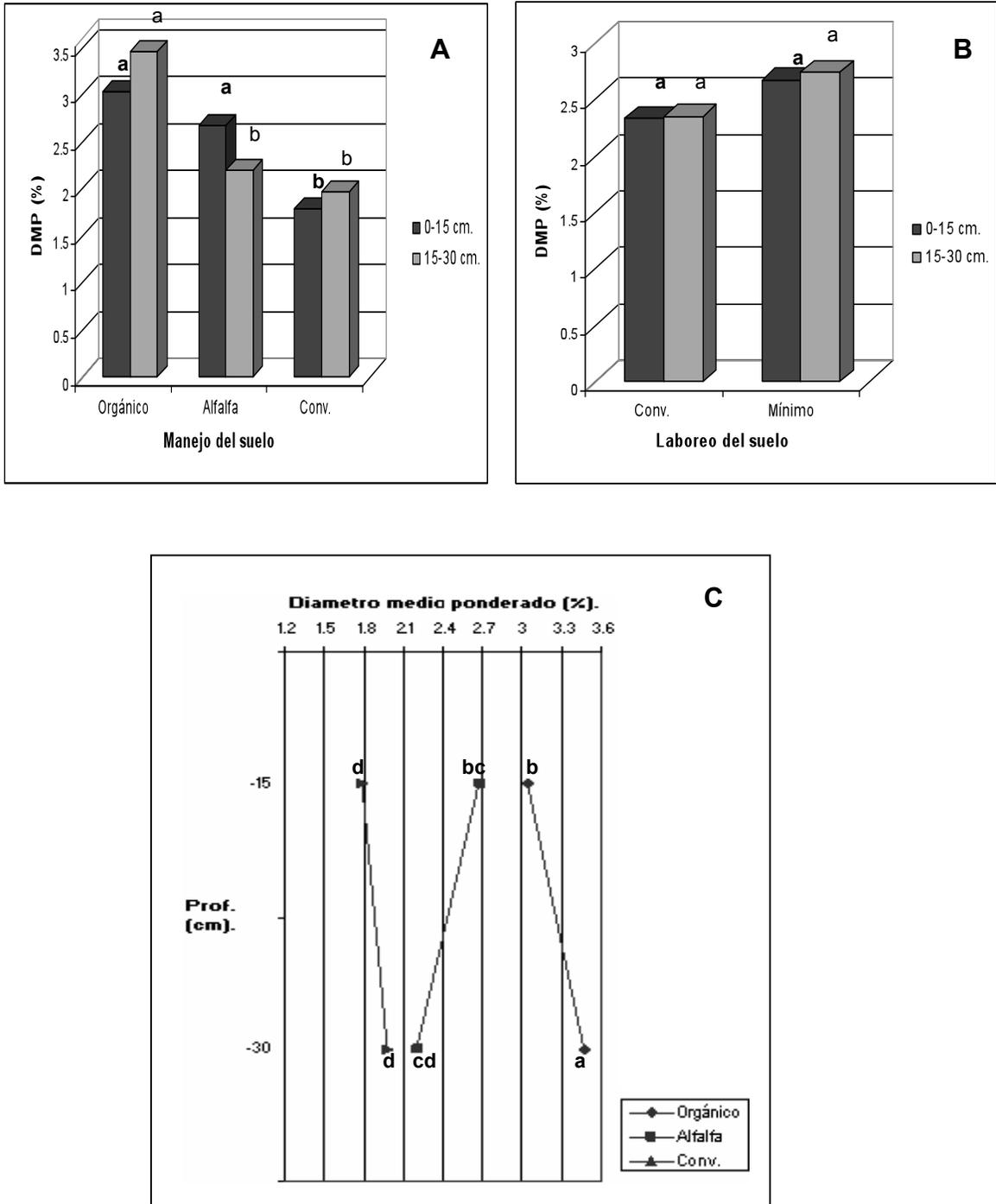


Figura 19. Diámetro medio ponderado del suelo: **(A)** manejo, **(B)** laboreo, **(C)** interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

6.2. Resultados del contenido y distribución de carbono en diversos manejos y laboreos del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

6.2.1. Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de carbono debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm

El Cuadro 13, muestra que el factor manejo presentó diferencias significativas en microagregados de 50 y 250 μm .

Cuadro 13. Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de carbono en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factores	
	Manejo	Laboreo
Carbono orgánico (50 μm)	**	n.s.
Carbono orgánico (250 μm)	**	n.s.

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$).

* Significativo ($\alpha < 0.05$).

n.s. No significativo.

Cuadro 14. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de carbono en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedad	Manejo			Laboreo	
	Orgánico	Alfalfa	Conven.	Conven.	Mínimo
Carbono orgánico (50 μm)	9.13a	5.19b	6.57b	7.20a	6.73a
Carbono orgánico (250 μm)	8.88a	4.32b	7.51a	6.19a	7.62a

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.2.2. Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de carbono debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados del suelo de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm

El Cuadro 15, muestra que tanto el factor manejo como el laboreo presentaron un efecto significativo en el contenido de carbono orgánico en microagregados de 50 y 250 μm .

Cuadro 15. Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de carbono en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factores	
	Manejo	Laboreo
Carbono orgánico (50 μm)	**	**
Carbono orgánico (250 μm)	**	*

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$).

* Significativo ($\alpha < 0.05$).

n.s. No significativo.

Cuadro 16. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de carbono en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedad	Orgánico	Manejo		Laboreo	
		Alfalfa	Conven.	Conven.	Mínimo
Carbono orgánico (50 μm)	8.20a	3.95c	6.61b	5.97b	6.54a
Carbono orgánico (250 μm)	8.44a	4.11c	6.47b	5.97b	6.72a

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.2.3. Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de carbono en la interacción manejo x profundidad en microagregados del suelo de las fracciones 50 y 250 μm

El Cuadro 17, indica que el en la interacción manejo-profundidad del suelo el contenido de carbono orgánico en microagregados de 50 y 250 μm , presentó un efecto altamente significativo en ambos.

Cuadro 17. Análisis de varianza del contenido y distribución de carbono en la interacción manejo x profundidad en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm . Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factor
	Interacción manejo-profundidad
Carbono orgánico (50 μm)	**
Carbono orgánico (250 μm)	**

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$).

* Significativo ($\alpha < 0.05$).

n.s. No significativo.

Cuadro 18. Comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de carbono en la interacción manejo x profundidad en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm . Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Manejo					
	Orgánico		Alfalfa		Convencional	
	Profundidad (cm)					
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
Carbono orgánico (50 μm)	9.42a	8.41a	5.19c	3.95c	6.57b	6.61b
Carbono orgánico (250 μm)	8.79a	8.62a	4.32c	4.11c	7.51ab	6.47b

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

6.2.4. Contenido y distribución de carbono en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad

El contenido de carbono en agregados del suelo de 50 μm , a la profundidad de 0-15, en el manejo el análisis de varianza (Cuadro 13) mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$), mientras que el laboreo no presentó diferencias estadísticas. La comparación de medias (Cuadro 16, Figura 20A) reflejó que el contenido de carbono en el manejo orgánico presentó diferencias estadísticas ($\alpha \leq 0.05$), con contenido carbono de 9.13%, mientras que donde hubo alfalfa y convencional, sus valores estadísticamente fueron similares con 6.57 y 5.19% respectivamente. Por lo tanto, el manejo orgánico superó al convencional (43.08%) y donde hubo alfalfa (27.95%). Los laboreos convencional y mínimo, no afectaron el contenido de carbono orgánico en este tamaño de agregado (Cuadro 16, Figura 20B).

El contenido de carbono en microagregados de 50 μm , pero a la profundidad de 15-30 cm y de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 14), el factor manejo logró afectar el contenido de carbono, con diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha = 0.01$); mientras que el factor laboreo, no logró impactar en su contenido con valores estadísticamente similares. La comparación de medias (Cuadro 17, Figura 20A) de los diversos manejos a que fue sometido el suelo, presentaron diferencias estadísticas ($\alpha = 0.05$). El mayor contenido de carbono orgánico (8.20%) se encontró en el manejo orgánico, seguido por el convencional (6.61%) y por último donde hubo alfalfa (3.95%). Por lo tanto, el manejo orgánico superó al convencional (19.39%) y donde hubo alfalfa (51.82%). Con respecto al laboreo, el convencional y mínimo fueron estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$), con

un mayor contenido de carbono el mínimo (6.54%) con respecto al convencional (5.97%). Siendo superado el segundo 8.71% (Cuadro 17, Figura 20B).

Los resultados anteriores, en ambas profundidades, concuerdan con lo expuesto por Elliott (1987), quien menciona que las prácticas de labranza pueden influir en el mantenimiento de la materia orgánica del suelo (MOS) y las proporciones relativas de varios de sus pools a través de sus efectos en la agregación. La MOS asociada con microagregados y macroagregados presenta diferentes tiempos de retorno y quizás, correspondan a pools pasivos y lábiles respectivamente.

Por otro lado, Kooistra y van Noordwijk (1996) mencionaron que la protección física de la materia orgánica del suelo dentro de los agregados, es un factor importante que controla su descomposición, ya que la incorporación de la materia dentro de los agregados limita el acceso de los microorganismos, fauna y su eventual mineralización. El rompimiento directo de los agregados y la oxidación de la materia orgánica está relacionado con los sistemas arables, en los cuales, la labranza y las prácticas de manejo influyen en la distribución de residuos y retorno de materia orgánica del suelo (Janzen *et al.*, 1998). La protección física es probablemente menor en suelos laboreados que en suelos sin laborear, porque la labranza, periódicamente la rompe los agregados y expone la materia orgánica previamente protegida (Balesdent *et al.*, 1990).

En un estudio realizado por Tarchitzky *et al.* (2000), encontraron que el contenido de carbono tendió a aumentar conforme se incrementó el tamaño de agregado (>250 μm).

Los mayores efectos del manejo agronómico se han observado en los macroagregados (>250 μm), por presentar mayor contenido de C y N que los

microagregados y contener materia orgánica, caracterizada como más lábil y que corresponden a las fracciones de la materia orgánica particulada (Camberdella y Elliott, 1993), carbohidratos lábiles (Haynes y Francis, 1993) y biomasa fungal (Oades y Waters, 1991). Mientras, que los microagregados pueden ser estabilizados por materia orgánica más procesada. Por lo tanto, es de gran importancia conocer que la microagregación es controlada en gran parte por la mineralogía del suelo y la unión de partículas de arcilla con compuestos orgánicos persistentes (Tiessen *et al.*, 1984c). En contraste, la estabilidad de macroagregados es controlada en parte por raíces y hongos a través de la producción de agentes de unión orgánica temporales y transitorios que aglutinan las partículas del suelo dentro de raíces finas e hifas de hongos y por fuerzas de compresión ocasionadas por el desarrollo de las raíces (Monroe y Cladivko, 1987). La labranza puede reducir la estabilidad de los macroagregados directamente, por el rompimiento de los agregados y la exposición de la MOS protegida al ataque de los microorganismos, y en forma indirecta, por la alteración del desarrollo y distribución de los patrones o arreglos del suelo por parte de raíces y hongos.

La distribución del carbono orgánico en microagregados de 50 μm , en la interacción manejo-profundidad, el análisis de varianza (Cuadro A7), mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha=0.01$). En la comparación de medias, estas diferencias observadas, se relacionan más con el contenido de COS en los diferentes manejos y tamaño de agregado del suelo, que con su relación con la profundidad del mismo (Figura 20C). Asimismo, se encontró que los tres manejos no son diferentes entre sí con respecto a la profundidad, pero sí en el orgánico, y donde hubo alfalfa donde se observó una tendencia a la disminución en su contenido de COS conforme se incrementa la profundidad; además, se encontró que el manejo

convencional tiende a ser más estable conforme profundiza. Estos resultados pueden estar relacionados, como ya se mencionó, por la protección física de la MOS dentro de los agregados, que limita el acceso de los microorganismos y su eventual mineralización (Kooistra y van Noordwijk (1996). También por Tiessen *et al.* (1984c), quienes mencionaron que la microagregación es controlada por la mineralogía del suelo y la unión de partículas con compuestos orgánicos persistentes.

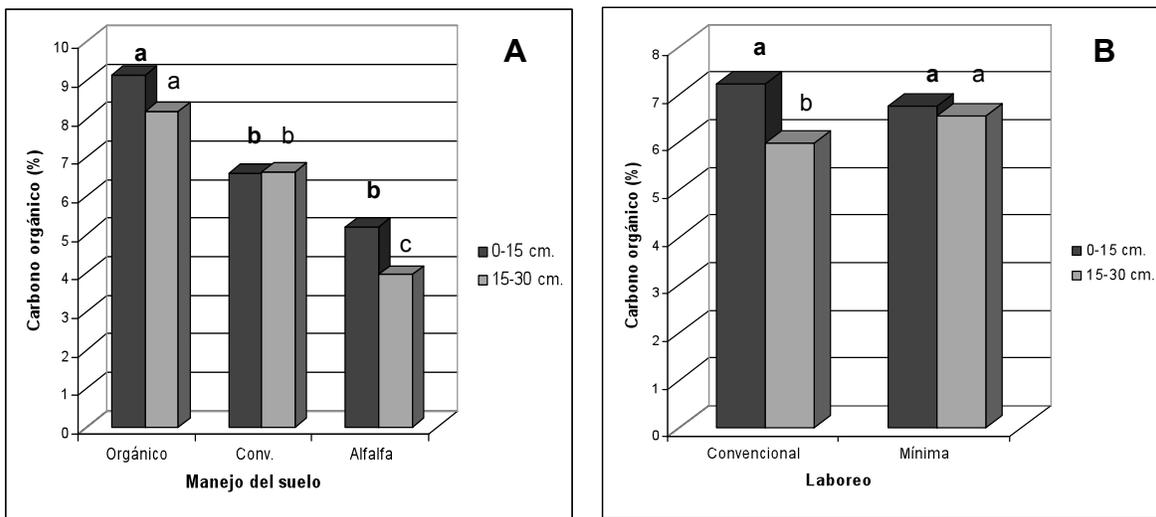


Figura 20. Contenido y distribución de carbono orgánico en microagregados del suelo de 50 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

...continuación Figura 20

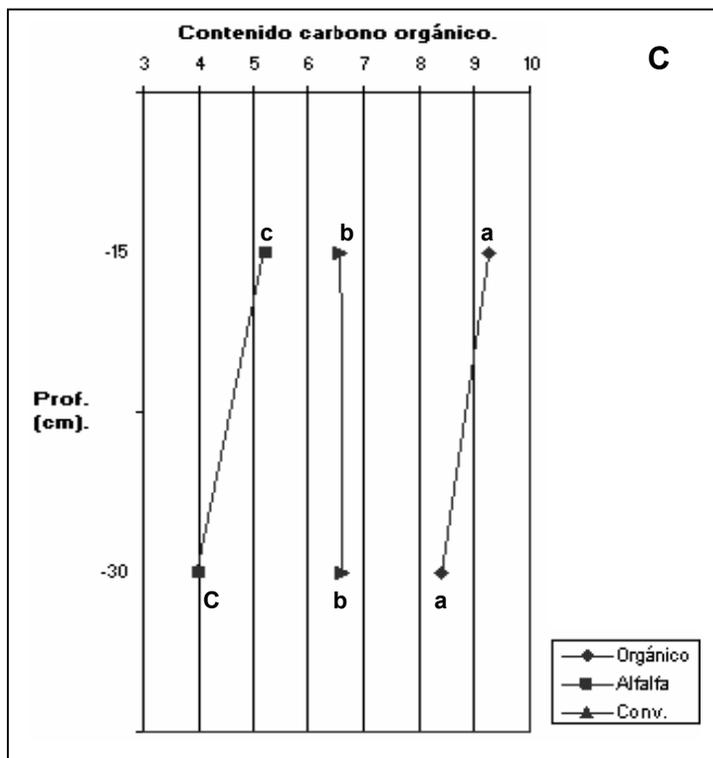


Figura 20. Contenido y distribución de carbono orgánico en microagregados del suelo de 50 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.2.5. Contenido y distribución de carbono orgánico en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad

El contenido de COS fue afectado de forma significativa ($\alpha=0.01$) por el manejo (Cuadro 13) a la profundidad de 0-15; mientras que el laboreo, no presentó diferencias significativas. En la comparación de medias ($\alpha=0.05$), los mayores contenidos de COS en microagregados 250 μm fueron para el manejo orgánico (8.88%) y convencional (7.51%) no obstante, sus valores no fueron estadísticamente

diferentes entre sí. En el caso de la alfalfa, con el contenido de COS más bajo (4.32%), fue estadísticamente diferente a ambos manejos. Por lo tanto, éste últimos fue superado por el orgánico 73.84% y convencional 105.55% (Cuadro 16, Figura 21A). Los laboreos convencional y mínimo, estadísticamente fueron similares (Cuadro 16, Figura 21B).

El contenido de carbono en microagregados 250 μm , a la profundidad de 15-30 cm, mostró diferencias estadísticas altamente significativos ($\alpha=0.01$) en los factores manejo y laboreo (Cuadro 14). En la comparación de medias ($\alpha=0.05$), el contenido de carbono fue afectado por los tres manejos, los cuales fueron estadísticamente diferentes. El manejo donde hubo alfalfa con el contenido más bajo (4.11%) fue seguido por el convencional (6.47%) y por último, el orgánico (8.44%). Siendo superado el primero por el convencional y orgánico, (57.42 y 10.35%) respectivamente (Cuadro 17 y Figura 21A). Con respecto al laboreo, el convencional y mínimo fueron estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$), pero el mínimo con un mayor contenido de COS (6.72%) que el convencional (5.97%). En consecuencia, este último superado por 12.57% por el mínimo (Cuadro 17 y Figura 21B).

De acuerdo con los resultados obtenidos, el contenido de COS en microagregados de 250 μm , en los diversos manejos, laboreos y en ambas profundidades se distribuyó de la siguiente manera: manejo orgánico >convencional >donde hubo alfalfa. Con respecto al laboreo, su distribución fue: mínimo >convencional. Tanto el manejo como el laboreo afectaron el contenido de COS en agregados de 250 μm . Resultados similares fueron obtenidos por Kay (1990) y Kooistra y van Noordwijk (1996). Por consiguiente, las estrategias de manejo del suelo afectan tanto la cantidad de la de MOS, así como su distribución en varias fracciones de agregados.

Una de las características del COS, es que una proporción significativa de él, tiene un alto grado de resistencia a la descomposición. Las propiedades químicas que retardan la degradación del COS, incluye la fuerza de los enlaces que unen las unidades estructurales y la irregularidad de frecuencia de las mismas. Moléculas hidrolizables con repetición regular de unidades, tales como oligosacáridos y polisacáridos, péptidos y proteínas, y ácidos nucleicos que son liberados de sus componentes moleculares, son rápidamente metabolizados por los microorganismos del suelo (si no se encuentran protegidos en el ambiente del suelo). Moléculas compuestas de enlaces C-C, o de las uniones C-O-C (éter) son difícil de romper y por lo tanto, pueden tener largos tiempos de residencia en el suelo (Hayes *et al.*, 1989).

La distribución del COS en la interacción manejo- profundidad, el análisis de varianza (Cuadro 15), presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha=0.01$). La comparación de medias ($\alpha=0.05$), mostró que las diferencias estadísticas se debieron más al contenido de COS en los diversos manejos que a la profundidad. Por lo tanto, esta última, no logró influir en la distribución del COS a través del perfil del suelo, como puede apreciarse en el Cuadro 18, y en la Figura 21C).

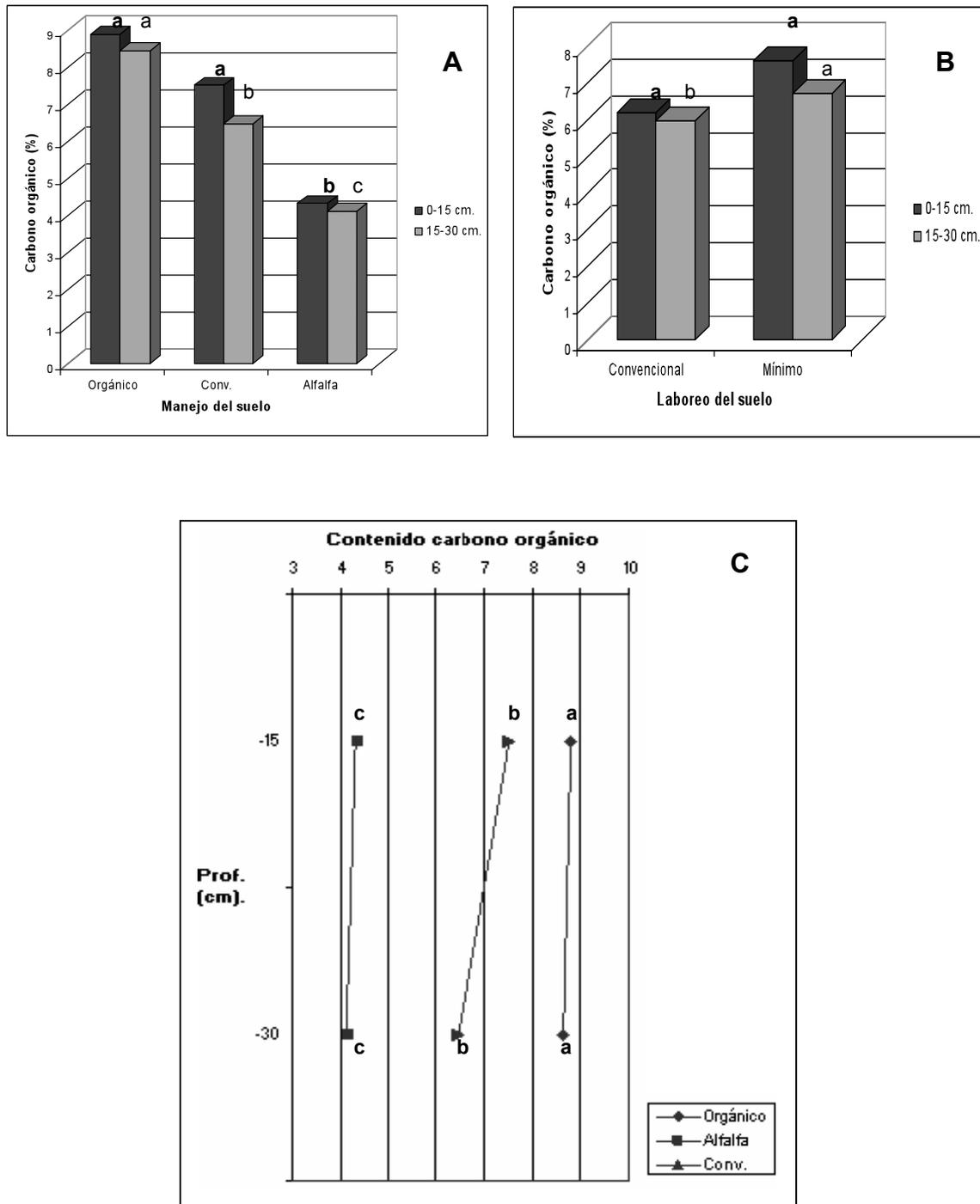


Figura 21. Contenido y distribución de carbono orgánico en microagregados del suelo de 250 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

6.3. Resultados del contenido y distribución de compuestos orgánicos en diversos manejos y laboreos del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad

6.3.1. Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de compuestos orgánicos debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm

El Cuadro 19 muestra que el factor principal con un efecto significativo en el contenido de ácidos húmicos en microagregados de 250 μm , en la relación AH/AF en microagregados de 250 μm y en la relación E_4/E_6 para AH en microagregados de 50 μm fue el manejo.

Cuadro 19. Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de los compuestos orgánicos en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factores	
	Manejo	Laboreo
%C(AH) (50 μm)	n.s.	n.s.
%C(AH) (250 μm)	**	n.s.
%C(AF) (50 μm)	n.s.	n.s.
%C(AF) (250 μm)	n.s.	n.s.
Relación AH/AF (50 μm)	n.s.	n.s.
Relación AH/AF (250 μm)	*	n.s.
Relación E_4/E_6 para AH (50 μm)	**	n.s.
Relación E_4/E_6 para AH (250 μm)	n.s.	n.s.
Relación E_4/E_6 para AF (50 μm)	n.s.	n.s.
Relación E_4/E_6 para AF (250 μm)	n.s.	n.s.

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$).

* Significativo ($\alpha < 0.05$).

n.s. No significativo.

Cuadro 20. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos de los compuestos orgánicos debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 0-15 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedad	Manejo			Laboreo	
	Orgánico	Alfalfa	Conven.	Conven.	Mínimo
%C(AH) (50 μm)	0.15a	0.09a	0.09a	0.11a	0.11a
%C(AH) (250 μm)	0.20a	0.07b	0.08b	0.13a	0.11a
%C(AF) (50 μm)	0.26a	0.33a	0.24a	0.27a	0.28a
%C(AF) (250 μm)	0.21a	0.23a	0.25a	0.21a	0.25a
Relación AH/AF (50 μm)	0.38a	0.50a	0.26a	0.30a	0.46a
Relación AH/AF (250 μm)	0.93a	0.36b	0.42b	0.50a	0.60a
Relación E ₄ /E ₆ para AH (50 μm)	3.37b	3.74a	3.09b	3.34a	3.46a
Relación E ₄ /E ₆ para AH (250 μm)	3.37ab	3.62a	3.32b	3.34a	3.54a
Relación E ₄ /E ₆ para AF (50 μm)	25.78a	22.77a	19.07a	27.58a	17.49a
Relación E ₄ /E ₆ para AF (250 μm)	16.40a	24.01a	17.89a	14.92a	23.94a

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.3.2. Resultados del análisis estadístico del contenido y distribución de compuestos orgánico debido al manejo y laboreo del suelo en microagregados del suelo de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm

En el Cuadro 21, encontramos que el factor principal que tuvo un efecto significativo fue el manejo en el contenido de contenido de ácidos fúlvicos en microagregados de 50 μm y en la relación E₄/E₆ para AF en microagregados de 250 μm .

Cuadro 21. Resultados del análisis de varianza del contenido y distribución de compuestos orgánicos en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en la profundidad de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factores	
	Manejo	Laboreo
%C(AH) (50 μm)	n.s.	n.s.
%C(AH) (250 μm)	n.s.	n.s.
%C(AF) (50 μm)	*	n.s.
%C(AF) (250 μm)	n.s.	n.s.
Relación AH/AF (50 μm)	n.s.	n.s.
Relación AH/AF (250 μm)	n.s.	n.s.
Relación E ₄ /E ₆ para AH (50 μm)	n.s.	n.s.
Relación E ₄ /E ₆ para AH (250 μm)	n.s.	n.s.
Relación E ₄ /E ₆ para AF (50 μm)	n.s.	n.s.
Relación E ₄ /E ₆ para AF (250 μm)	*	n.s.

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$)

* Significativo ($\alpha < 0.05$)

n.s. No significativo

Cuadro 22. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de compuestos orgánicos en microagregados de las fracciones 50 y 250 μm en las profundidades de 15-30 cm. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedad	Manejo			Laboreo	
	Orgánico	Alfalfa	Conven.	Conven.	Mínimo
%C(AH) (50 μm)	0.10a	0.10a	0.10a	0.09a	0.15a
%C(AH) (250 μm)	0.09a	0.16a	0.16a	0.10a	0.18a
%C(AF) (50 μm)	0.30a	0.17b	0.28ab	0.25a	0.25a
%C(AF) (250 μm)	0.27a	0.21a	0.16a	0.20a	0.23a
Relación AH/AF (50 μm)	0.39a	0.55a	0.47a	0.50a	0.43a
Relación AH/AF (250 μm)	0.52a	0.42a	0.31a	0.46a	0.42a
Relación E ₄ /E ₆ para AH (50 μm)	3.38b	3.45a	3.30b	3.37a	3.39a
Relación E ₄ /E ₆ para AH (250 μm)	3.34b	3.61a	3.28b	3.32a	3.50a
Relación E ₄ /E ₆ para AF (50 μm)	20.47b	24.81a	12.60b	17.72a	20.87a
Relación E ₄ /E ₆ para AF (250 μm)	12.30b	27.06a	16.30b	17.11a	20.00a

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.3.3. Resultados del análisis estadístico de la interacción manejo x profundidad del contenido y distribución de compuestos orgánicos en microagregados del suelo de las fracciones 50 y 250 μm

En el Cuadro 23 indica que en la interacción manejo-profundidad del suelo, la propiedad con un efecto significativo fue la relación E₄/E₆ para ácidos húmicos en microagregados de 50 μm .

Cuadro 23. Análisis de varianza del contenido y distribución de compuestos orgánicos en la interacción manejo x profundidad en microagregados de la fracción 50 y 250 μm . Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factor
	Interacción manejo-profundidad
%C(AH) (50 μm)	n.s.
%C(AH) (250 μm)	n.s.
%C(AF) (50 μm)	n.s.
%C(AF) (250 μm)	n.s.
Relación AH/AF (50 μm)	n.s.
Relación AH/AF (250 μm)	n.s.
Relación E ₄ /E ₆ para AH (50 μm)	**
Relación E ₄ /E ₆ para AH (250 μm)	n.s.
Relación E ₄ /E ₆ para AF (50 μm)	n.s.
Relación E ₄ /E ₆ para AF (250 μm)	n.s.

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$)

* Significativo ($\alpha < 0.05$)

n.s. No significativo

Cuadro 24. Comparación múltiple de medias de tratamientos del contenido y distribución de compuestos orgánicos en la interacción manejo x profundidad en microagregados de la fracción 50 y 250 μm . Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Manejo					
	Orgánico		Alfalfa		Convencional	
	Profundidad (cm)					
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
%C(AH) (50 μm)	0.13a	0.12a	0.09a	0.10a	0.09a	0.10a
%C(AH) (250 μm)	0.22a	0.12ab	0.07b	0.16ab	0.08ab	0.16ab
%C(AF) (50 μm)	0.29ab	0.27ab	0.33a	0.17b	0.24ab	0.26ab
%C(AF) (250 μm)	0.19a	0.25a	0.23a	0.21a	0.25a	0.16a
Relación AH/AF (50 μm)	0.37a	0.40a	0.50a	0.55a	0.38a	0.47a
Relación AH/AF (250 μm)	0.79a	0.69ab	0.36ab	0.42ab	0.42ab	0.31b
Relación E ₄ /E ₆ para AH (50 μm)	3.37b	3.38b	3.74a	3.45b	3.09c	3.30bc
Relación E ₄ /E ₆ para AH (250 μm)	3.37ab	3.34ab	3.62a	3.61a	3.32b	3.28b
Relación E ₄ /E ₆ para AF (50 μm)	25.78a	20.47ab	22.77ab	24.81ab	19.07ab	12.60b
Relación E ₄ /E ₆ para AF (250 μm)	16.40ab	12.30b	24.01ab	27.06a	17.89ab	16.30ab

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.3.4. Contenido y distribución de ácidos húmicos (AH) en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad

El contenido de AH en microagregados de 50 μm , a la profundidades de 0-15 cm, no se vio afectado por el manejo y laboreo, como puede observarse en el análisis de varianza (Cuadro 13) y comparación de medias (Cuadro 16, Figura 22A) pero, con mayor contenido el manejo orgánico (0.151%), seguido por el convencional (0.096%) y al final donde hubo alfalfa (0.090%). Siendo superados los dos último por el orgánico (36.42 y 40.39%, respectivamente). Los laboreos, tanto convencional como mínimo no fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 16, Figura 22B).

En el Cuadro 4, se muestran los niveles y evaluación de los AH propuestos por Pujola (1989) y mencionados por Labrador (1996), en los cuales, el manejo orgánico es el único que presentó valores normales (ligeramente superior que 0.15%), mientras que donde hubo alfalfa y convencional, sus valores fueron inferiores que 0.15%, lo que indica que en estos últimos, el contenido de AH tendió a disminuir. Lo anterior se puede deber a la falta de materia orgánica, lo que ocasiona, que los suelos se hayan empobrecido.

El contenido de AH en microagregados de 50 μm , a la profundidad de 15-30 cm no se vio afectado por el manejo y laboreo del suelo, como se muestra en el análisis de varianza (Cuadro 14) y la comparación de medias (Cuadro 17, Figuras 22A y 22B). Pero, con un mayor contenido el manejo orgánico y donde hubo alfalfa, cuyos valores fueron idénticos (0.109%), mientras que el convencional con 0.103%. Siendo superado éste último, por el orgánico y donde hubo alfalfa con 5.50%. Los parámetros propuestos por Pujola (1989) y mencionados por Labrador (1996) para la evaluación de los AH, indican que valores normales deben ser superiores que 0.15%.

A la profundidad de 15-30 cm, los suelos se consideran pobres, por contener valores inferiores que 0.15%.

Algunas de las características de los AH, es que se consideran como el material extraído de los suelos con soluciones alcalinas y precipitadas sobre un medio ácido. El color de los AH, va de pardo oscuro a negro y constituye la fracción más grande. De acuerdo con Hayes y Swift (1978), dos tipos de polímeros: AH y polisacáridos, pueden constituir más de 80% del humus total. Al parecer, ellos consisten de complejos fenólicos o polímeros aromáticos, unidos con estructuras de péptidos, aminoazúcares y ácidos alifáticos (Stevenson, 1982). Los polímeros fenólicos sintetizados por plantas, especialmente ligninas y fenoles microbiales, y otros compuestos aromáticos y melaninas son fuentes importantes para las unidades aromáticas (Martin y Haider, 1980a).

Los resultados anteriores, reflejan que el contenido de AH no fue afectado en los diversos manejos, laboreos y profundidades. Esto se puede deber, a que microagregados <53 μm están unidos por materia orgánica más humicada (Golchin *et al.*, 1994), dando como resultado la unión química o físico- química entre la materia orgánica y los minerales del suelo, formando los complejos órgano-minerales. Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Schnitzer (1991), quién reporta que los grupos ácidos de carácter hidroxifenólicos o carboxílicos (-OH, -COOH) que se encuentran entre los radicales externos, resultan las propiedades ácidas de los ácidos húmicos y la posibilidad de formar complejos, ya sea directamente o a través de iones metálicos. También, señala que tienen un enorme interés en la génesis del suelo, en la formación de una buena estructura, en la disponibilidad y movilidad de determinados nutrientes, especialmente

micronutrientes. Cuanto mayor sea el estado de humificación de la materia orgánica, mayor será su potencial para formar complejos órgano-metálicos.

La protección física de la materia orgánica por los agregados, influye de manera positiva en la acumulación de carbono en el suelo (Six *et al.*, 2000a), estableciendo una barrera entre los microorganismos del suelo y la materia orgánica. Asimismo, la composición bioquímica de compuestos recalcitrantes como la lignina y polifenoles que estabilizan la materia orgánica.

Tarchitzky (2000), al evaluar el contenido de AH en varias fracciones de agregados, encontró que éste tiende a ser menor que el contenido de AF; mientras, que el contenido de AH tiende a incrementarse en agregados > 250 μm . Tal información es soportada por por varios investigadores quienes mostraron que la concentración de AH presentó un incremento al aumentar el tamaño de agregado (Turchenek y Oades, 1979; Chakraborty *et al.*, 1981).

Serrano *et al.* (2003), evaluaron el complejo órgano-mineral por encalado de suelos cafetaleros, en partículas < 53 μm y consideraron dos suelos representativos: el suelo 1, normal en cuanto al contenido de MOS y el suelo 2, muy rico en MOS, encontraron en el primero que el contenido de AH se incrementó significativamente ($r=0.674^{\dagger}$), mientras que en el segundo, el contenido de AH tendió a disminuir, pero no significativamente.

Galantini (2001), al estudiar el efecto del manejo en los sistemas de producción: trigo continuo (TT), trigo alternado con pastoreo (TP) y trigo-leguminosa (TL) sobre la cantidad y distribución de algunas fracciones orgánicas, encontró que el sistema de trigo continuo (TT), presentó la menor cantidad de AH comparado con los otros tratamientos.

La distribución de los AH, en la interacción manejo-profundidad no está afectada (Cuadro 15, Figura 22C). Aunque, su distribución en el suelo, pudiese estar determinada por lo expuesto por Orlov (1992) quién señala que el cambio en la composición de grupo de humus en el perfil del suelo es gobernada por una regla común: la fracción de ácidos húmicos decrece con la profundidad y la fracción de ácidos fúlvicos se incrementa. En otras palabras, en los horizontes más profundos no es posible detectar ácidos húmicos.

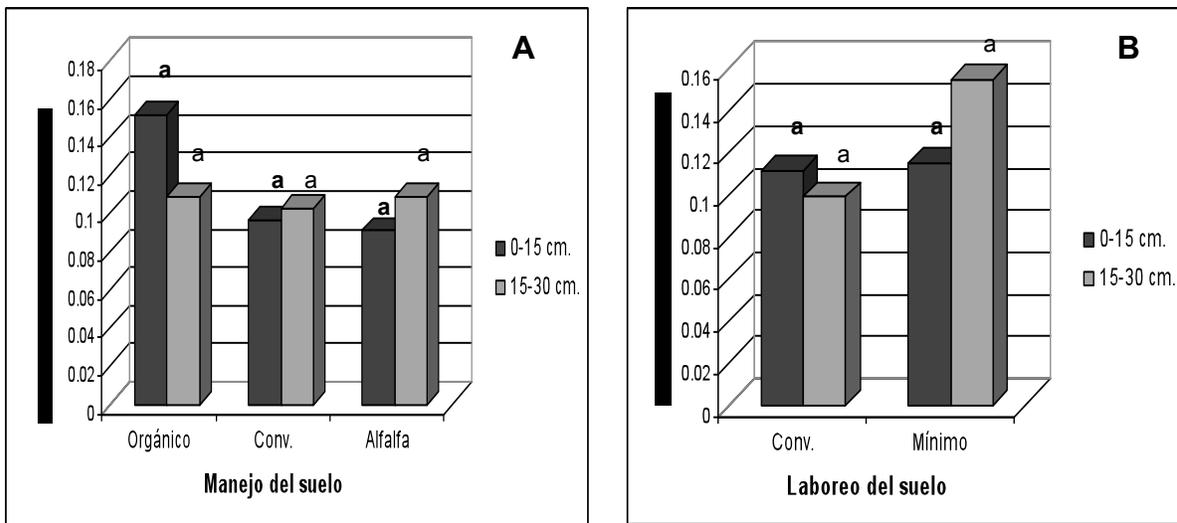


Figura 22. Contenido y distribución de ácidos húmicos en microagregados del suelo de 50 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

...continuación de la figura 22

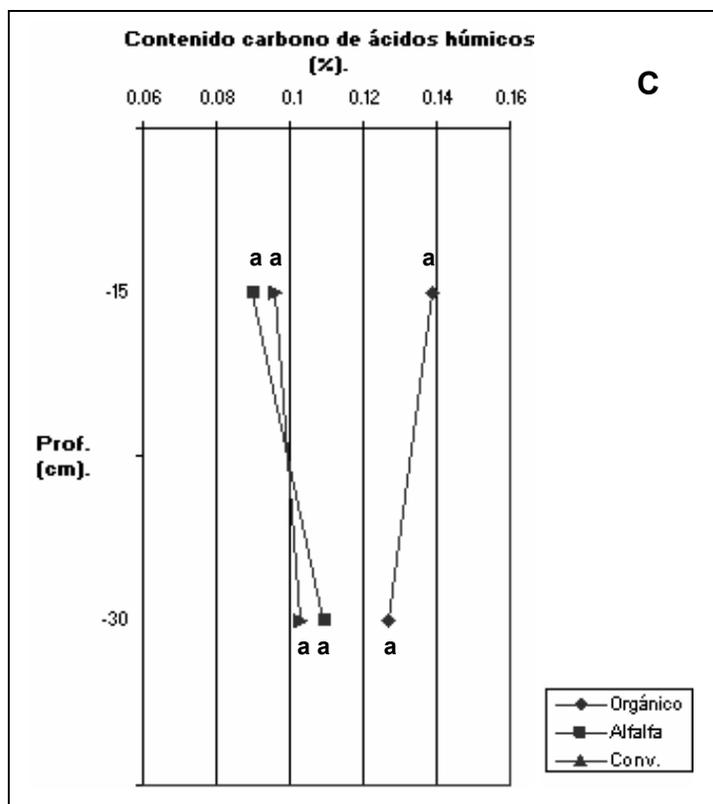


Figura 22. Contenido y distribución de ácidos húmicos en microagregados del suelo de 50 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

6.3.5. Contenido y distribución de ácidos húmicos (AH) en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad

El contenido de AH, a la profundidad de 0-15 cm, en el análisis de varianza (Cuadro 13), el manejo presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha\leq 0.01$); mientras que el laboreo no resultó significativo. La prueba de comparación de medias ($\alpha\leq 0.05$), mostró al manejo orgánico con el mayor contenido de AH (0.206%), seguido por convencional (0.084%) y por último donde hubo alfalfa

(0.078%). El orgánico fue superior al convencional y donde hubo alfalfa (59.22 y 62.13% respectivamente), (Cuadro 16, Figura 23A). En los laboreos convencional y mínimo no se presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 16, Figura 23B).

El contenido de AH, a la profundidad de 15-30 cm, en el análisis de varianza no presentó diferencias estadísticas en el manejo y laboreo (Cuadro 14). Por tanto, la comparación de medias tampoco presentaron diferencias estadísticas en los manejos y laboreos, pero el manejo donde hubo alfalfa presentó mayor contenido de AH (0.164%), seguido por el convencional (0.163%) y por último el orgánico (0.096%) (Cuadro A4 y Figura 23A). Superando el manejo orgánico al convencional y orgánico (0.60 y 41.46% respectivamente) (Cuadro 17, Figuras 23A y 23B).

De acuerdo con los resultados obtenidos, principalmente a la profundidad de 0-15, el manejo orgánico con mayor contenido de AH en agregados de 250 μm , demuestran que las estrategias de manejo del suelo influyen tanto en la cantidad de carbono orgánico en el suelo y en su distribución en varias de sus fracciones como pueden ser los ácidos húmicos (Scott y Martin, 1990).

La distribución de AH en agregados de 250 μm , en la interacción manejo-profundidad no presentó diferencias estadísticas en el análisis de varianza (Cuadro 15) y la comparación de medias (Cuadro 18, Figura 23C). Lo anterior se puede deber a que los agregados de 250 μm pueden estar unidos por agentes de unión temporal (raíces, pelos radicales e hifas de hongos), con persistencia de meses y años y por agentes de unión transitoria (microorganismos y polisacáridos de plantas), que persisten por días y meses, siendo producidos en forma rápida, pero siendo degradados también en forma rápida. Ambos agentes de unión son sensibles al manejo (Elliott, 1986), aunque en nuestro estudio, no resultaron afectados por la profundidad.

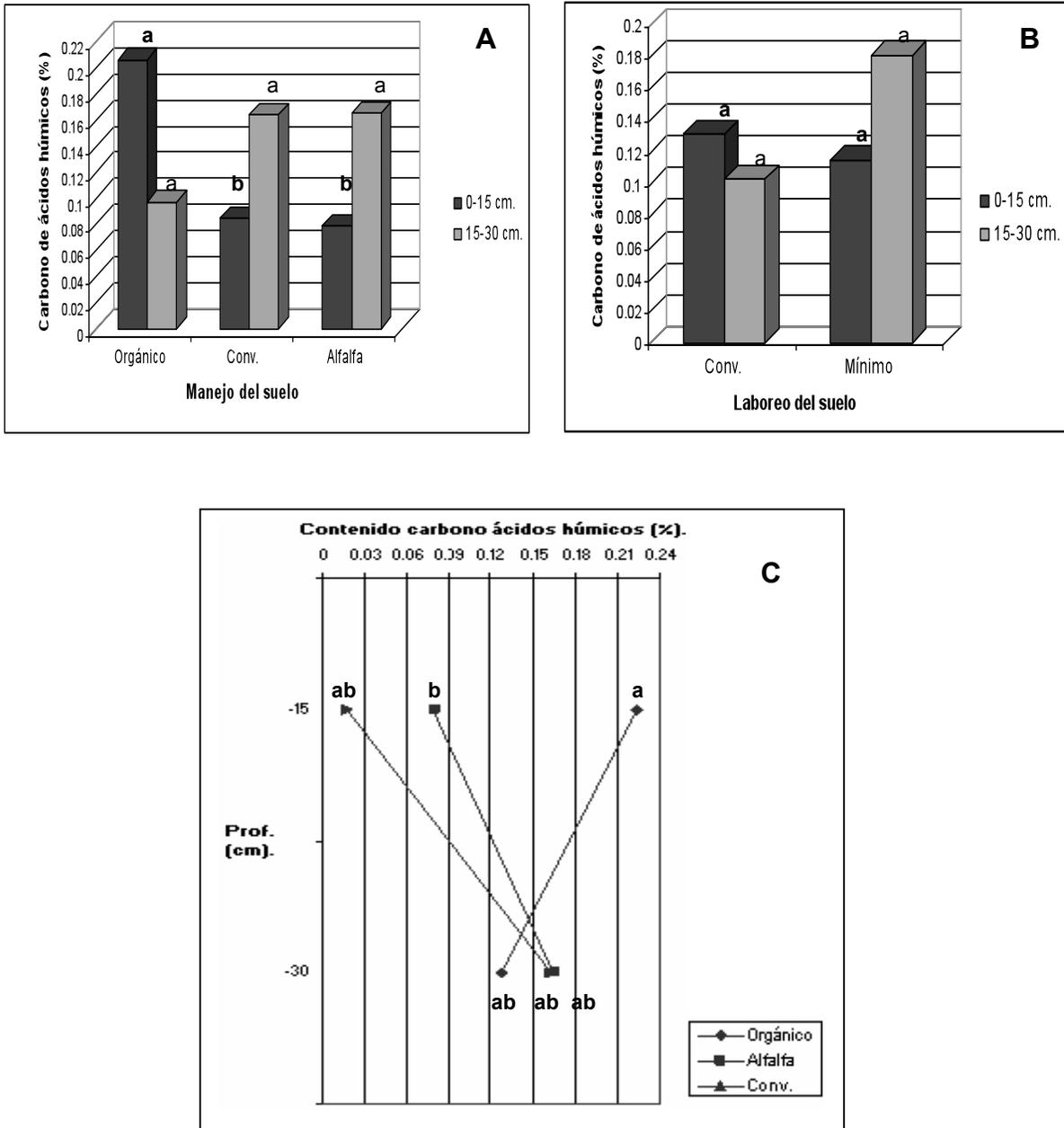


Figura 23. Contenido y distribución de ácidos húmicos en microagregados del suelo de 250 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

6.3.6. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos (AF) en microagregados del suelo de 50 µm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad

El contenido de AF a la profundidad de muestreo de 0-15 cm, la síntesis del análisis de varianza (Cuadro 13) y la comparación de medias (Cuadro 16, Figuras 24A y 24B), no mostraron diferencias estadísticas en los factores manejo y laboreo. Sin embargo, en cuanto al contenido de AF, en primer lugar se encontró al manejo donde hubo alfalfa (0.332%), en segundo lugar al orgánico (0.264%) y en tercer lugar al manejo convencional (0.245%). Por consiguiente, el manejo donde hubo alfalfa superó 20.48% al orgánico y 26.20% al convencional.

De acuerdo con Pujola (1989), en el diagnóstico de la composición húmica del suelo (Cuadro 4), los valores normales del carbono de los AF se encuentran en el intervalo de 0.10-0.30, concordando con los resultados aquí obtenidos, para los diversos manejos: (a) orgánico (0.264%), (b) convencional (0.245%) y (c) donde hubo alfalfa (0.332%); éste último fue ligeramente superior a 0.30. En el caso del laboreo: (a) convencional (0.277) y mínimo (0.283), se encuentran en el intervalo antes mencionados, indicando que los suelos se encuentran en un rango adecuado en cuanto al contenido de AF en agregados de 50 µm.

Los resultados anteriores, concuerdan con lo planteado por Hayes y Clapp (2001) y MacCarthy (2001), en que las sustancias húmicas (SH), se encuentran en la categoría de moléculas con un grado significativo de resistencia a la biodegradación. En la clásica definición ésta incluye, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y materiales de humina. El alto grado de resistencia a la degradación biológica de los ácidos húmicos y de los ácidos fúlvicos, pueden ser atribuidas en parte, a su composición química, especialmente a la ausencia de uniones lábiles (hidrolizables) y a la carencia de unidades repitiéndose regularmente. Los ácidos fúlvicos, también se distinguen por

su contenido superior en grupos funcionales ácidos carboxílico e hidroxifenólico y, por su mayor capacidad para actuar destructivamente sobre los minerales, son muy ricos en polisacáridos, osaninas y aniones minerales como fosfatos (Sequi *et al.*, 1972). Su elevado contenido en cargas aniónicas les confiere una gran aptitud para formar complejos estables con cationes polivalentes (Fe^{+++} , Al^{+++} , Cu^{++} , etc.), con la importancia agronómica que esto supone. La fracción de los ácidos fúlvicos, es considerada la más sensible a factores agronómicos y ambientales.

El contenido de AF a la profundidad de 15-30 cm, en el análisis de varianza ($\alpha=0.05$), (Cuadro 14), el manejo logró influir en su contenido no así el laboreo. La comparación de medias ($\alpha=0.05$) (Cuadro A6) el manejo orgánico presentó el mayor contenido de AF (0.301%), siendo estadísticamente diferente al convencional (0.280%) y donde hubo alfalfa (0.175%), éstos últimos, estadísticamente fueron similares. El manejo orgánico superó al convencional (6.97%) y a donde hubo alfalfa (41.86%) (Cuadro 17, Figura 24A). El contenido de AF en el laboreo convencional (0.252%) y para el mínimo (0,252%), no presentó diferencias estadísticas (Cuadro 17, Figura 24B).

De acuerdo con Pujola, (1989), aquellos suelos que se encuentran en el rango de 0.10- 0.30, como sucedió en los diversos manejos y laboreos, se consideran como suelos normales en cuanto al contenido de AF en agregados 50 μm .

Como se pudo observar, el manejo orgánico presentó el mayor contenido de AF y superó al convencional y donde hubo alfalfa. Lo anterior se puede deber a que los ácidos fúlvicos tienen pesos moleculares más bajos y contenidos de oxígeno más altos que los ácidos húmicos, como resultados, son más polares y móviles. De ésta manera, esta fracción puede ser más representativa de una mayor disponibilidad del pool de la materia orgánica (Wander y Traina, 1996). Los AF presentan pesos

moleculares más bajos que los AH, por esta razón, son la forma predominante de la materia húmica (Mantoura *et al.*, 1978). Geering y Hodgson (1969) concluyeron que tanto los compuestos bioquímicos individuales de los AH (ácidos alifáticos, aminoácidos, etc.) con los constituyentes de los AF, están involucrados en la formación de complejos móviles en los suelos, siendo los AF los más efectivos en la formación de complejos con los metales.

Otros estudio, que remarca la importancia del manejo del suelo, fue el realizado por Quiroga *et al.* (1996) quienes señalan que el manejo afecta la materia orgánica gruesa (>100 μm), mientras que la materia orgánica más fina (<50 μm) es relativamente estable. Resultados obtenidos bajo diferente sucesión de cultivos, mostraron la importancia de las sustancias orgánicas en la fracción orgánica gruesa del suelo (100-200 μm) y sus efectos sobre los cambios y dinámicas de los nutrientes de las plantas (Galantini y Rosell, 1997).

Zalba y Quiroga (1999) evaluaron el contenido de carbono orgánico total y carbono de los ácidos fúlvicos y sus posibles relaciones en fracciones del suelo con tamaños de 0.05-0.1-2 en suelos con diferentes prácticas de manejo: 1) suelos labreados convencionalmente; 2) suelos bajo labranza convencional; y 3) suelos vírgenes. Encontraron que el contenido de carbono de los ácidos fúlvicos en la fracción <50 fue más alto en suelos vírgenes que en suelos bajo labranza de conservación y labreados tradicionalmente. Los resultados confirman que la fracción fina del suelo (arcillas más limo) retienen coloides orgánicos fuertemente.

Tarchitzky *et al.* (2000) evaluaron dos suelos altamente productivos del área del Mediterráneo, España y encontraron que el nivel más alto de AF fue para la fracción de agregados >250 μm . Además, al comparar los contenidos de las fracciones de AH y AF, encontraron que los AF superaron a los AH.

El contenido de AF en los agregados de 50 μm , en la interacción manejo-profundidad (Cuadro 15), el análisis de varianza, presentó diferencias estadísticas ($\alpha=0.05$). Estas diferencias se reflejaron principalmente en el manejo donde hubo alfalfa (Cuadro 18, Figura 24C), en el cual, conforme se incrementa la profundidad, el contenido de AF disminuye. Esto se puede deber por un lado a la composición mineralógica del suelo (textura arenosa) y por otro al manejo del mismo (pocos residuos orgánicos en la superficie del suelo).

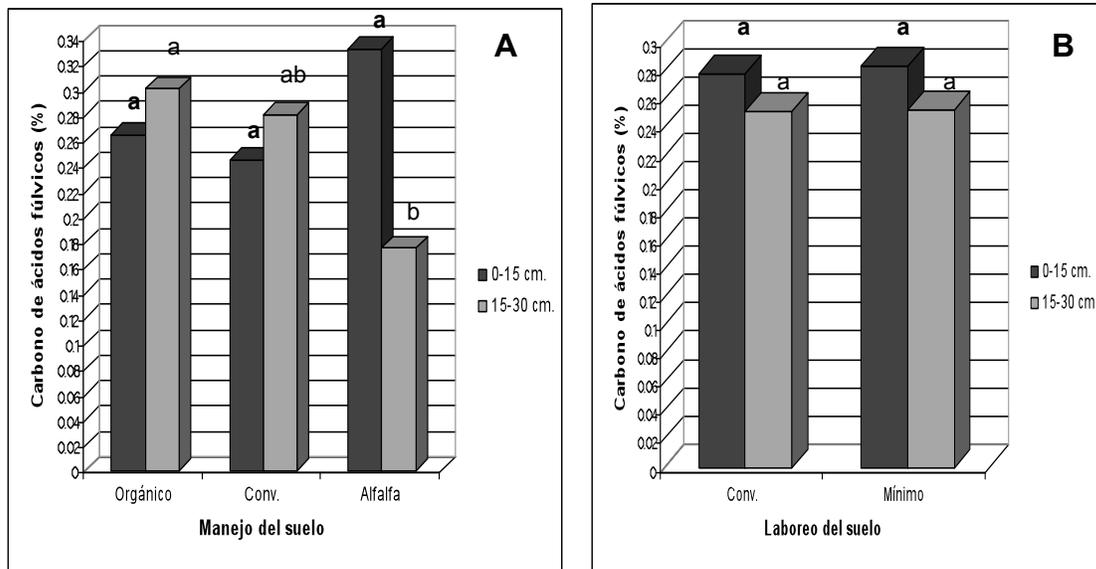


Figura 24. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 50 μm :

(A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

...continuación de la figura 24

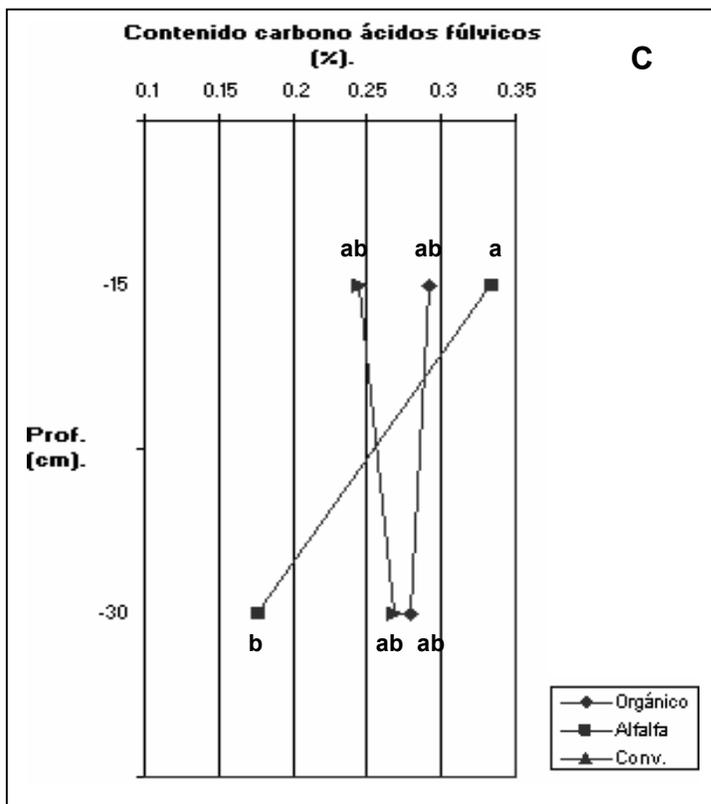


Figura 24. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 50 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.3.7. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos (AF) en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm e interacción manejo x profundidad

El contenido de AF en microagregados de 250 μm , a la profundidad de 0-15, no presentaron diferencias estadísticas en los diversos manejos y laboreos evaluados de acuerdo análisis de varianza (Cuadros 13) y la comparación de medias (Cuadro 16, Figuras 25A y 25B). Sin embargo, el mayor contenido de AF (0.256%) fue para el manejo convencional, seguido por donde hubo alfalfa (0.237%) y por último el orgánico

(0.211%). Superando el manejo convencional (7.42 y 17.57%) a donde hubo alfalfa y orgánico, respectivamente.

El contenido de AF en el mismo tamaño de microagregado, pero a la profundidad de 15-30, el manejo y laboreo no presentaron diferencias estadísticas de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 14) y la comparación de mediana (Cuadro 17, Figuras 25A y 25B). Pero el mayor contenido de AF (0.273%) fue para el manejo orgánico, seguido por donde hubo alfalfa (0.211%) y por último el convencional (0.169%). El manejo orgánico superó (22.71 y 38.09%) a donde hubo alfalfa y convencional, respectivamente. Los resultados anteriores concuerdan con lo encontrado por Serrano *et al.* (2003), en la evaluación del complejo órgano mineral-mineral en dos tipos de suelos y en fracciones de partículas <53 μm .

Aún y cuando no se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de AF en agregados de 250 μm , en los diversos manejos y laboreos evaluados, existen algunos trabajos de investigación que reflejan lo contrario. Por ejemplo, el realizado por Galantini (2001), en suelos de la región semiárida pampeana, sobre el efecto de los siguientes sistemas de producción: trigo continuo (TT), trigo alternado con pastoreo (TP) y trigo-leguminosa (TL) sobre la cantidad y distribución de algunas fracciones orgánicas. Encontró que el contenido de AF se mantuvo semejante al observado en el suelo de referencia (suelo con pastura no cultivado), mientras que disminuyó significativamente (30%) en el sistema TP y considerablemente (50%) en el monocultivo con trigo. Estas variaciones ponen en evidencia la sensibilidad de esta fracción a la variación de la intensidad de las labranzas.

El contenido de AF fue propuesto como indicador de la fertilidad de los suelos de la Pampa Argentina (Zalba y Quiroga, 1999). Esta fracción se encuentra relacionada con el carbono orgánico particulado (COP) y representa junto a esta última la fracción

energética y nutritiva fácilmente accesible a los microorganismos, por sus características estructurales y menor protección física.

Zalba y Quiroga, (1999), encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en los contenidos de carbono de los ácidos fúlvicos en suelos con diferentes manejos (vírgenes, bajo labranza de conservación y laboreados convencionalmente). Estos autores sugieren que los coloides orgánicos en la fracción gruesa del suelo, 0.1-2 mm, es lábil y puede fácilmente perderse debido a una débil asociación órgano-mineral que tiene su existencia en el nivel textural. Asimismo, concluyeron que la fracción del carbono de los ácidos fúlvicos está más influenciada por el sistema de manejo que el carbono orgánico total, confirmando que los suelos con textura más gruesa están más fuertemente influenciados por el manejo del suelo que suelos con textura más fina. Los resultados anteriores, corroboran lo expuesto anteriormente por Quiroga *et al.* (1996) y Buschiazzo *et al.* (1991), quienes observaron que la materia orgánica gruesa (>0.1 mm) fue influenciada fuertemente por el manejo del suelo, mientras que la materia orgánica estable (>0.05 mm) y materia orgánica total fueron positiva y significativamente relacionadas con el contenido de arcilla de los suelos.

En la interacción manejo-profundidad, no se presentaron diferencias estadística de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 15) y la comparación de medias (Cuadro 18). Aunque, la tendencia en el contenido de los ácidos fúlvicos en el manejo convencional y donde hubo alfalfa es a disminuir, mientras que en el orgánico tiende a incrementarse (Figura 25C).

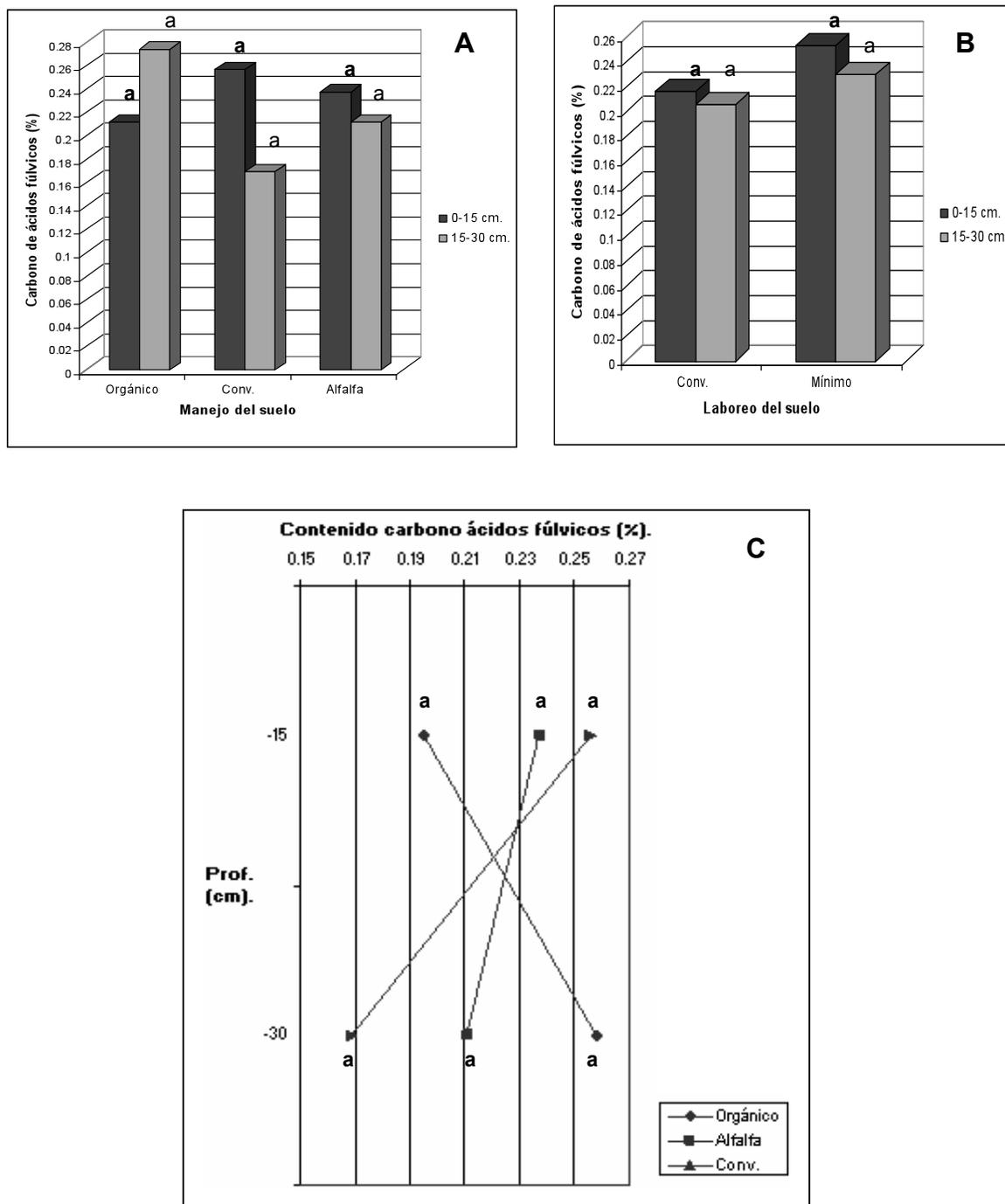


Figura 25. Contenido y distribución de ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 250 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

6.3.8. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

La relación AH/AF, también llamado índice de polimeración (Labrador, 1989) ó de humificación, a la profundidad de 0-15; en el análisis de varianza para el manejo y laboreo no presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 13) y lo mismo sucedió con la comparaciones de medias (Cuadro 16, Figuras 26A y 26B). Sin embargo, el mayor índice de humificación correspondió al manejo donde hubo alfalfa (0.504%), seguido por el orgánico (0.389%) y por último el convencional (0.264%). Por lo tanto, el manejo donde hubo alfalfa superó (22.81 y 48.01%) al orgánico y convencional, respectivamente.

El índice de humificación a la profundidad de 15-30 cm, el manejo y laboreo no presentaron diferencias estadísticas de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 14) y la comparación de medias (Cuadro 17, Figuras 26A y 26B). Pero con un mayor índice de humificación el manejo donde hubo alfalfa (0.553%), seguido por el convencional (0.471%) y por último el orgánico (0.398%). El manejo donde hubo alfalfa superó (14.82 y 28.02%) al convencional y orgánico, respectivamente.

La no presencia de diferencias estadísticas, coincide con lo encontrado por Serrano *et al.* (2003), cuando evaluaron el complejo órgano-mineral en dos tipos de suelos y en fracciones de partículas $<53 \mu\text{m}$, por efecto del encalado. Por el contrario, Galantini (2001) cuando analizó el efecto de los siguientes sistemas de producción: trigo continuo (TT), trigo alternado con pastoreo (TP) y trigo-leguminosa (TL) sobre la cantidad y distribución de algunas fracciones orgánicas en suelos de la región Semiárida Pampeana, halló que la relación AH/AF para el suelo de referencia fue de 2.10, para TL de 2.08, para TP de 3.10 y para TT de 2.82. Estos valores son mucho más elevados que los encontrados en este estudio.

En ambas profundidades, los índices de humificación fueron inferiores a 1.0. De acuerdo con Pujola (1989), valores normales son superiores que 1, mientras que valores inferiores pueden indicar aportes recientes de materia orgánica, mala evolución por razones edáficas y de mal manejo.

También, en ambas profundidades, los valores de la relación AH/AF para los manejos convencional y orgánico fueron los más bajos. Lo anterior, coincide con lo expuesto por Orlov (1992), quién al estudiar la relación AH/AF, hizo mención de que existe una regla a aplicar en cuanto a esta relación. “La relación AH/AF disminuye de 0.3-0.1 y con el tiempo prácticamente llega a cero”. Únicamente las partes más superiores de los horizontes húmicos de los suelos de estepa vírgenes son una excepción a esta regla. Particularmente, la parte superior del horizonte A de los Chernozems comparado con la parte más baja del mismo horizonte, que es caracterizada por un valor más bajo de la relación AH/AF. Esto se debe al enriquecimiento de las capas cercanas a la superficie con menos residuos descompuestos, las cuales, en las etapas iniciales conducen a su humificación y a su relativa acumulación de ácidos fúlvicos. Otra excepción, es para los suelos con un segundo horizonte húmico, donde la composición cualitativa de humus es heredada de la primera etapa de la formación del suelo.

La relación AH/AF en la interacción manejo-profundidad de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 15) y la comparación de medias (Cuadro 18, Figura 26C) indican que no fue afectada estadísticamente.

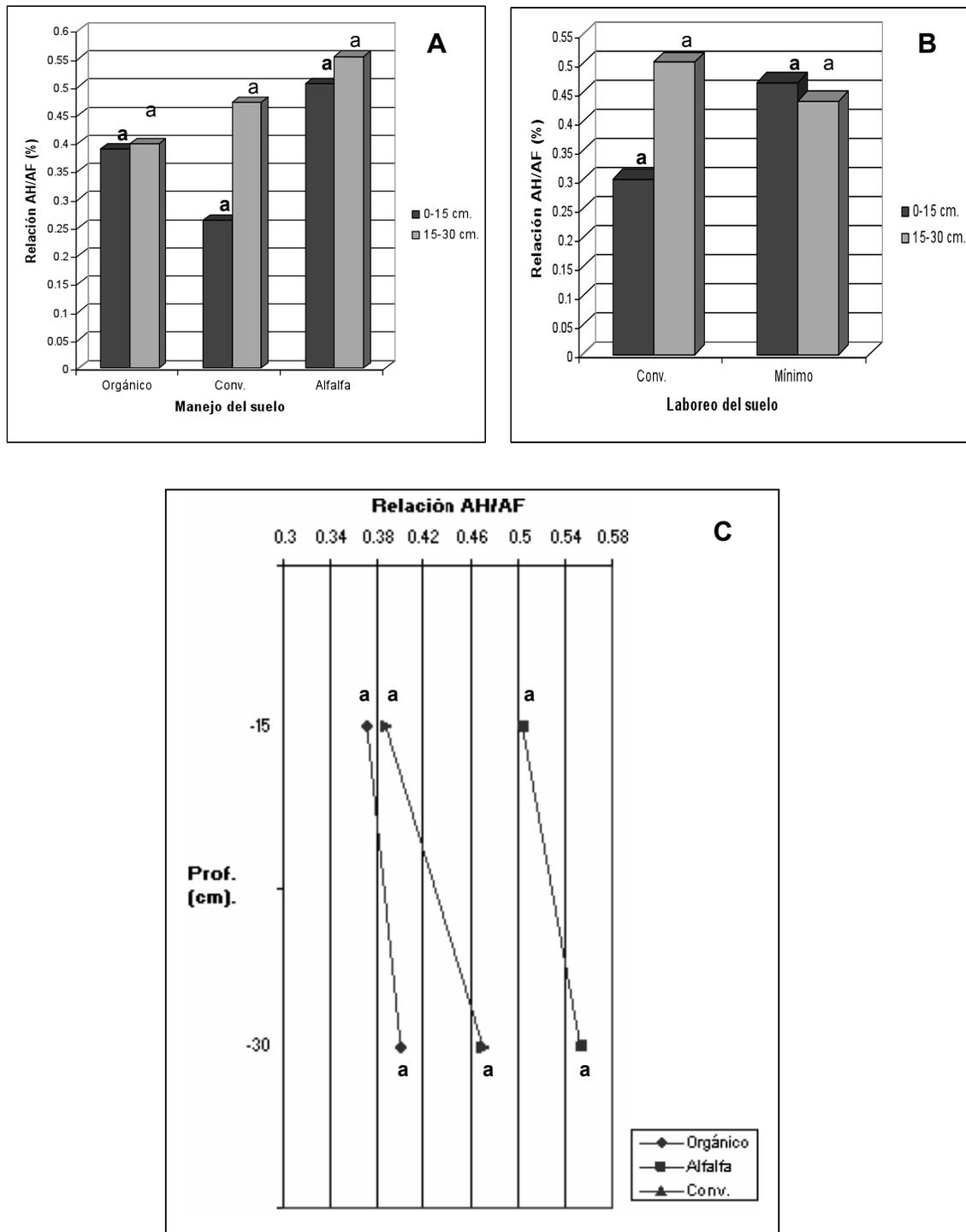


Figura 26. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 50 μm : **(A)** manejo, **(B)** laboreo, **(C)** interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

6.3.9. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

La relación AH/AF a la profundidad de muestreo de 0-15 cm en el análisis de varianza (Cuadro 13) el manejo presentó diferencias significativas ($\alpha=0.05$), mientras que en el laboreo, sus valores fueron estadísticamente similares. La comparación de medias ($\alpha=0.05$) mostró que el manejo orgánico fue estadísticamente diferente y con el valor más alto en dicha relación (0.933%) comparado con el convencional (0.424%), donde hubo alfalfa (0.362%), cuyos valores fueron estadísticamente similares. En consecuencia, el manejo orgánico superó (54.55 y 61.20%) al convencional y orgánico respectivamente (Cuadro 16, Figuras 27A, 27 B); esto indica un menor grado de condensación en los dos último manejos (Labrador, 1996).

En la relación AH/AF a la profundidad de 15-30 cm, el análisis de varianza (Cuadro 14) y la comparación de medias (Cuadro 17, Figuras 27A y 27B) no presentaron diferencias estadísticas en el manejo y laboreo, pero con una relación AH/AF mayor en el manejo orgánico (0.523%), seguido por el manejo donde hubo alfalfa (0.428%) y por último, el convencional (0.310%). Por lo tanto, el orgánico superó (18.16 y 40.72%) a donde hubo alfalfa y convencional, respectivamente. De acuerdo con Pujola, (1989), valores inferiores que 1, indican aportes recientes de materia orgánica, o mala evolución por razones edáficas o de manejo, las cuales pudieran haber sido algunas de las causas de la baja relación de AH/AF, en los agregados de 250 μm .

Los resultados anteriores también coinciden con lo encontrado por Serrano *et al.* (2003), al evaluar el complejo órgano-mineral en dos tipos de suelos, pero en agregados <53 μm , por efecto del encalado. Estos autores no encontraron diferencias significativas en la relación AH/AF en ambos tipos de suelos.

La relación AH/AF no fue afectada por el factor interacción manejo-profundidad, como lo indican el análisis de varianza (Cuadro 15) y la comparación de medias Cuadro 18, Figura 27C).

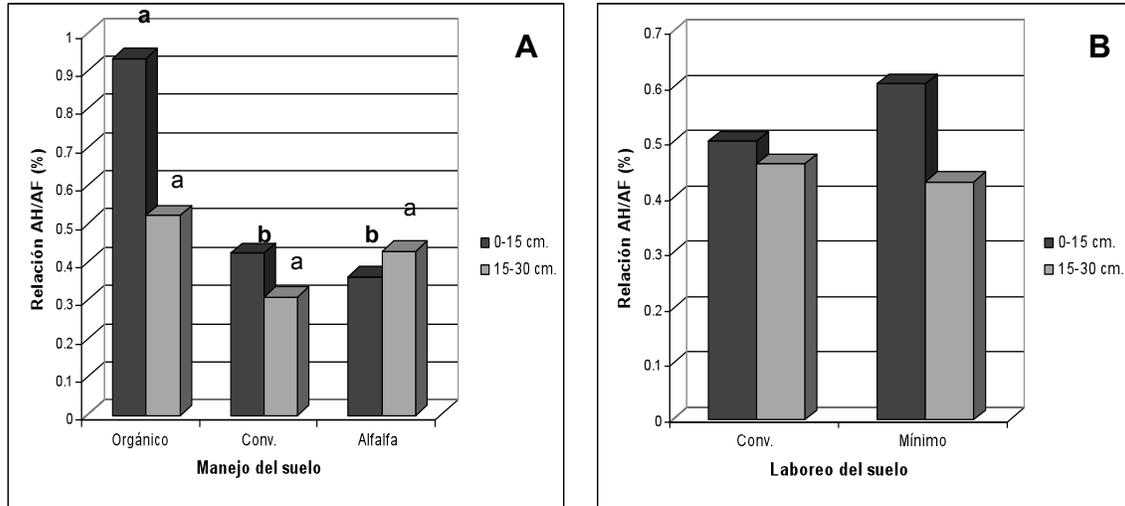


Figura 27. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 250 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

*Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

...Continuación Figura 27

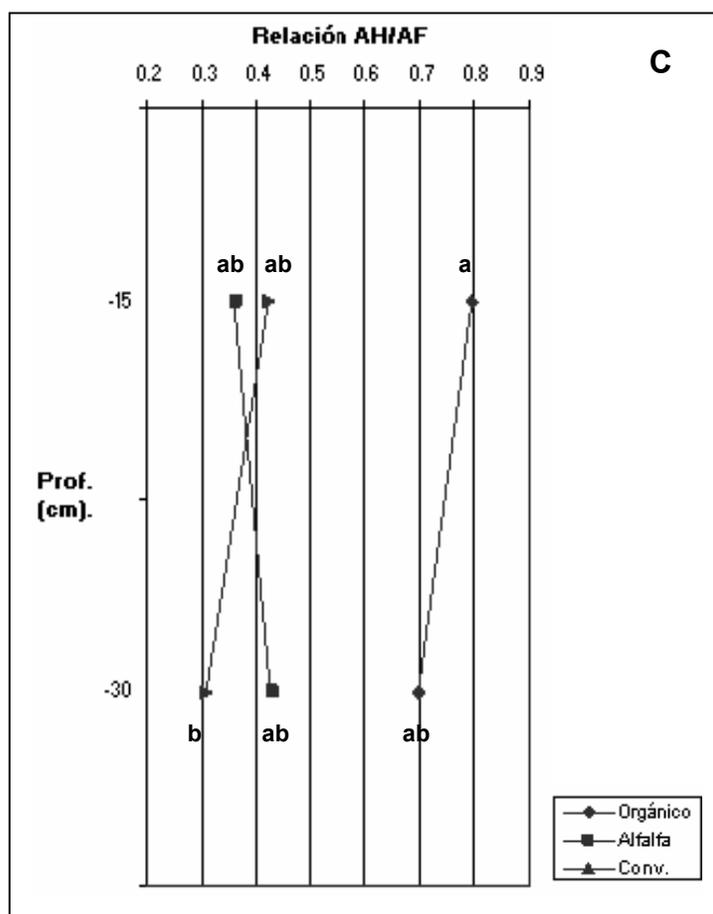


Figura 27. Relación AH/AF en microagregados del suelo de 250 μm : (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

*Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.3.10. Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

La relación de absorbancia a 465 y 665 nm, es referida como la relación E_4/E_6 , también llamada coeficiente de color ó índice de humificación, ha sido usada ampliamente para propósitos de caracterización de las sustancias húmicas. La relación E_4/E_6 para ácidos húmicos son valores normalmente <5.0 (Schnitzer, 1971).

La relación E_4/E_6 de AH a la profundidad de 0-15 cm, el manejo presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha=0.01$), mientras que el factor laboreo no presentó diferencias estadísticas (Cuadro 13). En la comparación de medias ($\alpha=0.05$), el manejo donde hubo alfalfa fue estadísticamente diferente al orgánico y convencional, cuyos valores fueron estadísticamente similares. El manejo donde hubo alfalfa con el valor más alto (3.745%) fue superior al orgánico (3.377%) y convencional (3.092%). Por lo tanto, el manejo donde hubo alfalfa superó (9.82 y 17.43%) al orgánico y convencional, respectivamente (Cuadro 16, Figura 28A). Los laboreos convencional y mínimo (3.345 y 3.463%, respectivamente), fueron estadísticamente similares (Cuadro 17, Figura 28B).

La relación E_4/E_6 , a la profundidad de 15-30 cm, en el manejo y laboreo, el análisis de varianza (Cuadro 14) no presentaron diferencias estadísticas. También, la comparación de medias (Cuadro 17, Figura 28A, 28B) no presentaron diferencias estadísticas. Pero, la mayor relación E_4/E_6 fue para el manejo donde hubo alfalfa (3.458%), seguido por el orgánico (3.389%) y por último el convencional (3.309%). Por lo tanto, el manejo orgánico superó 23.97% al orgánico y 25.77% al convencional.

En ambas profundidades de muestreo, en los diversos manejos y laboreos, la relaciones E_4/E_6 de los AH, se presentaron de la siguiente manera: manejo convencional < orgánico < hubo alfalfa; el laboreo convencional < mínimo. La relación E_4/E_6 en el manejo convencional en ambas profundidades, mostró el valor más bajo. De acuerdo con lo expuesto por Schnitzer (1971), las relaciones E_4/E_6 decrecen al incrementarse el peso molecular y la condensación. De este modo, una relación baja, como fueron el manejo convencional y orgánico, puede ser un indicativo de un alto grado de condensación relativamente de constituyentes aromáticos. Por otro lado,

una relación alta refleja un grado bajo de condensación aromática y se puede inferir la presencia de más estructuras alifáticas relativamente.

En un estudio exhaustivo y amplio sobre el tema, Chen *et al.* (1977) concluyeron que las relaciones E_4/E_6 de ácidos húmicos y fúlvicos fueron gobernadas primero, por tamaños de partículas y pesos moleculares, en forma secundaria, por las relaciones observadas entre la acidez total, contenido de grupos COOH y el contenido de C y O. Una relación inversa ha sido observada entre ésta relación y el tiempo de residencia medio del material húmico; específicamente; el material húmico con más alta relación E_4/E_6 tuvo el tiempo de residencia medio más bajo, indicando que entre más humificado y altamente condensados (aromáticos), las sustancias fueron de origen más antiguo (Campbell, 1958).

Otros estudios que se han realizado y que remarcan la importancia de la relación E_4/E_6 , son los siguientes:

Serrano *et al.* (2003), al evaluar el complejo órgano-mineral en dos tipos de suelos y en fracciones de partículas $<53 \mu\text{m}$, por efecto del encalado, encontraron que para el tipo de suelo 1, la relación E_4/E_6 para los AH disminuyó significativamente ($r=0.961^{**}$) y en el suelo 2, la relación E_4/E_6 disminuyó, pero no significativamente, no siendo afectada por el encalado.

Galantini (2001), en suelos de la región semiárida pampeana, estudió el efecto de los siguientes sistemas de producción: trigo continuo (TT), trigo alternado con pastoreo (TP) y trigo-leguminosa (TL) sobre la cantidad y distribución de algunas fracciones orgánicas. Encontró que las relaciones E_4/E_6 para los AH, para los diferentes sistemas de manejo, se presentaron de la siguiente manera: suelo de referencia, TL y TT (4.8) y TP (4.7). Como se puede observar, los tratamientos

presentan valores similares, indicando valores de aromaticidad y policondensación semejantes entre ellos.

Negre *et al.* (2002), al realizar la evaluación de la composición de los AH en diferentes tipos de suelo, reportaron los siguientes valores para la relación E_4/E_6 : Histosol A (3.8), Histosol B (3.6), Andosol (4.3), Inceptisol (5.3), suelo de arrozal (4.7) y suelo con enmiendas de aguas negras (5.7).

Agnelli *et al.* (2000), en la caracterización química y espectroscópica de las sustancias húmicas en areniscas derivadas de fragmentos de rocas y para los horizontes del suelo A_1 y A_2 , reportaron los siguientes valores para las relaciones E_4/E_6 para los AH; en el horizonte A_1 : tierra fina (6.09), Tierra lavada (5.70), fragmentos de roca altamente alteradas (5.60) y fragmentos de rocas ligeramente alteradas (4.40); para el horizonte A_2 : tierra fina (5.33), tierra lavada (5.27), fragmentos de roca altamente alteradas (5.20) y fragmentos de rocas ligeramente alteradas (4.66). Como se podrá observar, se presentó una disminución en la relación E_4/E_6 de la tierra fina hasta los fragmentos de rocas ligeramente alteradas y en ambos horizontes. De acuerdo con Chen *et al.* (1977), esto se puede deber a la correlación que se da en la disminución de los grupos carboxil.

La relación E_4/E_6 en la interacción manejo-profundidad, el análisis de varianza (Cuadro 15), presentó diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$). La comparación de medias (Cuadro 18, Figura 28C), mostraron que la relación E_4/E_6 se vio afectada en el manejo donde hubo alfalfa ($\alpha=0.05$), con la tendencia a disminuir conforme se incrementó la profundidad. Mientras, que los manejos convencional y orgánico presentaron los valores más bajos con respecto al manejo donde hubo alfalfa. Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Schnitzer (1971) y Campbell (1958).

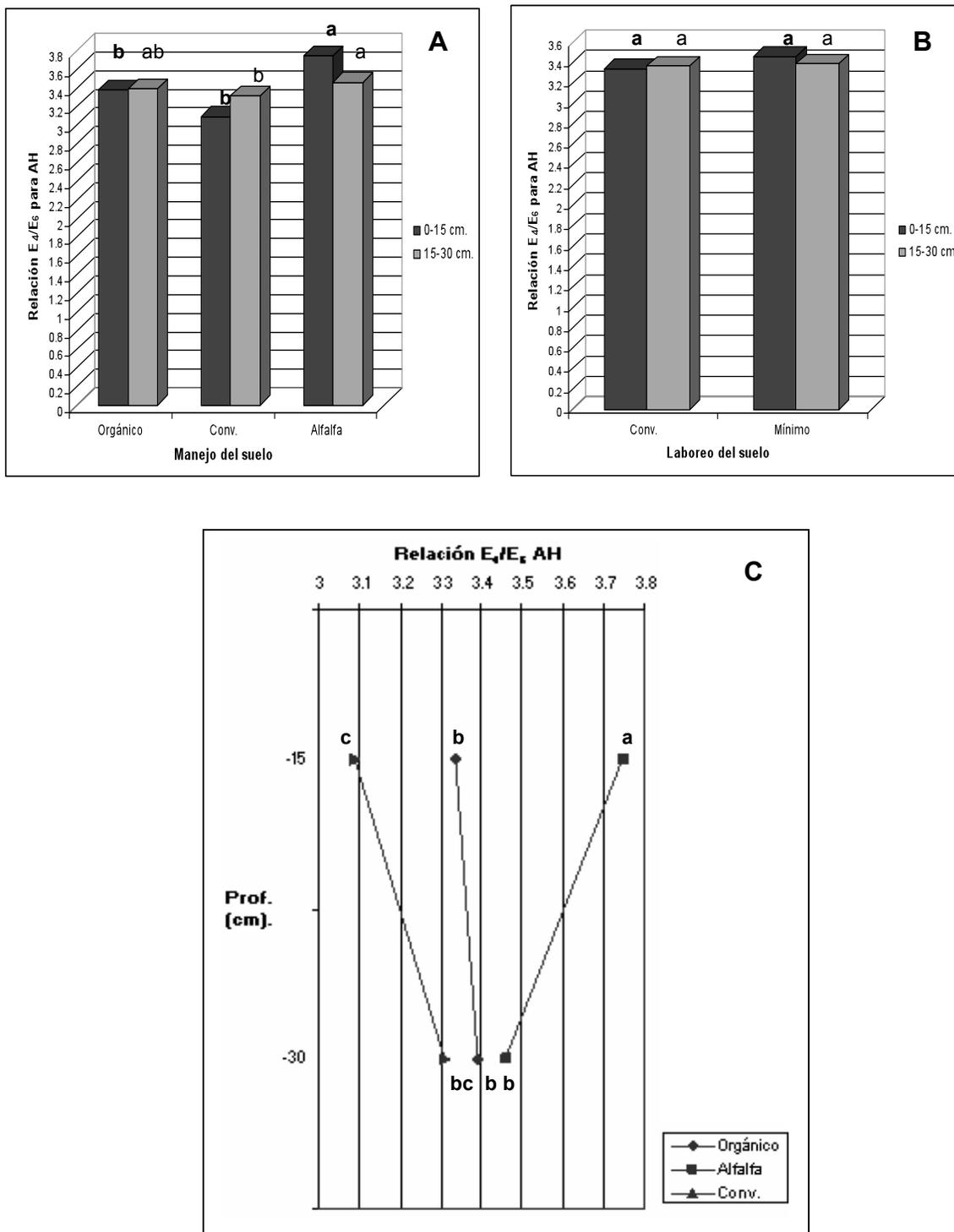


Figura 28. Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados del suelo de $50 \mu\text{m}$: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

6.3.11. Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 cm y la interacción manejo x profundidad

La relación E_4/E_6 a la profundidad de 0-15 el manejo y laboreo no presentaron diferencias estadísticas en el análisis de varianza (Cuadro 13) y comparación de medias (Cuadro 16, Figuras 29A y 29B). Sin embargo, la mayor relación E_4/E_6 fue para el manejo donde hubo alfalfa (3.625%), seguido por el orgánico (3.373%) y por último, el convencional (3.329%). De lo anterior, se desprende que el manejo donde hubo alfalfa superó (6.95 y 8.19%) al orgánico y convencional, respectivamente.

La relación E_4/E_6 a la profundidad de 15-30 cm en el análisis de varianza, el manejo y laboreo no presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 14), lo mismo sucedió para la comparación de medias (Cuadro 17, Figuras 29A y 29B). Sin embargo, en primer lugar, con la mayor relación E_4/E_6 fue para el manejo donde hubo alfalfa (3.617%), el segundo para el orgánico (3.342%) y en el tercer lugar para el convencional (3.285%). Por lo tanto, el manejo donde hubo alfalfa superó al orgánico y convencional (7.60 y 9.17%), respectivamente.

Las relaciones E_4/E_6 aún y cuando no mostraron diferencias estadísticas en los diversos manejos, laboreos y en ambas profundidades de muestreo, sus valores se distribuyeron de la siguiente manera: donde hubo alfalfa > orgánico > convencional.

Como ya se mencionó, la relación de densidades ópticas ó absorbancias de soluciones de ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) a 465 y 665 nm es ampliamente usada para la caracterización de estos materiales. Esta relación, generalmente es referida como E_4/E_6 , según se reporta, es independiente de la concentración de los materiales húmicos, pero varían para materiales húmicos extraídos de diferentes tipos de suelos (Kononova, 1966; Schnitzer y Khan, 1972). Kononova (1966) reportó que las relaciones E_4/E_6 para AH extraídos de suelos

podzólicos son aproximadamente de 5.0, los suelos forestales de colores grises oscuros son de 3.5, los Chernozem de 3.0-3.5, los Sierozem entre 4.5-4.0 y para los Krasnozem aproximadamente de 5.0. En el caso de nuestros suelos, caracterizados como aluviales, los valores de la relación E_4/E_6 para AH en agregados de 250 μm se encontraron entre 3.6-3.2.

Este parámetro ha sido considerado también por ser inversamente relacionado con el grado de condensación aromática, infiriendo la presencia de estructuras alifáticas (Kononova, 1966; Stevenson, 1982). Este parámetro fue usado para evaluar el nivel de condensación de las sustancias húmicas (Arshad *et al.*, 1988; Piccolo *et al.*, 1992; Trunbetskoj *et al.*, 1992). A través del fechado de carbono, Campbell *et al.* (1967) encontraron una relación entre esta proporción y la estabilidad del humus del suelo. Resultados contrastantes han sido reportados por Anderson y Hepburn (1977) y Chen *et al.* (1977), quienes no obtuvieron ninguna relación entre la relación E_4/E_6 de los ácidos húmicos y su aromaticidad. Sin embargo, estos resultados estuvieron basados en la evaluación indirecta de la aromaticidad a través de degradación química, que no han sido bien vistos por no estar de acuerdo con resultados más confiables obtenidos por espectroscopia de resonancia magnética (Hatcher *et al.*, 1981). Negre *et al.* (2002), al aplicar una regresión lineal entre la relación E_4/E_6 y la distribución de carbono por espectroscopia de resonancia magnética de ^{13}C , encontraron una correlación inversa ($R^2 = 0.917$, $P < 0.005$) con el contenido de carbón aromático (95-160 ppm). Estos resultados confirman la seguridad de la relación E_4/E_6 como un indicador del nivel de condensación aromática.

De acuerdo con Chen *et al.* (1977) y Kononova (1966) los valores de E_4/E_6 permiten inferir acerca del grado de aromaticidad de las moléculas de las sustancias

húmicas. Los valores de $E_4/E_6 < 0.5$ son característicos de los ácidos húmicos. En consecuencia, valores bajos implican un alto grado de aromaticidad, como lo sucedido en los manejos convencional y orgánico del presente estudio. También Schnitzer (1971), al caracterizar la relación E_4/E_6 de los ácidos húmicos, las relaciones E_4/E_6 decrecieron al incrementarse el peso molecular y la condensación. Además, sirve como un índice de humificación. De este modo, una relación baja puede ser un indicativo de un alto grado de condensación relativamente de constituyentes aromáticos, como podría ser la relación E_4/E_6 del suelo bajo manejo convencional seguido por el manejo orgánico.

Campbell (1958) observó una relación inversa entre ésta relación y el tiempo de residencia medio del material húmico; específicamente, el material húmico con la más alta relación E_4/E_6 tuvo el tiempo de residencia medio más bajo, indicando que entre más humificado y altamente condensados (aromáticos) las sustancias fueron de origen más antiguo

La relación E_4/E_6 en la interacción manejo–profundidad, el análisis de varianza (Cuadro 15) y la comparación de medias (Cuadro 18, Figura 29C) no presentaron diferencias estadísticas significativas. Por lo tanto, la profundidad no logró influir en el valor de relación E_4/E_6 .

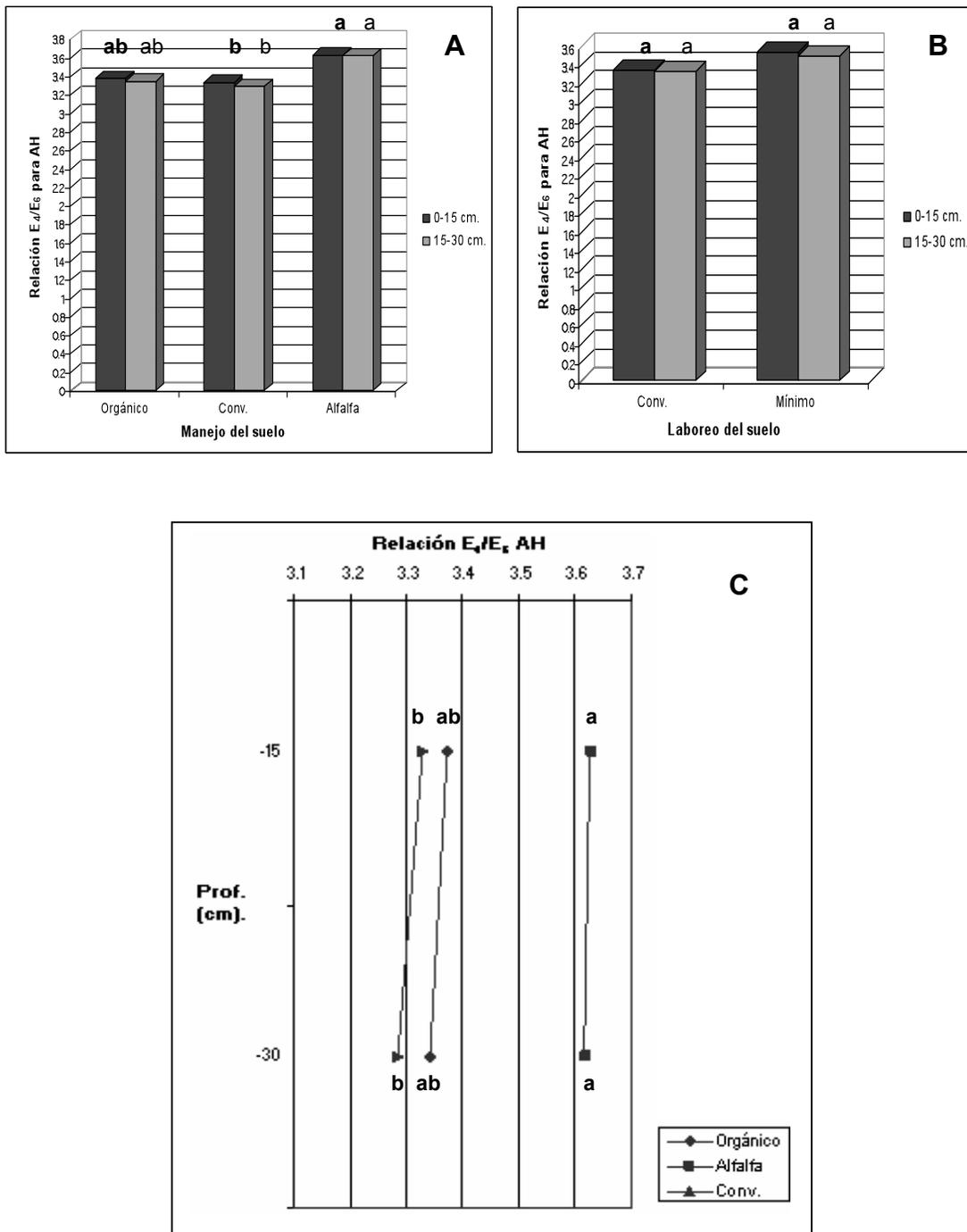


Figura 29. Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados del suelo de $250 \mu\text{m}$: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

6.3.12. Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 50 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 y la interacción manejo x profundidad

La relación E_4/E_6 para los AF a la profundidad de 0-15, el análisis de varianza (Cuadro 13) y la comparación de medias (Cuadro 13, Figuras 30A y 30B), reflejaron que el manejo y laboreo no influyeron en dicha relación. Sin embargo, la relación más alta fue para el manejo orgánico (25.785%), seguido por donde hubo alfalfa (22.770%) y por último convencional (19.070%). Debido a lo anterior, el manejo orgánico superó a donde hubo alfalfa y convencional, (11.69 y 26.04%, respectivamente).

La relación E_4/E_6 a la profundidad de 15-30 cm, el análisis de varianza (Cuadro 14) y la comparación de medias (Cuadro 17, Figuras 30A y 30B), reflejaron que el manejo y laboreo no influyeron en la relación. Sin embargo, la relación E_4/E_6 más alta fue para el manejo donde hubo alfalfa (24.813%), seguida por el orgánico (20.479%) y por último el convencional (12.603%). Sin embargo, el manejo donde hubo alfalfa superó al orgánico y convencional (17.46 y 49.20%, respectivamente).

Aún y cuando la relación E_4/E_6 para los AF no se vio afectada en los diversos manejos y laboreos del suelo en ambas profundidades, los mayores valores de las relaciones, correspondieron al manejo orgánico y donde hubo alfalfa, lo que hace suponer un menor grado de condensación o humificación (Kononova, 1966) de estructuras de relativamente bajo peso molecular. También, relaciones altas de E_4/E_6 indican tiempos de residencias bajos, debido a la presencia de compuestos menos humificados (Campbell, 1958). Serrano *et al.* (2003), al evaluar el complejo órgano-mineral en dos tipos de suelos y en fracciones de partículas $<53 \mu\text{m}$, por efecto del encalado, encontraron que en el suelo 1, la relación E_4/E_6 para los AF se incrementó

significativamente ($r=0.719^{**}$), mientras que en el suelo 2, decreció de manera significativa ($r=0.719^*$).

Agnelli *et al.* (2000) al caracterizar las sustancias húmicas en diferentes fracciones de suelo, derivadas de fragmentos de rocas en los horizontes A1 y A2, encontraron los siguientes valores con respecto a la relación E_4/E_6 para los AF: en el horizonte A1 para las diferentes fracciones de suelo fueron: tierra fina (8.46), Tierra lavada (13.39), fragmentos de roca altamente alteradas (13.38) y fragmentos de rocas ligeramente alteradas (12.68); para el horizonte A2: tierra fina (15.15), Tierra lavada (10.48), fragmentos de roca altamente alteradas (10.52) y fragmentos de rocas ligeramente alteradas (8.26). Las relaciones E_4/E_6 se encontraron en el rango de 8-15, con el valor más bajo para tierra fina (8.46) en A1 y para fragmentos de rocas ligeramente alteradas en el horizonte A2 (8.26). La relación E_4/E_6 generalmente esta en concordancia con los contenidos de los grupos carboxil (COOH).

La relación E_4/E_6 en la interacción manejo-profundidad, la comparación de medias presentó diferencias estadísticas, siendo afectado por la profundidad. Se observó tendencia a la disminución en los valores de la relación E_4/E_6 en el manejo orgánico y convencional, a diferencia del manejo donde hubo alfalfa, en la cual tienden a aumentar dichos valores.

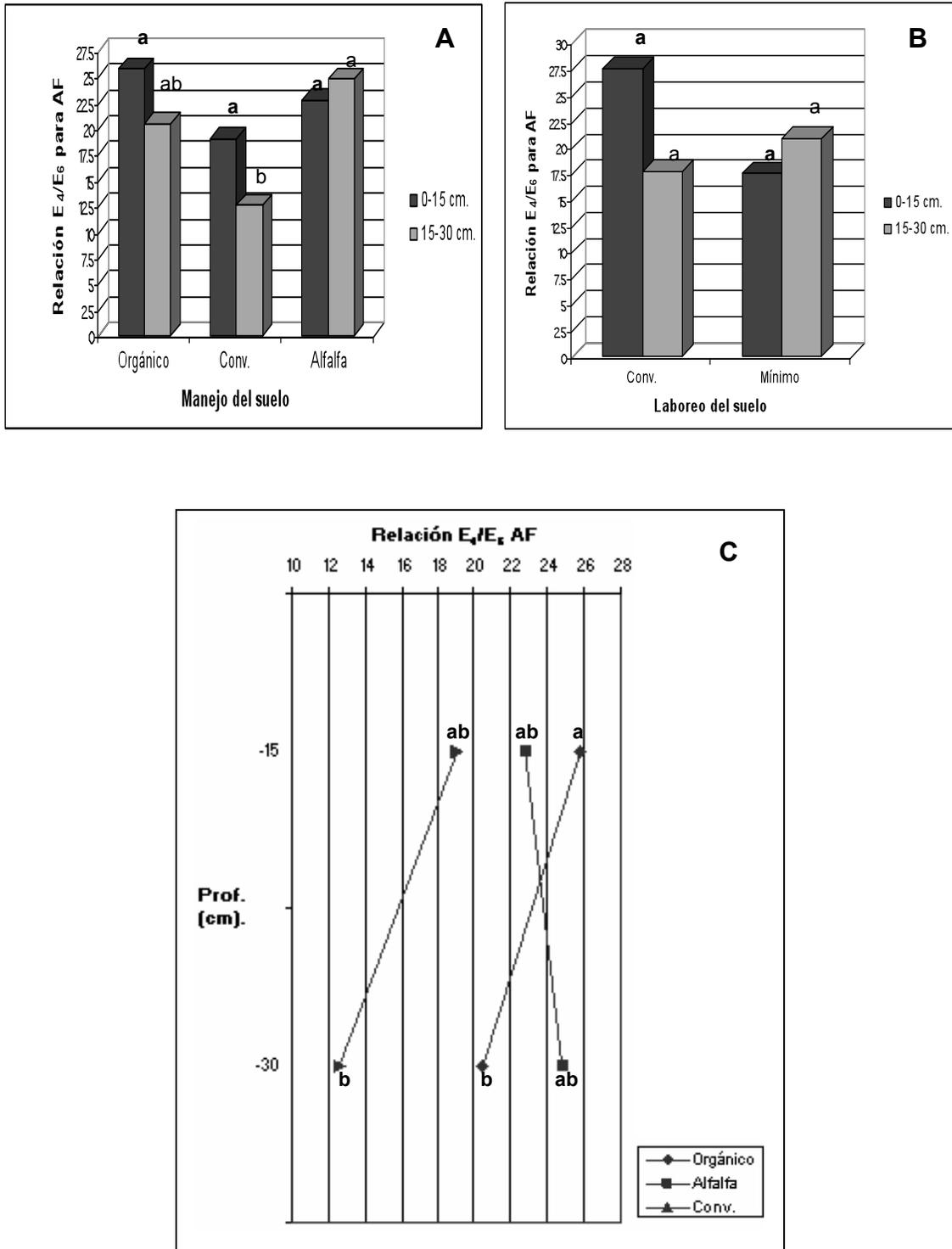


Figura 30. Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de $50 \mu\text{m}$: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

6.3.13. Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 250 μm en las profundidades 0-15 y 15-30 y la interacción manejo x profundidad

La relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos (AF), a la profundidad de muestreo de 0-15 cm, el manejo y laboreo no presentaron diferencias estadísticas, como lo indican el análisis de varianza (Cuadro 13) y la comparación de medias (Cuadro 16, Figuras 31A y 31B). Sin embargo, la mayor relación E_4/E_6 correspondió al manejo donde hubo alfalfa (24.011%), seguido por el convencional (17.890%) y por último el orgánico (16.400%). En vista de lo anterior, el manejo donde hubo alfalfa superó (25.49 y 31.69%) al convencional y orgánico, respectivamente.

La relación E_4/E_6 , pero a la profundidad 15-30 cm, el análisis de varianza (Cuadro 14), en el manejo mostró diferencias estadísticas ($\alpha \leq 0.05$), mientras que en el factor laboreo, sus valores fueron estadísticamente similares. La comparación de medias (Cuadro 17, Figuras 31A y 31B), reflejó que el manejo donde hubo alfalfa (27.066%) fue similar al convencional (16.309), pero diferente estadísticamente ($\alpha = 0.05$) al orgánico. Por consiguiente, el manejo donde hubo alfalfa superó al convencional y orgánico (39.74 y 54.54%, respectivamente). Lo anterior, hace suponer que conforme se incrementa el valor de la relación existe un menor grado de condensación y humificación (Kononova, 1966) y tiempos de residencia menores, debido a la presencia de compuestos menos humificados.

La relación E_4/E_6 para AF en microagregados de 250 μm , no fue afectado por la profundidad, como se puede ver en la interacción manejo-profundidad (Cuadro 15 y Figura 31C).

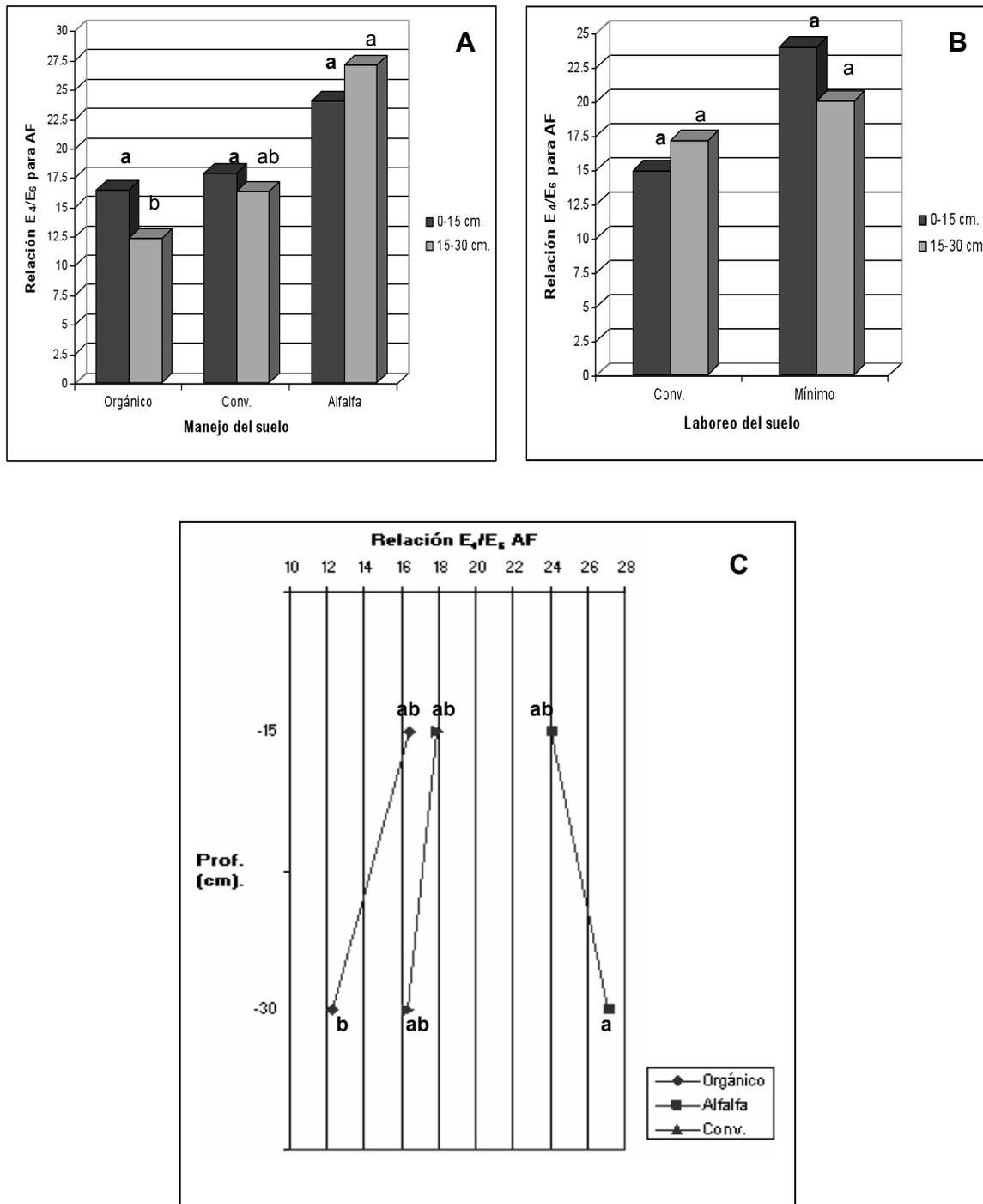


Figura 31. Relación E₄/E₆ para ácidos fúlvicos en microagregados del suelo de 250 μm: (A) manejo, (B) laboreo, (C) interacción manejo-profundidad.

* Barras y líneas con la misma literal, indican valores estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

6.4. Variables vegetales del desarrollo del cultivo

6.4.1. Resultados del análisis estadístico

El Cuadro 19 indica que tanto el manejo como el laboreo no tuvieron un efecto significativo en las variables altura de planta, diámetro de tallo y área foliar.

Cuadro 25. Resultados del análisis de varianza del efecto del manejo y laboreo del suelo en las variables de estudio del cultivo de cultivo de maíz. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedades	Factores	
	Manejo	Laboreo
Altura de planta 1 (cm)	n.s.	n.s.
Altura de planta 2 (cm)	n.s.	n.s.
Altura de planta 3 (cm)	n.s.	n.s.
Diámetro de tallo 1 (cm)	n.s.	n.s.
Diámetro de tallo 2 (cm)	n.s.	n.s.
Diámetro de tallo 3 (cm)	n.s.	n.s.
Área foliar 1 (cm ²)	n.s.	n.s.
Área foliar 2 (cm ²)	n.s.	n.s.
Área foliar 3 (cm ²)	n.s.	n.s.

**Altamente significativo ($\alpha < 0.01$)

* Significativo ($\alpha < 0.05$)

n.s. No significativo

Cuadro 26. Resultados de la comparación múltiple de medias de tratamientos del efecto del manejo y laboreo en las variables de estudio del cultivo de maíz. Chapingo, México (2002-2003).

Propiedad	Manejo			Laboreo	
	Orgánico	Alfalfa	Conven.	Conven.	Mínimo
Altura de planta 1 (cm)	56.12a	51.54a	57.46a	54.19a	55.89a
Altura de planta 2 (cm)	109.08a	99.08a	104.25a	97.63a	110.54a
Altura de planta 3 (cm)	225.42a	221.50a	201.17a	210.07a	221.99a
Diámetro de tallo 1 (cm)	1.47a	1.20a	1.17a	1.21a	1.34a
Diámetro de tallo 2 (cm)	2.49a	2.32a	2.42a	2.31a	2.51a
Diámetro de tallo 3 (cm)	2.49a	2.40a	2.36a	2.35a	2.47a
Área foliar 1 (cm ²)	74.68a	56.09a	58.19a	58.62a	67.35a
Área foliar 2 (cm ²)	170.72a	168.82a	136.58a	151.11a	166.30a
Área foliar 3 (cm ²)	245.59a	241.71a	258.67a	245.79a	251.52a

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

Durante el desarrollo del cultivo de maíz (Figuras: 36, 37, 38, 39, 40, 41y 42) se registraron tres lecturas: en la etapa inicial, intermedia y final del cultivo, de las variables altura de planta, diámetro de tallo, área foliar. El análisis estadístico reflejó los siguientes resultados:

6.4.2. Altura de planta

La altura de planta de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 19) y la comparación de medias Cuadro 20, Figura 32), reflejaron que tanto el manejo como el laboreo no tuvieron efecto significativo en ésta. Con respecto al manejo, en la primer lectura, el manejo convencional superó al orgánico y donde hubo alfalfa (2.33 y 10.30%, respectivamente). Mientras que en la segunda lectura, el manejo orgánico superó al convencional y donde hubo alfalfa (4.42 y 9.16%, respectivamente). Por último, en la tercer lectura, otra vez el manejo orgánico superó a donde hubo alfalfa y convencional (1.73 y 10.61%, respectivamente). En cuanto al laboreo, el mínimo siempre fue superior al convencional en las tres lecturas (3.04, 11.58 y 5.36%).

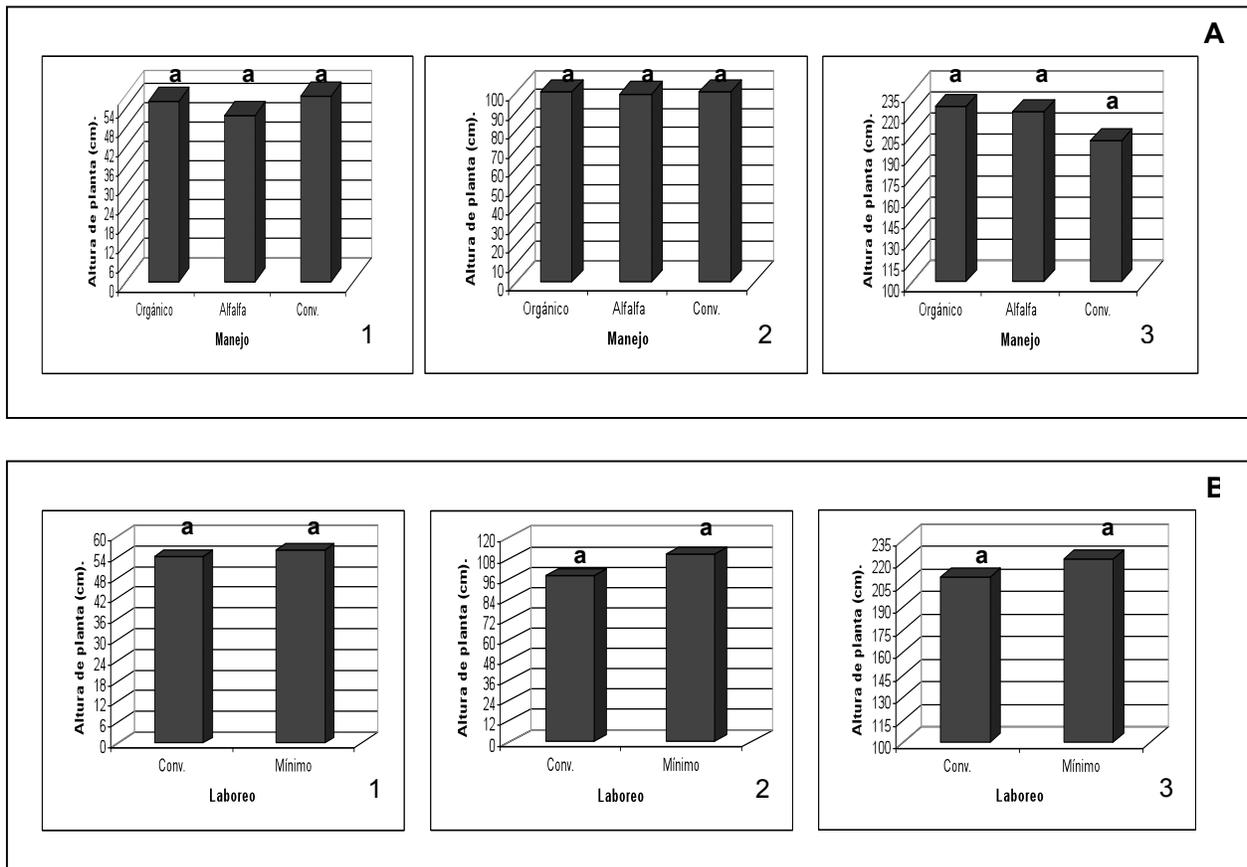


Figura 32. Altura de planta en tres fechas del cultivo de maíz: **(A)** manejo y **(B)** laboreo. Chapingo, México (2002-2003)

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.4.3. Diámetro de tallo

El análisis de varianza (Cuadro 19) y la comparación de medias (Cuadro 20, Figura 33), muestran que tanto el manejo como el laboreo no afectaron de manera significativa el diámetro de tallo en el cultivo de maíz. Sin embargo, los resultados de cada uno de ellos se mencionan se continuación: En la lectura uno, el manejo orgánico fue superior a donde hubo alfalfa y convencional (18.36 y 20.40%, respectivamente). En la lectura dos, el manejo orgánico fue superior (2.81 y 6.82%) al convencional y donde hubo alfalfa, respectivamente. En la tercer lectura, otra vez el manejo orgánico fue superior a donde hubo alfalfa y convencional, (3.61 y 5.22%,

respectivamente). En cuanto al laboreo, el mínimo en las tres lecturas fue superior al convencional (9.70, 7.96 y 4.85%).

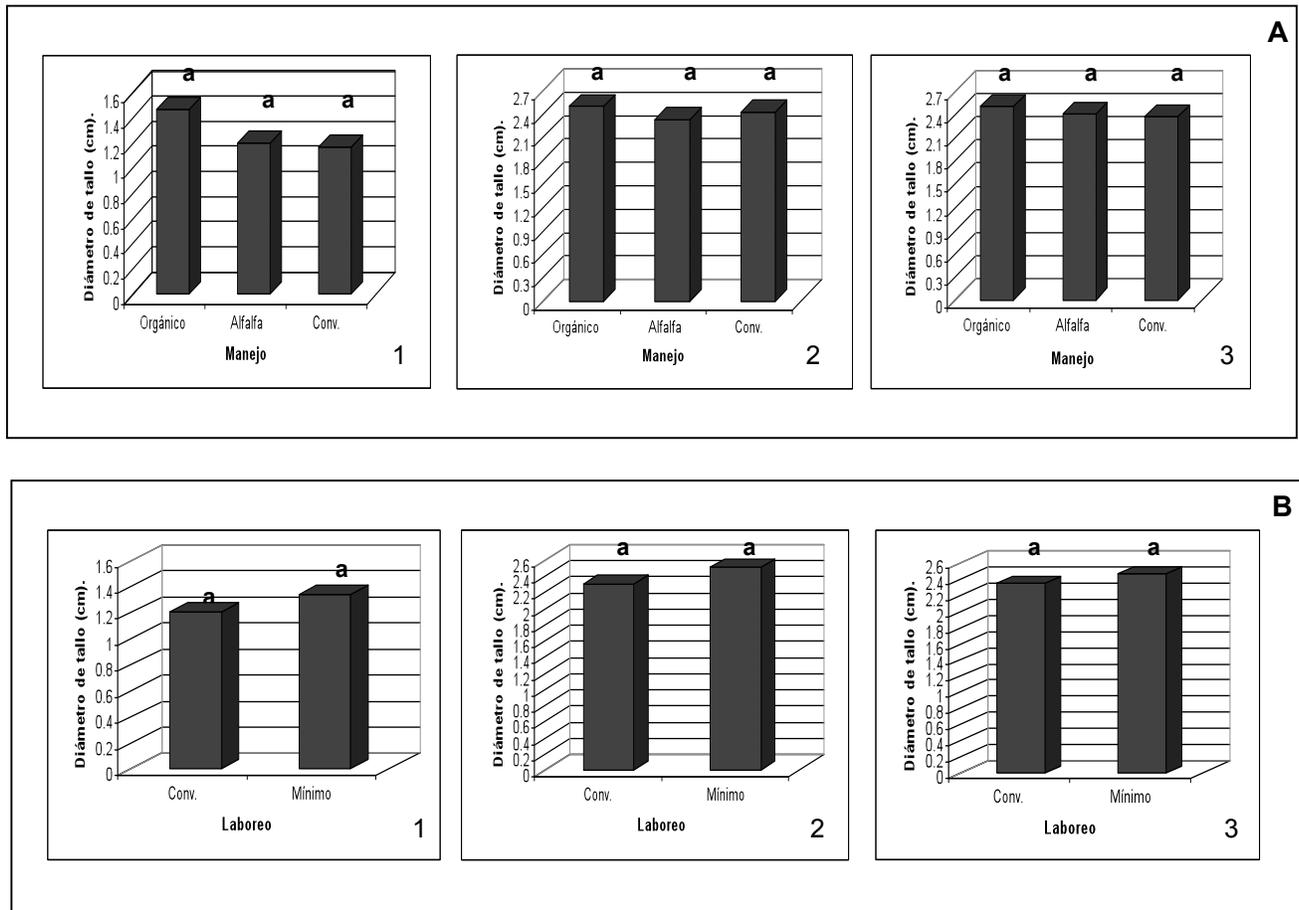


Figura 33. Diámetro de tallo en tres fechas del cultivo de maíz: **(A)** manejo y **(B)** laboreo. Chapingo, México (2002-2003)

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.4.4. Área foliar

Al igual que las dos variables anteriores, ésta variable en los factores manejo y laboreo, el análisis de varianza (Cuadro 19) y la comparación de medias (Cuadro 20) no indicaron diferencias significativas. El manejo orgánico, en la primera lectura fue superior (22.08 y 24.89%) al convencional y donde hubo alfalfa, respectivamente. En

la segunda lectura, también el manejo orgánico fue superior (1.11 y 19.99%) a donde hubo alfalfa y convencional. Por último, en la tercera lectura el manejo convencional fue superior al orgánico y donde hubo alfalfa (5.05 y 6.55%, respectivamente). En cuanto al laboreo, el mínimo fue superior al convencional en las tres lecturas (12.96, 9.13 y 2.27%), respectivamente).

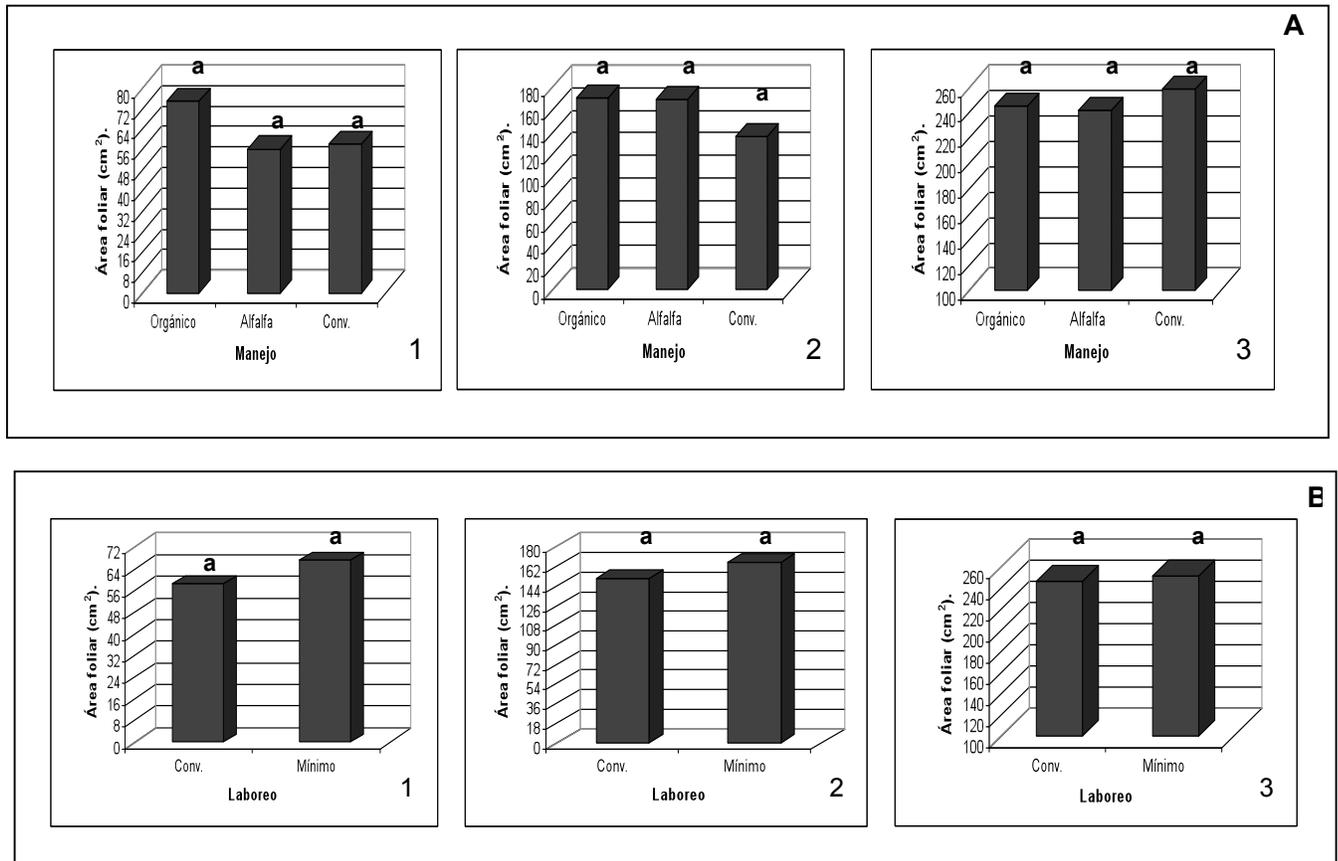


Figura 34. Área foliar en tres fechas del cultivo de maíz: **(A)** manejo y **(B)** laboreo. Chapingo, México (2002-2003).

*La misma literal en sentido horizontal indica valores estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

6.4.5. Materia verde (kg ha⁻¹)

El Cuadro 21 y Figura 35 muestran los kg ha⁻¹ de materia verde en los diversos manejos y sus respectivos laboreos. El manejo orgánico con laboreo mínimo fue superior al manejo orgánico convencional (40.50%). El manejo donde hubo alfalfa

con laboreo convencional superó al manejo con laboreo mínimo (49.65%) y por último, en el manejo convencional con laboreo mínimo superó al manejo convencional con laboreo convencional (12.24%). Los mayores rendimientos se obtuvieron en el manejo orgánico y donde hubo alfalfa, ambos con laboreo convencional.

Cuadro 27. Materia verde (kg ha^{-1}), para los manejos orgánico, donde hubo alfalfa y convencional y sus laboreos convencional y mínimo para cada manejo, respectivamente. Chapingo, México (2002-2003).

Manejo	Laboreo	
	Convencional	Mínimo
Orgánico	11,893.3	19,991.5
Donde hubo alfalfa	31,173.3	15,694.4
Convencional	20,118.9	22,925.2

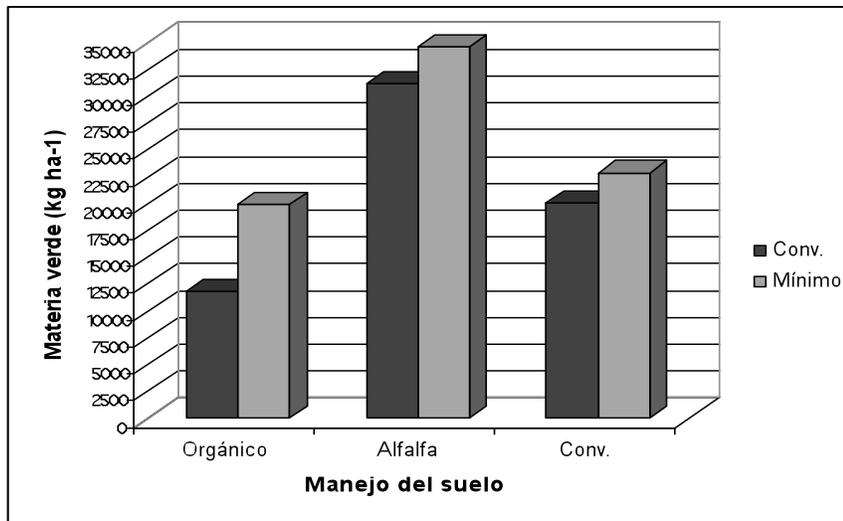


Figura 35. Materia verde (kg ha^{-1}) del cultivo de maíz en diversos manejos y laboreos. Chapingo, México (2002-2003).



Figura 36. Desarrollo del cultivo de maíz en manejo orgánico y laboreo convencional en Chapingo, México (2002-2003).



Figura 37. Desarrollo del cultivo de maíz en manejo orgánico y laboreo mínimo. Chapingo, México (2002-2003).



Figura 38. Desarrollo del cultivo de maíz en manejo donde hubo alfalfa y laboreo convencional. Chapingo, México (2002-2003).



Figura 39. Desarrollo del cultivo de maíz en manejo donde hubo alfalfa y laboreo mínimo. Chapingo, México (2002-2003).



Figura 40. Desarrollo del cultivo de maíz en manejo convencional y laboreo convencional. Chapingo, México (2002-2003).



Figura 41. Desarrollo del cultivo de maíz en manejo convencional y labranza mínima. Chapingo, México (2002-2003).



Figura 42. Desarrollo del cultivo maíz en manejo convencional, laboreo convencional y mínimo. Chapingo, México (2002-2003).

VII. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados anteriores, se pueden inferir las siguientes conclusiones:

7.1. Las propiedades físicas y químicas del suelo, a la profundidad de 0-15 en las cuales el manejo orgánico tuvo un efecto significativo fueron el carbono orgánico con un mayor contenido, densidad aparente menor, pH del suelo neutro, la distribución de agregados en seco presentó un mayor porcentaje de macroagregados en los rangos >6.35, 6.35-4.76, 4.76-3.36, 3.36-2.0, 2.0-1.0, 1.0-0.5 mm y diámetro medio ponderado mayor. El manejo convencional influyó en las propiedades densidad aparente menor, porosidad total alta, la distribución de agregados en seco presentó un porcentaje mayor de macroagregados en el rango 0.5-0.25 mm y en microagregados <0.25 mm. El manejo donde hubo alfalfa no influyó en ninguna de las propiedades evaluadas. Los laboreos convencional y mínimo no afectaron de manera significativa las propiedades físicas y químicas evaluadas. Las conclusiones anteriores se obtuvieron a la profundidad de 0-15 cm.

7.2. Las propiedades físicas y químicas que el manejo orgánico afectó significativamente a la profundidad de 15-30 cm, fueron el carbono orgánico con un mayor contenido, pH del suelo neutro, en la distribución de agregados en seco, mayor porcentaje en agregados con rango >6.35, 6.35-4.76, 4.76-3.36, 3.36-2.0 y un menor porcentaje agregados con rango 0.5-0.25 y <0.25. El manejo donde hubo alfalfa la única propiedad afectada significativamente, fue la densidad aparente con un valor alto. En el manejo convencional, las propiedades no fueron afectadas. Los

laboreos convencional y mínimo no tuvieron ningún efecto significativo en las propiedades físicas y químicas.

7.3. En la interacción manejo-profundidad el manejo orgánico presentó un efecto significativo en las propiedades contenido de carbono orgánico y distribución de agregados en seco en el rango de 1.0-0.5 mm. El manejo donde hubo alfalfa únicamente en la distribución de agregados en seco, con rango de 2.0-1.0 mm. El convencional, en la propiedad porosidad total

7.4. En cuanto al contenido y distribución de carbono y compuestos orgánicos en los microagregados de la fracción 50 y 250 μm a la profundidad de 0-15 cm, de los tres manejos evaluados, el orgánico presentó diferencias significativas con mayor contenido de carbono orgánico en microagregados de 50 μm , mayor contenido de AH en microagregados de 250 μm , mayor grado de humificación en la relación AH/AF, un mayor coeficiente de color en la relación E_4/E_6 de los AH en microagregados de 50 μm . El manejo donde hubo alfalfa con un menor contenido de carbono orgánico en los microagregados de 250 μm y con un porcentaje mayor en la relación E_4/E_6 para AH en microagregados de 50 μm . Por último, el manejo convencional, no presentó diferencias estadísticas. Los laboreos convencional y mínimo no influyeron de manera significativa en los parámetros arriba mencionados.

7.5. En microagregados de 50 y 250 μm , a la profundidad de 15-30 cm, el manejo orgánico fue el que más significativamente influyó, por sus mayores contenidos de

carbono orgánico en microagregados de 50 μm y en los AF en microagregados de 50 μm . En el manejo donde hubo alfalfa la propiedad afectada fue una la relación E_4/E_6 , con un valor alto, para AF en microagregados de 250 μm . El manejo convencional no afectó ninguna propiedad. En cuanto al laboreo, el mínimo presentó los mayores contenidos de carbono orgánico en microagregados de 50 y 250 μm , comparado con el laboreo convencional.

7.6. En la interacción manejo x profundidad, los parámetros que fueron: contenido de carbono orgánico en microagregados de 50 y 250 μm , carbono de AF en microagregados de 50 μm y en la relación E_4/E_6 para AH en microagregados de 50 μm presentaron diferencias estadísticas

7.7. En las variables del cultivo de maíz, de acuerdo a los resultados obtenidos, no se presentaron diferencias significativas en las variables altura de planta, diámetro de tallo y área foliar, tanto en el manejo orgánico, donde hubo alfalfa y convencional, como en el laboreo convencional y mínimo. Para la variable materia verde no se realizó el análisis de varianza ni la comparación de medias y solamente se muestran los datos obtenidos.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Agnelli, L.A., L. Celi, Deg'Innocenti, G. Corti, and F.C. Ugolini.** 2000. Chemical and spectroscopic characterization of the humic substances from sandstone-derived rock fragments. *Soil Science*. Vol. 65, No. 4.
- Ahuja, L.R., D.G. Decoursey, B.B. Barnes y K. Rojas.** 1993. Characteristics of macropore transport studied with the ARS Root Zone Water Quality Model. *Trans. ASAE* 36:369-380.
- Aina, P.O.** 1979. Soil changes resulting from long-term management practices in western Nigeria. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 173-177.
- Albrecht, A., L. Rangon y P. Barret.** 1992. Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d' un vertisol et d' un ferrisol (Martinique). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 27:121-133.
- Alexander, M.** 1980. Effect of acidity on microorganisms and microbial processes in soil. *In: T. Hutchinson and M. Harvas (eds.). Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems.* Plenum Publishing, New York, pp.363-364.
- Allison, F.E.** 1973. Soil organic matter and its role in crop production *Developments in Soil Science*. Volume 3. Elsevier Press, New York.
- Anderson, D.W., and E.A. Paul.** 1984. Organomineral complexes and their study by radiocarbon dating. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:298-301.
- Anderson, H.A., and A. Hepburn.** 1977. Fractionation of humic acid by gel permeation chromatography. *J. Soil Sci.* 28:634-644.
- Anderson, S.H., C.J. Gantzer y J.R. Brown.** 1990. Soil physical properties after 100 years of continuous cultivation. *J. Soil Water Cons.* 45:117-121.
- Andrén, O.** 1987. Decomposition in the field of shoots and roots of barley, lucerne and meadow fescue. *Swed. J. Agric. Res.* 17:113-122.
- Angers, D.A.** 1992. Changes in soil aggregation organic carbon under corn and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1244-1249.
- Angers, D.A., and G.R. Mehuys.** 1989. Effects of cropping on Carbohydrate content and water-stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil Sci.* 69:373-380.
- Angers, D.A., and Giroux, M.** 1996. Recently deposited organic matter in soil water-stable aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1547-1551.
- Angers, D.A., Bolinder, M.A., Carter, M. R., Gregorich, E.G., Varoney, R.P., Drury, C.F., Liang, B.C., Simard, R.R., Donald, R.G., Bayaert, R.P., Martel, J.** 1997. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool humid soils of eastern Canada. *Soil Till. Res.* 41:191-201.

- Arshad, M.A.** 1999. Tillage and soil quality. Tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agroecosystems (editorial). *Soil Till. Res.* 53:1-2.
- Arshad, M.A., M. Schnitzer, and C.M. Preston.** 1988. Characterization of humic acid from termite mounds and surrounding soils, Kenya. *Geoderma* 42:213-225.
- Baldock, J.A. and P.N. Nelson.** 2000. Soil Organic Matter. In: *Handbook of Soil Science*, Ed. Malcolm E. Sumner. CRC Press, Boca raton, London New York, Washington, D.C.
- Balesdent, J., A. Mariotti y D. Boisgontier.** 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41, 587-596.
- Balesdent, J., Chenu, and M. Balabance.** 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53:215-220.
- Barber, R.G., C. Herrera, and O. Díaz.** 1989. Compaction status and compaction susceptibility of alluvial soils in Santa Cruz, Bolivia. *Soil & Tillage Res.* 15:153-167.
- Baver, L.D., W.H. Gardner y W.R. Gardner.** 1980. Física de suelos. UTEHA, S.A. de C.V. México.
- Beare, H.M., P.F. Hendrix, and D.C. Coleman.** 1994. Water-stable aggregates and organic matter fraction in conventional and no-tillage soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:777-786.
- Beare, M.H., R.W. Parmelee, P.F. Hendrix, W. Cheng, D.C. Coleman, y D.A. Croosley, Jr.** 1992. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecol. Monogr.* 62:569-591.
- Becker-Heidmann, P., and H.W. Scharpenseel.** 1992. Studies of soil organic matter dynamics using natural carbon isotopes. *Sci. Total Environ.* 117:305-312.
- Bergstrom, D.W., C.M. Monreal, D.J. King, A. Tomlin, and J. Miller.** 1998. Effects of management on soil enzyme activities. In: Monreal, C.M. Development of standard methodologies: bio-indicators and methodologies to quantify soil quality. COESA Report No. RES/MON-003/97. Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa., 12-84 pp.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge.** 1986. Bulk Density. In: A. Klute, (Ed.). *Methods of soil analysis. Part. I. Physical and mineralogical methods.* Agronomy N° 9. 2^a edition. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. USA. pp:363-382.

- Blewins, R.L., G.W. Thomas, and P.L. Cornelius.** 1977. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn . Agron. J. 69:383-386.
- Bolaños, J.** 1989. Suelos en relación a la labranza de conservación: aspectos físicos. En: Labranza de Conservación de Maíz. Documento de trabajo CIMMYT-PROCIANDINO.
- Bormann, F.H. and G.E. Likens.** 1970. Pattern and Process in a Forested Ecosystem. Springer-Verlag, New York.
- Bowen, H.D.** 1981. Alleviating mechanical impedance. P. 21-53. *In*: Arkin, G.F. y H.M. Taylor (ed.). Modifying the root environment to reduce stress. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Burke I.C., E.T. Elliott, and C.V. Cole.** 1995. Influence of macroclimate, landscape position and management on soil organic matter in agroecosystems. Ecol. Appl. 5:124-131.
- Buschiazzo, D.E., A.R. Quiroga, and K. Stahr.** 1991. Patterns of organic matter acumulation in soils of the semiarid Argentinian pampas. Zeitschr. Pflanzenernahr.
- Buyanovski, G.A., and G.H. Wagner.** 1998. Changing role of cultivated land in the global cycle. *Biology and Fertility of Soils* 27:242-245.
- Cabrera, M.L.** 1993. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. *Soil Sci Soc Am J* 57(1):63-66.
- Cambardella, C.** 1998. Experimental verification of simulated soil organic matter pools. *In*: Lal, L., J.M. Kimble, R.A. Follett y B.A. Stewart. (Eds). Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Raton FL. p 519-526.
- Camberdella, C.A., and E.T. Elliott.** 1993. Carbon and nitrogen mineralization in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1071-1076.
- Campbell, C.A., E.A. Paul, D.A. Rennie, and K.J. McCallum.** 1967. Aplicability of the carbon-dating method of analysis to soil humus studies. *Soil Sci.* 104:217-224.
- Campbell, C.A., Y.W. Jame, O.O. Akinremi, and M.L. Cabrera.** 1996. Adapting the potentially mineralizable N concept for the prediction of fertilizer N requirement. *In*: Ahmad, N. Ed. Nitrogen economy in tropical soils. Kluwer academic publishers, The Netherlands. 61-76.
- Campbell, C.A., E.A. Paul, D.A. Rennie, and K.J. McCallum.** 1958. *Soil Science.*, 104, 152.

- Canada Expert Committee on Soil Survey.** 1987. The Canadian System of soil classification. Agriculture Canada Publ.1646. Canadian Government Publication Centre, Ottawa, Canada.
- Cannell, R.Q., J.D. Hawes.** Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Till. Res.* 30:245-282.
- Carter, M.R.** 1990a. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. J. Soil Sci.* 70:425-453.
- Carter, M.R.** 1992. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil Tillage Res.* 23:361-372.
- Carter, M.R.** 2004. Researching structural complexity in agricultural soils. *Soil and Tillage research.*
- Carter, M.R., B.A. Stewart (Eds.).** 1996. Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. Lewis/CRC Press, Boca Raton, FL, 447 pp.
- Carter, M.R, E.G. Gregorich, D.A. Angers, M.H. Beare, G.P. Sparling, D.A. Wardle, R.P. Varoney.** 1999. Interpretation of microbial biomass measurements for soil quality assessment in humid temperate. *Can. J. Soil Sci.* 79:507-520.
- Chakraborty, G., S.K. Gupta, and S.K. Benerjee.** 1981. Distribution of water-stable aggregates in some soils of West Bengal in relation to organic and inorganic constituents. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 29:17-24.
- Chávez, A.N.** 1991. Efecto de la aplicación de fuerzas externas al suelo sobre sus propiedades físicas y dinámicas. Tesis de maestría en Ciencias. CEDAF-CP, Montecillo, México. 140 p.
- Chen, Y., N. Senesi, and M. Schnitzer.** 1977. Information provided on humic substances by E₄/E₆ ratios. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41:352-358.
- Chenu, C., LeBissonais, and D. Arrouays.** 2000. Organic matter influence on clay Wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of American Journal.* 64: 1479-1486.
- Cheshire, M.V., G.P. Sparling, and C.M. Mundie.** 1983. Effect of periodate treatment of soil on carbohydrate constituents and soil aggregation. *Journal of Soil Science*, 34:105-12.
- Christensen, B.T.** 1996. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. *In: Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils.* Eds. M.R. Carter, and B.A. Stewart. CRC Press, Inc, Boca Raton, Fl. pp. 97-165.

- Coleman, D.C., J.M. Oades, and G. Uehara.** 1989. Dynamic of soil organic matter in tropical ecosystems. Niftal, Honolulu, H.I.
- Coote, D.R., C.A. Malcolm-McGovern, G.J. Wall, W.T. Dickinson, and R.P. Rudra.** 1988. Seasonal variation of irritability indices based on shear strength and aggregate stability in some Ontario soils. *Can. J. Soil Sci.* 68:405-416.
- Crhon, D.M.** 1995. Sustainability of sewage sludge land application to northern hardwood forests. *Ecological applications* 5 (1):53-62.
- Da Silva, A. and B.D. Kay.** 1997a. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 61:877-883.
- De Jager, A., S.M. Nandwa, and P.F. Okoth.** 1998. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON). I. Concepts and methodologies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71 (1-3):37-48.
- De León G.F. y B.J.D. Etchevers.** 1999. Materia orgánica en el suelo y disponibilidad de nitrógeno. In: memoria 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo (CD- ROM). Pucón, Chile.
- Derdour, H., D.A. Angers, and M.R. Laverdiere.** 1993. Caractérisation de l' space poral d' un sol argileux: Effets des ses constituents et du sol. *Can. J. Soil Sci.* 73:299-307.
- Dexter, A.R.** 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil and Till. Res.* 11:199-238.
- Dudley, J.L. and K. Lajtha.** 1993. The effects of prescribed burning on nutrient availability and primary production in sandplain grasslands. *American Midland Naturalist* 130(2):286-298.
- Duxbury, J.M. and S.V. Nkambule.** 1994. Assessment and significance biologically active soil organica matter. In: Doran, J. W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek y B.A. Stewart.
- Edwards, A.P. and J.M. Bremner.** 1967. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.* 18:64-73.
- Ellert, B.H. Y E.G. Gregorich.** 1995. Managemente induced changes in the activily cycling of orgánico matter. En: Carbon forms y functions in forest soil. Pp:119-138.
- Elliot, E.T.** 1987. Aggregates structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated. *Soil Science Society of American Journal.* 50:627-633.
- Elliott, E.T.** 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorous in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:627-633.

- Elliott, E.T. and D.C. Coleman.** 1988. Let the soil work for us. *In*: Eijsackers, H., Quispel, A. (Eds.), *Ecological Implication of Contemporary Agriculture. Proceedings of the 4th European Ecology Symposium*, Wageningen, Munksgaard, Copenhagen, pp. 23-32.
- Emerson, W.W.** 1995. Water retention organic C and soil texture. *Aust. J. Soil Res.* 33:241-251.
- Emerson, W.W., R.C. Foster, and J.M. Oades.** 1986. Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. P. 521-528. *In*: Huang P.M. y M. Schnitzer (eds.). *Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 17*, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Ennis M.T. and J.C. Brogan.** 1961. The availability of copper- humic complejes. *Irish Journal of Agricultural Research*, 1, 35-42.
- Fassbender, H.W. and E. Bornemisza.** 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Hans W. Fassbender y Elemer Bornemisza. 1a. reimpresión. – San José, C.R.: IICA.
- Felbeck, G.T.** 1965. Structural chemistry of soil humic substances, *Adv. Agron.*, 17, 327.
- Figuroa, S.B.** 1982. La investigación en labranza en México. *In*: XV Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (ed.). México, D.F. pp:34.
- Fisher, M.J., I.M. Rao, M.A. Ayarza, C.E. Lascano, J.I. Sanz, R.J. Thomas y R.R. Vera.** 1995. Pasture soils as carbon sink. *Nature* 376:472-473.
- Fog, K.** 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biol. Rev.* 63:433-462.
- Forster, S.M.** 1981. Aggregation of sand from a maritime embryo sand dune by microorganisms and higher plants. *Soil Biology and biochemistry*, 13:199-203.
- Foster, R.C.** 1994. Microorganisms and soil aggregates. P. 144-155. *In*: Pankurst, C.E., B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta y P.R. Grace (ed.). *Soil biota. Management in sustainable farming systems*. CSIRO, East Melbourne, Australia.
- Franzluebbers, A. J.** 2002a. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66:95-106.
- Franzluebbers, A. J.** 2002b. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with deep. *Soil and Tillage Research*, 66:197-205.
- Franzluebbers, A. J., Stuedemann, J.A., Schomberg, H.H., Wilkinson, S.R.** 2000. Soil organic C and N pooles under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biol. Biochem.* 32, 469-478.

- Fyles, J.W., I.H. Beese, and M.C. Feller.** 1991. Forest floor characteristics and soil nitrogen availability on slash-burned sites in coastal British Columbia. *Can. J. For. Res.* 21(10):1516-1522.
- Galantini, J.A.** 2001. Caratterizzazione della frazione organica di suoli argentine: Influenza della tessitura, della rotazione, della lavorazione e della concimazione. Tesis de "Doctorato di Recerca" en Química Agraria, Università degli Studi di Bari, Italia, 114 págs.
- Galantini, J.A. and R.A. Rosell.** 1997. Organic fractions, N, P and S changes in an Argentine semiarid Haplustoll under different crop sequences. *Soil Till. Res.* 42:221-228.
- Galvis, A.S.** 2000. Propuesta para generar indicadores sobre la productividad de los suelos agrícolas. En: LA EDAFOLOGÍA Y SUS PERSPECTIVAS AL SIGLO XXI. TOMO I. UNAM, CP y UACH. 1^{era} Edición, Impreso en México.
- Gee, G.W. and W.I. Bauder.** 1986. Particle-size analysis. *In: Klute, A. (Ed.). Methods of soil analysis. Part. I. Physical and mineralogical methods. Agronomy N° 9. 2^a edition. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. USA. pp:363-382.*
- Geering, H.R. and J.F. Hodgson.** 1969. Micronutrient cation complejes in soil solution. III. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:54-59.
- Golchin, A., J.M. Oades, J.O. Skajemstad and P. Clarke.** 1994b. Soil structure and carbon cycling. *Aust. J. Soil Res.* 32:1043-1068.
- Golchin, A.J., A. Baldock, and J.M. Oades.** 1998. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. P. 245-266. *In: Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart (ed.) Soil processes and the carbon cycle. CRC Press. Inc., Boca Raton, FL.*
- Greaves, M.P. and D.M. Webley.** 1969. The hydrolysis of myoinositol hexaphosphate by soil micro-organism. *Soil Biology and Biochemistry.* 1:37-43.
- Greenland, D.J.** 1994. Long- term cropping experiments in Developing Countries: the need, the history end the future. *In: Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences, ed. Leigh, R.A. y A.E. Johnston, 187-209. Wallingford: CAB international.*
- Greenland, D.J., D. Rimmer, and D. Payne.** 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soil, using a water coherence test. *Journal of Soil Science,* 26:294-303.
- Gross, M.J., W. Ehlers, F.R. Boone, I. White, and K.R. Howse.** 1984. Effects of soil management practice on soil physical conditios affecting root growth. *J. Agric. Eng. Res.* 30:131-140.

- Hajabbasi, M.A. and Hemmat, A.** 2002. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*. 56:205-212.
- Hamblin, A.P.** 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake.
- Hassink, J.** 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1221-1231.
- Hassink, J.** 1995. Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soil. Doctor in de landbouw- en milieuwetenschappen, de Landbouwwuniveriteit. Wageningen, The Netherlands.
- Hassink, J.** 1996. Preservation of plant residues in soils differing in unsaturated protective capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 487-491.
- Hassink, J.** 1997. The capacity of soil to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil.* 191:77-87.
- Hassink, J., F.J. Matus, C. Chenu, and J.W. Delenberg.** 1997. Interactions between soil biota, soil organic matter, and soil structure. *In: Brussaard, L. y C.R. Ferrera. Soil ecology in sustainable agricultural systems.* 15-36 p.
- Hatcher, P.G., M. Schnitzer, L.W. Dennis, and G.E. Maciel.** 1981. Aromaticity of humic substances in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:1089-1094.
- Hayes, M.H.B. and C.E. Clapp.** 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Sci.* 166:723-737.
- Hayes, M.H.B. and R.S. Swift.** 1978. The chemistry of soil organic colloids. p. 179-320. *In: D.J. Greenland and M.A.B. Hayes (ed.). The chemistry of soil constituents.* Jhon Wiley and Sons. New Cork.
- Hayes, M.H.B., P. McCarthy, R.L. Malcolm, and R.S. Swift.** 1989. The search for structure: Setting the scene. *In: Hayes, M.H.B, P. McCarthy, R.L. Malcolm, y R.S. Swift (eds.). Humic Substances II.* Wiley, Chichester, pp. 3-31.
- Haynes, R.J., and G.S. Francis.** 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field condition. *J. soil Sci.* 44:665-675.
- Heard, J.R., E.J. Klavivko, and J.V. Mannering.** 1988. Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soils under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil Till. Res.* 11:1-18.

- Hendrix, P.F., A.J. Franzluebbbers, and D.V. Mc-Cracken.** 1998. Management effects on C accumulation and loss in soils of the southern Appalachian Piedmont of Georgia. *Soil Tillage Res.* 47:245-251.
- Hillel, D.** 1982. *Introduction to soil physics.* Academic Press. Inc. New York. N. Y.
- Hodgson, J. M.** 1978. *Soil sampling and soil description.* Clarendon Press, Oxford, UK.
- Hoegen, B.** 1995. Influence of long-term slurry and mineral fertilizer application on the potential soil nitrogen availability. *Agrobiological Research.* 48 (2):115-126.
- Howeler, R.H., H.C. Ezumah, and D.J. Midmore.** 1993. Tillage systems for root and tuber crops in the tropics. *Soil Till. Res.* 27, 211-240.
- Hulugalle, N.R. and R. Lal.** 1986. Root growth of maize in a compacted gravelly tropical Alfisol as affected by rotation with a woody perennial. *Field Crops Res.* 13:33-44.
- INEGI.** 1981. *Síntesis geográfica, nomenclatura y anexo cartográfico del Estado de México.* México, D. F.
- Innis, G.S.** 1978. Objectives and Structure for a Grassland Simulation Model. *In:* G.S. Innis, Ed., *Grassland Simulation Model,* Springer-Verlag, New York, pp. 1-21.
- Ismail, I., R.L. Blevins, and W.W. Frye.** 1994. Long term no tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:193-198.
- Jackson, M.L.** 1958. *Soil chemical analysis.* Constable, London.
- Jakobsen, B. and A.R. Dexter.** 1988. Influence of biopores on root growth, water uptake and grain yield of wheat. Predictions from a computer model. *Biol. Fert. Soils* 6:315-321.
- Janssen, B.H.** 1993. Integrated nutrient management: the use organic and mineral fertilizers. *In:* *The Role of Plant Nutrients for Sustainable Food Crop Production in Sub-Saharan Africa,* ed. Van Reuler, H. and W.H. Prins, 89-105. Leidschendam: VKP.
- Janzen, H.H., C.A. Campbell, R.C. Izaurralde, B.H. Ellert, N. Juma, W.B. McGill and R.P. Zentner.** 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil and Tillage Research.* 47:181-195.
- Jastrow, J.D. and R.M. Miller.** 1998. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organomineral associations. *In* *Soil Processes in the Carbon Cycle.* R. Lal, J. Kimble, R. Follett y B.A. Stewart (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 207-223.

- Jastrow, J.D., T.W. Boutton, and R.W. Miller.** 1996. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:801-807.
- Jenkinson, D.S.** 1988. Soil organic matter and its dynamics. *In: Wild, A. (Ed.), Soil Condition and plant growth*, 11th ed. Longman, New York, pp. 564-604.
- Jenkinson, D.S. and J.H. Rayner.** 1977. *Soil Sci.*, 122, 298.
- Jenny, H.** 1930. A study on the influence of climate upon the nitrogen and organic matter content of the soil. *M.O. Agric. Exp.Stn. Bull.* 152.
- Johnson, D.W.** 1992. The effects of forest management on soil carbon storage. *Water Air Soil Pollut.* 64:83-120.
- Kacemi, M., H. Hilali, and G. Monro.** 1992. Effect of different tillage methods on bulk density, penetrability and aggregate size distribution on a clay soil. *In: Bourarach, E.H., Oussible, M., Bouaziz, A., El Himdy, B. (Eds.), Proceedings of the International Seminar on Tillage in Arid and Semiarid Areas, Rabat, Morocco, April 1992*, pp. 152-162.
- Kahn, S.U.** 1978. The interaction of organic matter with pesticides. *In: Soil Organic Matter. Developments in Soil Science Volume 8.* Eds. Schnitzer M. and Kahn S.U. Elsevier Press, Oxford.
- Karlen Erbach, D.L., T.C. Kaspar, T.S. Colvin, E.C. Berry, and D.R. Timmons.** 1990. Soil tillage: A review of past perceptions and future needs. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:153-161.
- Kaúrichev, I.S.** 1984. *Prácticas de edafología.* Editorial Mir. Moscú, Rusia. pp:79-85.
- Kay, B.D.** 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 12:1-52.
- Kay, B.D. and D.A. Angers.** 2000. Soil Structure. *In: M.E. Sumner (Ed), The Handbook of Soil Science*, CRC Press Inc., Boca Raton, FL. USA. pp:229-276.
- Kemper, W.D. and E.J. Koch.** 1966. Aggregate stability of soil from the western portions of the United States and Canada. *USDA. Tech. Bull.* 1355.
- Kern, J.S., and M.G. Johnson.** 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. AM. J.* 57:200-210
- Klute, A.** 1982. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: A review. p. 29-43. *In: Unger, P. y D.M. van Doren (ed.) Predicting tillage effects on soil physical properties and processes.* Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Kononova, M.M.** 1961. *Soil Organic Matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility.* Pergamon Press, Oxford.

- Kononova, M.M.** 1966. Soil Organic matter: Its Nature, Its Role in Soil Formation and in Soil Fertility. Pergamon Press, 2nd English ed., Oxford. 544 pp.
- Kooistra, M.J. and M. van Noordwijk.** 1996. Soil architecture and distribution of organic matter. p. 15-53. *In*: M.R. Carter and B.A. Stewart (ed.). Structure and soil organic matter storage in agricultural soils. CRC Press Inc., Boca Raton. FL.
- Labrador, M.L.** 1996. La material orgánica en los ecosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 37-66.
- Ladd, J.N., M. Amato, J.M. Oades.** 1985. Decomposition of plant material in Australian soils.III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field condition. Aust. J. Res. 23, 603-611.
- Ladd, J.N., R.C. Foster, P. Nannipieri, and J.M. Oades.** 1996. Soil structure and biological activity. P. 23-78. *In*: Stotzky, G. y J.M. Bollag (ed.) Soil biochemistry. Vol. 9. Marcel Dekker, New York, NY.
- Lal, R.** 1991. Soil conservation and biodiversity. p. 89-103. *In*: Hawksworth, D.L. (ed.), The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture. CAB International, Wallingford, U. K.
- Lal, R.** 1996. Low input agriculture and greenhouse gas emissions. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. Terra 15:109-118.
- Lal, R. and J.M. Kimble.** 2001. Importance of Soil Bulk Density and Methods of Its Importance. *In*: Lal, R., J.M. Kimble, R. Follet y B.A. Stewart (eds.), Assessment Methods for Soil Carbon. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Lal, R., D. Mokma, and B. Lowery.** 1999. Relation between soil quality and erosion. *In*: Soil Quality and soil erosion. Lal, R. (ed). CRC. Boca Raton, USA. Pp:237-245.
- Lal, R., T.J. Logan, D.J. Eckert, and W.A. Dick.** 1994. Conservation tillage in corn belt of the United Stat. *In*: Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems. Ed. By M.R. Carter. p. 73-104.
- LeBissonnais, Y.** 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I: Theory and methodology. European J. of Soil Sci. 47:425- 437.
- Lees, H.** 1950. A note on the copper- retaining power of a humic acid from a peat soil. Biochemical Journal, 46, 450-451.
- Liang, B.C., E.G. Gregorich, A.F MacKenzie, M. Schnitzer, R.P. Varoney, C.M Monreal, R.P. Bayaert.** 1998. Retention and turnover of corn residue carbon. Soil Sci. Soc. Am. J. 62, 1361-1366.
- Lynch, J.M.** 1983. Soil Biotechnology, Blackwell, Oxford.

- Lynch, J.M. and E. Bragg.** 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. *Adv. Soil Sci.* 2:133-171.
- MacCarthy, P.** 2001. The principles of humic substances. *Soil Sci.* 166:738-751.
- Macedonio, L.G.** 1998. Variabilidad especial de tres propiedades físicas de los suelos del campo agrícola experimental "Xaltepa-La Huerta". Tesis profesional. Chapingo, Mex.
- Mantoura, R.F.C., A. Dickson, and J.P. Riley.** 1978. The complexation of metals with humic materials in natural waters. *Estuarine Coastal Mar. Sci.* 6:387-408.
- Martin, J.K.** 1971. ¹⁴C-labelled material leached from the rhizosphere of plants supplied with ¹⁴CO₂. *Australian Journal of Biological Science*, 24:1131-1142.
- Martin, J.P. and K. Haider.** 1980a. A comparison of the use of phenolase y peroxidase for the synthesis of model humic- type polymers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:983-988.
- Martínez, Z.M.** 1990. Estudio integral de los suelos del Departamento de Campo Experimental de la UACH. Tesis profesional. Chapingo, Mex.
- Monroe, C.D. and E.J. Kladvko.** 1987. Aggregate stability of a silt loam soil as affected by roots of corn, soybeans and heat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 18:1077-1087.
- Mrabet, R.** 2002. Stratificación of soil aggregation and organic matter under conservation tillage system in Africa. *Soil and Tillage Research* 66:119-128.
- Muñoz, R.J.J.** 1993. Efecto de la labranza y residuos de cosecha sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia en la producción de maíz en temporal. Tesis de Maestría en Ciencias. CEDAF-CP, Montecillo, Edo. de México. 190 p.
- Narro, F.E.** 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Edit. Trillas.
- Negre, D.M., D. Vidrola, S. Spera, L. Ferraris, and M. Gennari.** 2002. Effect of the chemical composition of soil humic acids on their viscosity, surface pressure, and morphology. *Soil Science.* 167-No. 10.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers.** 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P. 961. 1010. In D.L. Sparks, *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis* . Part 3. Chemicals methods. Soils Science Society of America. Madison, WI.
- Oades, J.M.** 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5:35-70.
- Oades, J.M.** 1989. An introduction to organic matter in mineral soils. *In:* Dixon, J.B., Weed, S.B., (Eds.), *Minerals in Soils Environments.* *Soil Sci. Soc. Am. J.* Madison, pp. 89-159.

- Oades, J.M.** 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*. 56:377-400.
- Oades, J.M., and A.G. Waters.** 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29:815-828.
- Oden, S.** 1919. Die Humiansauren, chemische, physikalische und bodenkundliche forschung, *Kolloidchem. Beih.*, 11, 75.
- Oguremi, L.T., R. Lal, and O. Babalola.** 1986. Effects of tillage y seeding methods on soil physical properties and yield of upland rice for an Ultisol in Southeast Nigeria. *Soil Tillage Research*. 6:305-324.
- Orlov, D.S.** 1992. *Soil Chemistry*. Russian Translation Series 92, Editorial Balkema.
- Ortiz Solorio C.A. y H.E. Cuanalo de la Cerda.** 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia del área de Chapingo. Colegio de Postgraduados. ENA Chapingo.
- Ortiz, V.B. y Ortiz S.C.** 1990. *Edafología*. Universidad autónoma Chapingo. Departamento de suelos.
- Papendick, R.I., J.F. Parr.** 1997. No-till farming. The way of the future for a sustainable dryland agriculture. *Ann. Arid. Zone* 36:193-208.
- Parton, W.J., D.S. Schimel., C.V. Cole. and D. Ojima.** 1987. Analysis of factors controlling soil organic levels of grassland in the Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:530-536.
- Paustian, K., H.P. Collins, and E.A. Paul.** 1997. Management controls on soil carbon. P. 15-49. *In*: Paul, E.A., E.T. Elliott, K. Paustian y C.V. Cole (ed.) *Soil organic matter in temperate agroecosystems. Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Pera, A., G. Vallini, I. Sireno, M.L. Bianchin, and M. de Bertoldi.** 1983. Effects of organic matter on rhizosphere organisms and root development of *Sorgham* plants in two different soils. *Plant and Soil*, 74:3-18.
- Piccolo, A., P. Zaccheo, and P.G. Genevini.** 1992. Chemical characterization of humic substances extracted from organic-waste amended soils. *Bioresour. Technol.* 40:275-282.
- Pieri, C. and K.G. Steiner.** 1997. The role of soil fertility in sustainable agriculture with special reference to Sub- Saharan Africa. *Agriculture and Rural Development* 1/97, 22-25.
- Pikul, Jr. and J.L., Zuzel.** 1994. Soil crusting and water infiltration affected by long-term tillage and residue management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1524-1530.

- Plante, A.F. and W.B. McGill.** 2002. Soil Aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory- incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil and Tillage Research*. 66:79-92.
- Porta, C.J., R.M. López-Acevedo y L.C. Roquero.** 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª edición, ediciones Mundi-Prensa México.
- Puget, P., C. Chenu, and J. Balesdent.** 1995. Total and Young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science* 46:449-459.
- Pujola, M.** 1989. Els fangs de depuradora com adobs. Efectes sobre la fracció orgànica dels sols. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Quiroga, A.R., D.E. Buschiazzo, and N. Peinemann.** 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian pampas. *Soil Sci.* 161:104-108.
- Robert, M.** 2002. Captura de carbono en los suelos para un mayor manejo de la tierra. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.
- Rasmussen, P.E., H.P. Collins.** 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.* 45:93-134.
- Reicosky, D.C.** 1995. Impact of tillage on soil as carbon sink. *In: Soil and Water Conservation Society (Ed.), Farming for a Better Environment. White Paper. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, pp.50-53.*
- Rhoton, F.E., R.R. Bruce, N.W. Buehring, G.B. Elkins, C.W. Landale, and D.D. Tyler.** 1993. Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil & tillage Research* 28:51-61.
- Rodríguez, F.H. y J.A. Rodríguez.** 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Trillas. México, D. F. 113-114.
- Sánchez, P.A., K.D. Shepherd, M.J. Soule, F.M. Place, R.J. Buresh, A.M.N. Izac, A.U. Mokwunye, F.R. Kwesiga, C.G. Ndiritu y P.L. Woomeer.** 1997. Soil fertility.
- Scott, D.E., y J.P. Martin.** 1990. Syntesis and degradation of natural and synthetic humic material in soils. En P. MacCarthy y cols (Ed.). ASA and SSSA. Madison, Wi. 37-63.
- Scheffer, F. and B. Ulrich.** 1960. Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. 111 Teil, Humus and Humus/Dungung, Bd 1. Stuttgart.

- Schimel, D.S., B.H. Braswell, E.A. Holland, R. McKeown, D.S. Ojima, T.H. Painter, W.J. Parton, and A.R. Townsend.** 1994. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biogeochem. Cycles* 8:279-293.
- Schjønning, P., B.T. Christensen, and B. Carstensen.** 1994. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 años. *Europ. J. Soil Sci.* 45:257-68.
- Schnitzer, M.** 1971. "Characterization of Humic Constituents by Spectroscopy," *in*: McLaren, A. D. y J. Skujins, Eds. *Soil Biochemistry*, Vol. 2, Marcel Dekker, New York, pp. 60-95.
- Schnitzer, M.** 1991. Soil organic matter. The next 75 years. *Soil Sci.* 151:41-58.
- Schnitzer, M.** 2000. A life Perspective on the chemistry of soil organic matter. *Advances in Agronomy*, 68: 1-58.
- Schnitzer, M. and S.U. Khan.** 1972. *Humic substances in the Environment*, Marcel Dekker, New York, p.1.
- Schnitzer, M. and S.U. Khan.** 1978. *Soil Organic Matter. Developments in Soil Science*, Volume 8. Elsevier Press, Oxford.
- Scoones, I. and C. Toulmin.** 1998. Soil nutrient balances: what use for policy? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71(1-3):255-267.
- Sequi, P., G. Guido, and G. Petruzelli.** 1972. *Agrochimica*. 16 (3). Pp. 224-232.
- Serrano, B.J.A., B. Ceccanti, G. Masciandaro, J.F. Gallardo, C. García-Izquierdo, and A. Escalante.** 2003. Evaluación química estructural del complejo órgano-mineral por encalado de suelos cafetaleros. *Agrchimica*, Vol. XLVII, No. 5-6.
- Shen, C.D., T.S.Liu, S.L. Peng, Y.M. Sun, M.T. Jiang, W.X. Yi, C.P. Xing, Q.Z. Gao, Z.A. Li, G.Y. Shou.** 1998. ¹⁴C measurement of forest soil in Dinghushan Biosphere Reserve. *Chin. Sci. Bull.* 44:251-256.
- Simpson, K.** 1983. *Soil*. Longman, London.
- Six, J. Paustian., K. Elliott. and C. Combrink.** 2000a. Soil structure and soil organic matter: Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:681-689.
- Six, J., E.T. Elliott, K. Paustian, and J.W. Doran.** 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1367-1377.

- Skujins, J.** 1991. Semiarid Lands and Deserts. Soil Resource and Reclamation. Books in Soils, Plants and the Environment. Marcel Dekker, Inc. New York, USA 668 p.
- Smith, O.L.** 1992. Soil Microbiology: A Model of Decomposition and Nutrient Cycling. C.R.C. Press, Boca Raton, Florida.
- Soil Science Society of America.** 1997. Glossary of soil science terms. Soil Science Society of America, Madison. WI.
- Soil Survey Staff.** 1975. Soil Taxonomy. USDA Handb. 436. US Government Printing Office Washington DC.
- Sollins, P., P. Homann, and B.A. Cadwell.** 1996. stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. *Geoderma* 74: 65-105.
- Sörensen, L.H.** 1981. Carbon-nitrogen relationships during the humification of celulosa in soils containing different amounts of clay. *Soil Biol. Biochem.* 13, 313-321.
- Spain, A.** 1990. Influence of environmental conditions and some soil chemical properties on the carbon and nitrogen contents of some tropical Australian rainforest soils. *Aust. J. Soil Res.* 28, 825-839.
- Stevenson F.J. and M.S. Ardakini.** 1972. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In *Micronutrients in Agriculture*, pp. 79-114. Eds. Mortvedt J. J., Giordano P. M. W.J. Lindsay. Soil Science Society of America.
- Stevenson, F. y M. Cole.** 1999. Cycles of soil, second edition. Edit. John Wiley and Sons. C.R.C. Inc. Boca Raton, Florida. Pp:22-20.
- Stevenson, F.J.** 1982. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions, 2nd ed., Jhohn Wiley & Sons, New York.
- Stevenson, F.J.** 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Sons. New York. 496 p.
- Stockdale, E.A., J.L. Gaunt, and J. Vos.** 1997. Soil- plant nitrogen dynamics: what concepts are required?. *European Journal of Agronomy.* 7:145-159.
- Stotte, D., A. Kennedy, and C. Camberdella.** 1999. Impacts of soil organisms and organic matter on soil structure. *In: Soil Quality and Soil Erosion.* Rattan, L. (Ed.). CRC Press. pp:57-66.
- Tan, K.H.** 1985. Scanning Electron microscopy of humic matter as influenced by mhetods of preparation . *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1185-1191.

- Tarchitzky, P.J., P.G. Hatcher, and Y. Chen.** 2000. Properties and distribution of humic substances and inorganic structure-stabilizing components in particle-size fractions of cultivated Mediterranean soils. *Soil Science*. Vol.165, No. 4.
- Thomasson, A.J.** 1978. Towards an objectives classification of soil structure. *Journal Soil Science*. 29:38-46.
- Thomasson, A.J. and A.D. Carter.** 1992. Current and future uses of the UK soil water retention data set. P. 355-359. *In: Van Genuchten, M. Th., F.J. Leij, y Lund, L.J. (ed.) Proc. Int. Worksh. Indir. Meth. Estim. Hydr. Prop. Unsat. Soils.* USDA/ARS/ University of California, Riverside, CA.
- Thurston, J.M., E.D. Williams, and A.E. Johnston.** 1976. Modern developments in an experiment on permanent grassland started in 1856: effects of fertilizers and lime on botanical composition and crop and soil analyses. *Ann. Agron.* 27:1043-1082.
- Tiessen, H., J.W.B. Stewart, and H.W. Hunt.** 1984c. Concepts of soil organic matter transformations in relation to organo-mineral particle size fractions. *Plant and Soil*. 76:287-295.
- Tinker, P.B., J.S.I. Ingram y S. Struwe.** 1996. Effects of slash-and-burn agriculture and deforestation on climate change. *Agriculture, Ecosystems & environment* 58:13-22.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades.** 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Soil Sci.* 33:141-163.
- Trunbetskoj, O.A., O.A. Trubetskaya, and T.E. Khomutova.** 1992. Isolation, purification and some physico-chemical properties of soil humic substances fractions obtained by polyacrylamide gel electrophoresis. *Soil Biol. Biochem.* 24:893-896.
- Turchenek, L.W. and J.M.Oades.** 1979. Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. *Geoderma*, 21:311-343.
- Unger, W.P.** 1991. Organic matter, nutrient and pH distribution in no and conventional-tillage semiarid soils. *Agron. J.* 83: 186-189.
- Van den Bosche, H., A. de Pager, and J. Vlaming.** 1998. Monitoring nutrient Flows and economic performance in African farming systems (NUTMON). II. Tool development. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71(1-3):49-62.
- Van Lanen, H.A.J., G.J. Reinds, O.H. Boersma, and J. Bouma.** 1992. Impact of soil management systems on soil structure and physical properties in a clay loam soil, and simulated effects on water deficits, soil aeration and workability. *Soil Till. Res.* 23:203-20.
- Van Noordwijk, M., C. Cerri, P.L. Woormer, K. Nugroho, and M. Bernoux.** 1997. Soil carbon dynamics in the humid forest zone. *Geoderma* 79:187-225.

- Vauhan, D. And R.E. Malcolm.** 1985. Soil Organic Matter and Biological Activity. Martinus Nijhoff/Dordrecht. The Netherlands.
- Veihmeyer, F.J. and A.H. Hendrickson.** 1927. Soil moisture conditions in relation to plant growth. Plant Physiol. 2:71-82.
- Waksman, S.A., Balliere, Tindall, and Cox.** 1936. Humus: Origin, Chemical Composition and Importance in Nature. London.
- Walkley, A.** 1947. A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soil. Effect of variations in digest condition and of inorganic soil constituents. Soil Sci. 63:251-264.
- 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 Sci. 37:29-38.
- Wander, M.M. and S.J. Traina.** 1996. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils:II. Characterization of composition. Soil Sci. Am. J. 60:1087-1094.
- Whitehead, D.C. and J. Tinsley, J.** 1964. Extraction of soil organic matter with dimethylformamide, Soil Sci., 97, 34.
- Yoder, R.E.** 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. Am. Soc. Agron. 28: 337-351.
- Zalba, P. and A.R. Quiroga.** 1999. Fulvic acid as a diagnostic feature for agricultural soil evaluation. Soil Science. Volúmen 164, No 1. USA.

VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN MICROAGREGADOS DEL SUELO EN DIFERENTES MANEJOS AGRÍCOLAS

Variation of Organic Carbon Content in Soil Microaggregates Under Different Management

Braulio García Favela¹, Gerardo Sergio Benedicto Valdés², Jorge Dionisio Etchevers Barra², Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena²

RESUMEN

Los mecanismos de protección física y bioquímica son importantes para el mantenimiento del carbono orgánico del suelo (COS). Aunque, se ha encontrado que el uso del suelo y las prácticas de manejo afectan fuertemente el balance entre la materia orgánica lábil y la estable en la superficie del suelo, existe poca información acerca de su contribución dentro de las diferentes fracciones de tamaños de los agregados. Por lo anterior, se hace necesario evaluar la variación en el contenido de compuestos orgánicos en fracciones del suelo de 50 y 250 μm , por efecto de la redistribución del carbono debido al manejo del suelo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm.

Los sitios experimentales correspondieron a: A) sitio orgánico; cuenta con la aplicación de compostas, estiércoles y abonos verdes por un periodo de 10 años y la textura del suelo es arcillosa; B) sitio donde se tuvo cultivo de alfalfa por un periodo de 5 años, la textura del suelo va de migajón-arcillo-arenoso hasta migajón arcilloso; C) sitio bajo laboreo convencional, con labores continuos por un tiempo mayor a 30 años, la textura del suelo va de un suelo migajón-arcillo-arenoso hasta arcilloso. El diseño experimental fue un factorial 3x2.

Los resultados fueron los siguientes: el carbono de ácidos húmicos en agregados de 250 μm y la relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados de 50 μm presentaron diferencias estadísticas debido al factor manejo en la profundidad de 0-15 cm. Mientras, que a

la profundidad de 15-30 cm, el carbono de ácidos fúlvicos en microagregados de 50 μm y la relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos también presentaron diferencias estadísticas debido a la redistribución del carbono debido al manejo.

Palabras clave: *Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y relación E_4/E_6 .*

SUMMARY

The mechanisms of physical and biochemical protection are important for the maintenance of the organic carbon of the soil (SOC). Although it has been found that soil use and management practices have a strong effect on the balance between the labile and stable organic matter in the soil surface, there is little information pertaining to its contribution within the different fractions of sizes of the aggregates. Therefore, it is necessary to evaluate the variation in the content of organic compounds in soil fractions of 50 and 250 μm , from the effect of the redistribution of the carbon due to the soil management in depths of 0-15 and 15-30 cm.

The experimental sites corresponded to: A) organic site; with the application of composts, green manuring and organic fertilizer over a 10 year period, soil texture is clay; B) site in which alfalfa had been grown for a period of 5 years, soil texture ranging from sandy-clay- loam to clay-loam; C) site under conventional cultivation, with continuous cultivation for a period of over 30 years, soil texture ranging from sandy-clay-loam to clay. The experimental design was a 3x2 factorial arrangement.

The results were as follows: the carbon of humic acids in aggregates of 250 μm and the ratio E_4/E_6 ratio for humic acids in microaggregates of 50 μm for humic acids in microaggregates of 50 μm presented statistical differences due to the management factor, at the depth of 0-15 cm. At the depth of 15-30 cm, the carbon of fulvic acids in microaggregates

of 50 μm and the E_4/E_6 ratio for fulvic acids, also presented statistical differences due to the redistribution of the carbon as a consequence of management.

Key words: *Humic acids, fulvic acids and E_4/E_6 ratio.*

¹ Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 56230 Chapingo, México.

² Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México.

INTRODUCCIÓN

La naturaleza y composición de la materia orgánica del suelo (MOS) varía con respecto al tamaño de agregado, de ahí la importancia de conocer su ubicación y cantidad en relación a su manejo. Se han propuesto mecanismos diferentes de unión para los diferentes tamaños de agregados y la persistencia de estos agentes de unión dentro de la matriz del suelo. Uno de ellos es el que se refiere a que la unión de paquetes en microagregados y agregados y es gobernada por varios materiales orgánicos. El proceso de formación del complejo órgano- mineral (COM) a partir de las partículas principales del suelo, las sustancias húmicas y otros agentes de unión es llamado agregación y constituye el primer paso para el desarrollo de la estructura del suelo. Los agentes enlazantes involucrados en el COM fueron definidos por Tisdall y Oades (1982) como: transitorios (polisacáridos microbianos, exudados microbiales), temporales (raíces, hifas de hongos, exudados microbiales), y persistentes (material húmico aromático, complejo órgano mineral y complejo húmico-sesquióxido). El COM contiene la MOS más estable y define muchas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Stevenson, 1994; Schnitzer, 2000).

Los factores que afectan la agregación (Hamblin, 1985; Kay, 1997) son agrupados en dos categorías: factores endógenos y exógenos. Los factores endógenos son todos aquellos que son debidos a las propiedades inherentes del suelo. Estos factores incluyen características del suelo, tales como la textura, mineralogía de las arcillas, naturaleza de cationes

intercambiables, cantidad y cualidad de la fracción del humus. Los factores exógenos que afectan la estructura del suelo incluyen el clima, procesos biológicos, el uso y manejo del suelo.

Es claro que la naturaleza de la MOS y las concentraciones de carbono pueden ser relacionadas con el manejo y uso del suelo y la labranza (Anderson y Paul, 1984; Becker-Heidmann y Scharpenseel, 1992). Whitbread (1994) y Korschén (1996) sugirieron los efectos del manejo del suelo y la relativa distribución del pool del COS entre las fracciones lábiles y estables. Metherell *et al.* (1993). Además, las prácticas de manejo, tales como la no labranza o labranza reducida promueven el mantenimiento y acumulación del COS y el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Hendrix *et al.*, 1998).

El objetivo general del presente estudio fue evaluar la variación del contenido de carbono orgánico en la fracción mineral 50 y 250 μm como consecuencia de su redistribución ocasionada por el manejo con diferentes manejos previos (orgánico cultivado con especies anuales, cultivado con alfalfa por 5 años sin movimiento del suelo, convencional cultivado con varias especies).

MATERIALES Y METODOS

El trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Autónoma Chapingo que presenta un clima templado subhúmedo, lluvias en verano (650 mm anuales), la temperatura media anual oscila entre 12 y 18 °C. Los suelos son aluviales, no tienen un desarrollo pedogenético propio de los suelos formados *in situ*, se formaron de materiales transportados por las corrientes fluviales de los ríos Texcoco y Chapingo y fueron depositados en las playas y deltas del lago de Texcoco. Los suelos son de colores pardos, con un estrato superficial de texturas medias y conforme se profundiza aumenta el contenido de arcilla y finalmente se presenta un estrato con texturas gruesas.

Se determinó la variación en el contenido de carbono orgánico en dos tamaño de microagregados (50 y 50 y 250 μm) a las profundidades 0 a 15 y 15 a 30cm. Se utilizó un diseño experimental factorial 3x2. La unidad experimental para el manejo orgánico fue de 24 x 102 m; donde hubo alfalfa de 7 x 50 m y convencional de 19 x 97 m. Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias por diferencias mínimas significativas.

Para la obtención de los microagregados se utilizaron mallas 0.25 y 0.050 mm de diámetro, utilizándose el suelo de un muestreo compuesto.

La extracción y fraccionamiento de las sustancias húmicas, se realizó con pirofosfato de sodio ($\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) e hidróxido de sodio (NaOH) de acuerdo con la metodología propuesta por Stevenson (1994). La solubilidad a diferentes pH permitieron el fraccionamiento de ácidos húmicos (AH) a pH inferior a 2.0, los cuales son insolubles y precipitan, a diferencia de los ácidos fúlvicos (AF) que son solubles a cualquier valor de pH. El contenido de C orgánico total se determinó por el método de Walkey y Black (1947).

La relación E4/E6 se determinó en muestras de los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos extraídos previamente y se midieron sus densidades ópticas a 465 y 665 nm en el espectrómetro (Chen *et al.*, 1977)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 1. Compuestos orgánicos en dos fracciones de agregados del suelo, tres manejo y dos profundidades.

Profundidad de 0-15 cm				
Manejo	AH 50 μm^{\dagger}	AH 250 μm^{\ddagger}	AF 50 $\mu\text{m}^{\overline{\ddagger}}$	AF 250 $\mu\text{m}^{\underline{\ddagger}}$
Orgánico	0.151a	0.206a	0.264a	0.211a
Alfalfa	0.090a	0.078b	0.332a	0.237a
Convencional	0.096a	0.084b	0.245a	0.256a

Profundidad de 15-30 cm				
Manejo	AH 50 μm^{\dagger}	AH 250 μm^{\ddagger}	AF 50 μm^{\ddagger}	AF 250 $\mu\text{m}^{\underline{\ddagger}}$
Orgánico	0.109a	0.096a	0.301a	0.273a
Alfalfa	0.109a	0.164a	0.175b	0.211a
Convencional	0.103a	0.163a	0.280ab	0.169a

* Valores con la misma literal en sentido horizontal, indican valores estadísticamente similares (DMS, $\alpha=0.05$).

AH 50 μm^{\dagger} = Ácidos húmicos en agregados de 50 μm .

AH 250 μm^{\ddagger} = Ácidos húmicos en agregados de 250 μm .

AF 50 $\mu\text{m}^{\overline{\text{r}}}$ = Ácidos fúlvicos en agregados de 50 μm .

AF 250 $\mu\text{m}^{\underline{\text{r}}}$ = Ácidos fúlvicos en agregados de 250 μm .

Contenido de carbono de ácidos húmicos (AH) en agregados del suelo de 50 μm , a las profundidades de 0-15 y 15-30 cm

El contenido de carbono de ácidos húmicos en agregados de 50 μm , en ambas profundidades, no presentó diferencias estadísticas en los diversos manejos el suelo (Cuadro 1). De acuerdo con los niveles y evaluación del carbono orgánico de los ácidos húmicos propuestos por Pujola (1989); hizo mención, que valores normales deben ser superiores de 0.15%, concordando con el tratamiento bajo manejo orgánico que logró superar dicho valor. Valores inferiores de 0.15% indican suelos empobrecidos.

Por otro lado, los ácidos húmicos en los diversos manejos del suelo, se caracterizan por ser la fracción de las sustancias húmicas, más estables o la materia orgánica más humificada y los microagregados de 50 μm suelen estar unidos por la materia orgánica más humificada (Golchin *et al.*, 1994), formando la unión química o físico química entre la materia orgánica y los minerales del suelo y los complejos órgano-minerales. Lo anterior, refleja lo poco que puede ser afectada esta fracción por el manejo del suelo.

Contenido de carbono de ácidos húmicos (AH) en agregados del suelo de 250 μm , a las profundidades de muestreo de 0-15 y 15-30 cm

El contenido de carbono de ácidos húmicos en agregados de 250 μm , a la profundidad 0-15 cm (Cuadro 1) en el análisis estadístico, mostró diferencias significativas en el manejo orgánico (0.206%), mientras que el manejo convencional (0.084%) y donde hubo alfalfa (0.078%) sus valores estadísticamente fueron similares.

A la profundidad de 15-30, en el análisis estadístico (Cuadro 1), los diversos manejos no presentaron diferencias estadísticas. Pero, con porcentaje mayor el manejo donde hubo alfalfa (0.164 %), seguido por el convencional (0.163) y por último el orgánico (0.096).

Pujola, (1989) indicó que normales deben ser superiores de 0.15%; a la profundidad de 0-15 cm, el manejo orgánico fue el único en mostrar valores superiores, mientras que a la profundidad de 15-30 cm los manejos donde hubo alfalfa, convencional también presentaron valores superiores de 0.15%.

Los resultados arriba mencionados en ambas profundidades, mostraron que probablemente la profundidad esté influyendo en la distribución del carbono orgánico. Resultados similares fueron encontrados por Shen *et al.* (1998) en que los contenidos de de la MOS tienden a disminuir con la profundidad.

Contenido de carbono de ácidos fúlvicos (AF) en agregados del suelo de 50 μ m, a las profundidades de muestreo de 0-15 y 15-30 cm

El contenido de AF a la profundidad de muestreo de 0-15 cm, no mostraron diferencias estadísticas en el factor manejo (Cuadro 1). Sin embargo, en cuanto a su contenido, en primer lugar se encontró al manejo donde hubo alfalfa (0.332%), en segundo lugar al orgánico (0.264%) y en tercer lugar al manejo convencional (0.245%).

En el contenido de AF a la profundidad de 15-30 cm, el manejo logró influir de manera significativa de acuerdo al análisis estadístico (Cuadro 1). En el manejo orgánico (0.301%) y donde hubo alfalfa (0.175), que estadísticamente fueron similares al manejo convencional (0.280%), pero la comparación entre el manejo orgánico y donde hubo alfalfa, estadísticamente fueron diferentes.

Como se pudo observar, el manejo orgánico presentó el mayor contenido de AF y superó al convencional y donde hubo alfalfa. Lo anterior se puede deber a que los ácidos fúlvicos tienen pesos moleculares más bajos y contenidos de oxígeno más altos que los ácidos

húmicos, como resultados, son más polares y móviles. De ésta manera, esta fracción puede ser más representativa de una mayor disponibilidad del pool de la materia orgánica (Wander y Traina, 1996). Los AF presentan pesos moleculares más bajos que los AH, por esta razón, son la forma predominante de la materia húmica (Mantoura *et al.*, 1978).

Contenido de carbono de ácidos fúlvicos (AF) en agregados del suelo de 250 μm , a las profundidades de muestreo de 0-15 y 15-30 cm

El contenido de AF en microagregados de 250 μm , a la profundidad de 0-15, no presentó diferencias estadísticas en los diversos manejos evaluados (Cuadro 1). Sin embargo, el mayor contenido de AF fue para el manejo convencional (0.256%), seguido por donde hubo alfalfa (0.237%) y por último el orgánico (0.211%).

El contenido de AF en el mismo tamaño de microagregado, pero a la profundidad de 15-30, el manejo no presentó diferencias estadísticas (Cuadro 1). Pero el mayor contenido de AF fue para el manejo orgánico (0.273%), seguido por donde hubo alfalfa (0.211%) y por último el convencional (0.169%). Los resultados anteriores concuerdan con lo encontrado por Serrano *et al.* (2003), en la evaluación del complejo órgano mineral-mineral en dos tipos de suelos y en fracciones de partículas < 53 μm .

Aún y cuando no se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de AF en agregados de 250 μm , en los diversos manejos evaluados, existen algunos trabajos de investigación que reflejan lo contrario. Por ejemplo, el realizado por Galantini (2001), en suelos de la región semiárida pampeana, sobre el efecto de los siguientes sistemas de producción: trigo continuo (TT), trigo alternado con pastoreo (TP) y trigo-leguminosa (TL) sobre la cantidad y distribución de algunas fracciones orgánicas. Encontró que el contenido de AF se mantuvo semejante al observado en el suelo de referencia (suelo con pastura no cultivado), mientras que disminuyó significativamente (30%) en el sistema TP y considerablemente (50%) en el

monocultivo con trigo. Estas variaciones ponen en evidencia la sensibilidad de esta fracción a la variación de la intensidad de las labranzas.

Cuadro 2. Relaciones de las sustancias húmicas en dos tamaños de agregados, dos profundidades y tres manejos.

Profundidad 0-15 cm				
Manejo	E_4/E_6 AH 50 $\mu\text{m}^{\overline{\text{r}}}$	E_4/E_6 AH 250 $\mu\text{m}^{\underline{\text{z}}}$	E_4/E_6 AF 50 $\mu\text{m}^{\#}$	E_4/E_6 AF 250 $\mu\text{m}^{\#}$
Orgánico	3.337b	3.373ab	25.785a	16.400a
Alfalfa	3.745a	3.625a	22.770a	24.011a
Convencional	3.092b	3.329b	19.070a	17.890a

Profundidad 15-30 cm				
Manejo	E_4/E_6 AH 50 $\mu\text{m}^{\overline{\text{r}}}$	E_4/E_6 AH 250 $\mu\text{m}^{\underline{\text{z}}}$	E_4/E_6 AF 50 $\mu\text{m}^{\#}$	E_4/E_6 AF 250 $\mu\text{m}^{\#}$
Orgánico	3.389ab	3.342ab	20.479ab	12.303b
Alfalfa	3.458a	3.617a	24.813a	27.066a
Convencional	3.309b	3.285b	12.603b	16.309ab

* Valores con la misma literal en sentido horizontal, indican valores estadísticamente similares (DMS, $\alpha=0.05$).

E_4/E_6 AH 50 $\mu\text{m}^{\overline{\text{r}}}$ = Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en agregados de 50 μm .

E_4/E_6 AH 250 $\mu\text{m}^{\underline{\text{z}}}$ = Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos en agregados de 200 μm .

E_4/E_6 AF 50 $\mu\text{m}^{\#}$ = Relación E_4/E_6 para ácidos Fúlvicos en agregados de 50 μm .

E_4/E_6 AF 250 $\mu\text{m}^{\#}$ = Relación E_4/E_6 para ácidos Fúlvicos en agregados de 200 μm .

Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos (AH) en agregados del suelo de 50 μm , a las profundidades de muestreo de 0-15 y 15-30 cm

El coeficiente de color (E_4/E_6), es considerado como un índice de condensación o polimeración (Stevenson, 1994), pues cuando disminuye su valor indica un incremento del peso molecular y de los componentes aromáticos de las sustancias húmicas.

La relación de absorbancia a 465 y 665 nm, es referida como la relación E_4/E_6 , también llamada coeficiente de color ó índice de humificación, ha sido usada ampliamente para propósitos de caracterización de las sustancias húmicas. La relación E_4/E_6 para ácidos húmicos son valores normalmente <5.0 (Schnitzer, 1971).

La relación E_4/E_6 de AH a la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 2) se vio afectada por el manejo. Donde hubo alfalfa (3.745%) fue estadísticamente diferente al orgánico (3.337%) y convencional (3.092%), cuyos valores fueron estadísticamente similares.

En relación E_4/E_6 , a la profundidad de 15-30 cm (Cuadro 2) el manejo no logró afectarla (Cuadro 3). Pero, la mayor relación E_4/E_6 fue para el manejo donde hubo alfalfa (3.458%), seguido por el orgánico (3.389%) y por último el convencional (3.309%).

En ambas profundidades y en los diversos manejos, las relaciones E_4/E_6 de los AH, se presentaron de la siguiente manera: manejo convencional < orgánico < hubo alfalfa. Como se pudo observar, la relación E_4/E_6 en el manejo convencional en ambas profundidades, mostró el valor más bajo. De acuerdo con lo expuesto por Schnitzer (1971), las relaciones E_4/E_6 decrecen al incrementarse el peso molecular y la condensación. De este modo, una relación baja, como fue el manejo convencional, puede ser un indicativo de un alto grado de condensación relativamente de constituyentes aromáticos. Por otro lado, una relación alta refleja un grado bajo de condensación aromática y se puede inferir la presencia de más estructuras alifáticas relativamente.

En un estudio exhaustivo y amplio sobre el tema, Chen *et al.* (1977) concluyeron que las relaciones E_4/E_6 de ácidos húmicos y fúlvicos fueron gobernadas primero, por tamaños de partículas y pesos moleculares, en forma secundaria, por las relaciones observadas entre la acidez total, contenido de grupos COOH y el contenido de C y O.

Relación E_4/E_6 para ácidos húmicos (AH) en agregados del suelo de 250 μm , a las profundidades de muestreo de 0-15 y 15-30 cm

La relación E_4/E_6 en ambas profundidades, en el análisis estadístico, el manejo no presentó diferencias estadísticas (Cuadro 2). Sin embargo, la mayor relación E_4/E_6 fue para el manejo donde hubo alfalfa, seguido por el orgánico y por último, el convencional.

Las relaciones E_4/E_6 varían para materiales húmicos extraídos de diferentes tipos de suelos (Kononova, 1966; Schnitzer y Khan, 1972). Kononova (1966) reportó que las relaciones E_4/E_6 para AH extraídos de suelos podzólicos son aproximadamente de 5.0, los suelos forestales de colores grises oscuros son de 3.5, los Chernozem de 3.0-3.5, los Sierozem entre 4.5-4.0 y para los Krasnozem aproximadamente de 5.0. En el caso de nuestros suelos, caracterizados como aluviales, los valores de la relación E_4/E_6 para AH en agregados de 250 μm se encontraron entre 3.6-3.2.

Este parámetro ha sido considerado también por ser inversamente relacionado con el grado de condensación aromática, infiriendo la presencia de estructuras alifáticas (Kononova, 1966; Stevenson, 1982). Negre *et al.* (2002), aplicaron una regresión lineal entre la relación E_4/E_6 y la distribución de carbono por espectroscopia de resonancia magnética de ^{13}C y encontraron una correlación inversa ($R^2 = 0.917$, $P < 0.005$) con el contenido de carbón aromático (95-160 ppm). Estos resultados confirman la seguridad de la relación E_4/E_6 como un indicador del nivel de condensación aromática.

Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos (AF) en agregados del suelo de 50 μm , a las profundidades de muestreo de 0-15 y 15-30 cm

La relación E_4/E_6 para los AF a la profundidad de 0-15, el manejo no influyó en dicha relación (Cuadro 2). Sin embargo, la relación más alta fue para el manejo orgánico (25.785%), seguido por donde hubo alfalfa (22.770%) y por último el convencional (19.070%).

La relación E_4/E_6 a la profundidad de 15-30 cm, el análisis estadístico (Cuadro 2) reflejó que el manejo no influyó en la relación. Sin embargo, la relación E_4/E_6 más alta fue para el manejo donde hubo alfalfa (24.813%), seguida por el orgánico (20.479%) y por último el convencional (12.603%).

Aún y cuando la relación E_4/E_6 para los AF no se vio afectada en los diversos manejos del suelo en ambas profundidades, los mayores valores de las relaciones, correspondieron al

manejo orgánico y donde hubo alfalfa, lo que hace suponer un menor grado de condensación o humificación (Kononova, 1966) de estructuras de relativamente bajo peso molecular. También, relaciones altas de E_4/E_6 indican tiempos de residencias bajos, debido a la presencia de compuestos menos humificados (Campbell, 1958). Serrano *et al.* (2003), al evaluar el complejo órgano-mineral en dos tipos de suelos y en fracciones de partículas $< 53 \mu\text{m}$, por efecto del encalado, encontraron que en el suelo 1, la relación E_4/E_6 para los AF se incrementó significativamente ($r=0.719^{**}$), mientras que en el suelo 2, decreció de manera significativa ($r=0.719^*$).

Relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos (AF) en agregados del suelo de $250 \mu\text{m}$, a las profundidades de muestreo de 0-15 y 15-30 cm

La relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos (AF), a la profundidad de 0-15 cm, el manejo no presentó diferencias estadísticas, como lo indica el análisis estadístico (Cuadro 2). Sin embargo, la mayor relación E_4/E_6 correspondió al manejo donde hubo alfalfa (24.011%), seguido por el convencional (17.890%) y por último el orgánico (16.400%).

La relación E_4/E_6 , pero a la profundidad 15-30 cm, el análisis estadístico (Cuadro 2) presentó diferencias estadísticas. El manejo donde hubo alfalfa (27.066%) fue estadísticamente diferente al convencional (16.309) y al orgánico (12.303), cuyos valores estadísticamente fueron similares. Por lo anterior, hace suponer que conforme se incrementa el valor de la relación existe un menor grado de condensación y humificación (Kononova, 1966) y tiempos de residencia menores, debido a la presencia de compuestos menos humificados.

CONCLUSIONES

A la profundidad de 0-15 cm; el manejo que presentó las mayores diferencias estadísticas (≤ 0.05) fue el orgánico, en el contenido de carbono orgánico en los ácidos húmicos en microagregados de $250 \mu\text{m}$. El manejo donde hubo alfalfa en la relación E_4/E_6 de ácidos húmicos en microagregados de 50 y $250 \mu\text{m}$.

A la profundidad de 15-30 cm, el análisis estadístico reflejó diferencias estadísticas en el manejo orgánico en los ácidos fúlvicos en microagregados de 50 μm . Mientras, que el manejo donde hubo alfalfa en las relaciones E_4/E_6 para ácidos húmicos en microagregados de 50, 250 μm y en la relación E_4/E_6 para ácidos fúlvicos en microagregados de 50 y 250 μm .

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D.W., and E.A. Paul. 1984. Organomineral complexes and their study by radiocarbon dating. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:298-301.
- Becker-Heidmann, P., and H.W. Scharpenseel. 1992. Studies of soil organic matter dynamics using natural carbon isotopes. *Sci. Total Environ.* 117:305-3012.
- Blair, G.J., N. Blair, R.D.B. Lefroy, A. Conter, and H. Daniel. 1996. Relationships between KMnO_4 oxidable C and soil aggregate stability and the derivation of a carbon management index. *In: J. Drozd, S.S. Gonet, N. Senesi, J. Weber, (Eds.). The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection. Proceeding of the 8th meeting of the international Humic Substances Society. Wroclaw, Poland. Pp. 227-232.*
- Campbell, C.A., E.A. Paul, D.A. Rennie, and K.J. McCallum. 1958. *Soil Science.*, 104, 152.
- Chen, Y., N. Senesi, and M. Schnitzer. 1977. Information provided on humic substances by E_4/E_6 ratios. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41:352-358.
- Galantini, J.A. 2001. Caratterizzazione della frazione organica di suoli argentine: Influenza della tessitura, della rotazione, della lavorazione e della concimazione. Tesis de "Doctorato di Recerca" en Química Agraria, Università degli Studi di Bari, Italia, 114 págs.
- Golchin, A., J.M. Oades, J.O. Skajemstad and P. Clarke. 1994. Soil structure and carbon cycling. *Aust. J. Soil Res.* 32:1043-1068.
- Hamblin, A. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. *Adv. Agron.* 38: 95-158.
- Hendrix, P.F., A.J. Franzluebbbers, and D.V. Mc-Cracken. 1998. Management effects on C accumulation and loss in soils of the Southern Appalachian Piedmont of Georgia. *Soil Tillage Res.* 47:245-251.
- Kay, B.D. 1997. Soil structure and organic carbon: *In: R. Lal, J. M. Kimble, R. follet and B.A. Stewart (Eds.). Soils and the Carbon Cycle. CRC, Boca Raton, FL. (In press).*
- Kononova, M.M. 1966. *Soil Organic matter: Its Nature, Its Role in Soil Formation and in Soil Fertility.* Pergamon Press, 2nd English ed., Oxford. 544 pp.

- Korschens, M. 1996. Long-term datasets from Germany and Eastern Europe. In: Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets. NATO ASI series No. 1, Vol. 38. D.S. Powlson, P. Smith, and J.U. Smith (Eds.). Springer, Berlin, pp. 69-80.
- Labrador, M.L. 1996. La material orgánica en los ecosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 37-66.
- Mantoura, R.F.C., A. Dickson, and J.P. Riley. 1978. The complexation of metals with humic materials in natural waters. *Estuarine Coastal Mar. Sci.* 6:387-408.
- Metherell, A.K., L.A. Harding, C.V. Cole, and W.J. Parton. 1993. CENTURY soil organic matter model environment. Technical documentation, agroecosystem version 4.0 Great Plains System Research Unit Technical Report No. 4. USDA-ARS, Fort Collins, CO.
- Negre, D.M., D. Vidrola, S. Spera, L. Ferraris, and M. Gennari. 2002. Effect of the chemical composition of soil humic acids on their viscosity, surface pressure, and morphology. *Soil Science.* 167-No. 10.
- Pujola, M. 1989. Els fangs de depuradora com adobs. Efectes sobre la fracció orgànica dels sols. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Schnitzer, M. 1971. "Characterization of Humic Constituents by Spectroscopy," *in*: McLaren, A. D. y J. Skujins, Eds. *Soil Biochemistry*, Vol. 2, Marcel Dekker, New York, pp. 60-95.
- Schnitzer, M. and S.U. Khan. 1972. *Humic substances in the Environment*, Marcel.
- Schnitzer, M. 2000. A life perspective on the chemistry of soil organic matter. *Adv. Agron.*, 68.1.
- Serrano, B.J.A., B. Ceccanti, G. Masciandaro, J.F. Gallardo, C. García-Izquierdo, and A. Escalante. 2003. Evaluación química estructural del complejo órgano-mineral por encalado de suelos cafetaleros. *Agrchimica*, Vol. XLVII, No. 5-6.
- Shen, C.D., T.S.Liu, S.L. Peng, Y.M. Sun, M.T. Jiang, W.X. Yi, C.P. Xing, Q.Z. Gao, Z.A. Li, G.Y. Shou. 1998. ¹⁴C measurement of forest soil in Dinghushan Biosphere Reserve. *Chin. Sci. Bull.* 44:251-256.
- Stevenson, F.J. 1982. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons. New York. 496 p.
- Tisdall, J.M., y J. M. Oades. 1982. Organic Matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soil. Effect of variations in digest condition and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-264.
- Wander, M.M., and S.J. Traina. 1996. Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils:II. Characterization of composition. *Soil Sci. Am. J.* 60:1087-1094.
- Whitbread, A.M. 1994. Soil organic matter: Its fractionation and role in soil structure. In: *Soil Organic Matter Management for Sustainable Agriculture*, ACIAR workshope, Ubon, Thailand, August 24-26, 1994. R.D.B. Lefroy, G.J. Blair, and E.T. Craswell (Eds.). ACIAR, Canberra, Australia, 124-131.