

CAMBIOS EN FRACCIONES DINÁMICAS DE LA MATERIA ORGÁNICA DE DOS SUELOS, INCEPTISOL Y ULTISOL, POR EL USO CON CULTIVO DE CÍTRICAS

Mansonia Pulido-Moncada¹, Bestalia Flores², Tatiana Rondón S.¹,
Rosa M. Hernández-Hernández³ y Zenaida Lozano¹

RESUMEN

La materia orgánica (MO) es uno de los parámetros más aceptados como indicador de cambios en la calidad del suelo; sin embargo, sus fracciones dinámicas pueden ser aun más sensibles a los efectos del tipo de manejo y tipo de vegetación. En los suelos del trópico es importante la determinación temprana de los cambios debido al manejo puesto que los procesos biológicos de los ecosistemas que son intervenidos pueden darse a altas velocidades. En este trabajo se planteó determinar si las fracciones dinámicas de la MO pueden reflejar cambios en la calidad de dos suelos, Inceptisol y Ultisol, por el uso debido al cultivo de árboles frutales. En parcelas con bosque secundario y cultivo de cítricas se evaluaron características físicas y químicas del suelo y las fracciones dinámicas de la MO, encontrándose que en el suelo menos evolucionado (Inceptisol) los cambios son mayores por la introducción del cultivo en relación a la eficiencia de uso de carbono. Estos cambios se atribuyen al pH del suelo, a la menor biomasa microbiana y la baja calidad de la MO proveniente del cultivo, así como al manejo intensivo de los suelos.

Palabras clave adicionales: Biomasa microbiana, calidad del suelo, ecosistemas intervenidos, manejo de suelos

ABSTRACT

Changes in organic matter dynamic fractions of two soils, Inceptisol and Ultisol, by growing citrus crops

Organic matter (OM) is one of the most accepted parameters as indicator of changes in soil quality; however, its dynamic fractions can be even more sensitive to the effects of soil management and vegetation type. Determination of early changes due to soil management can be important in tropical soils, because the biological processes of the modified ecosystems can occur at high rates. The objective of this work was to determine if the OM dynamic fractions can reflect changes in the quality of two soils types (Inceptisol and Ultisol) due to the use with fruit crops. In plots with secondary forest and citric crops the soil physical and chemical characteristics as well as the OM dynamic fractions were evaluated. The results showed that the soil with less evolution presented higher changes in the carbon efficient use at the citrus cropped plots. The changes are attributed to soil pH, the lower microbial biomass and minor crop OM quality, along with the intensive soil management.

Additional key words: Microbial biomass, soil quality, modified ecosystems, soil management

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) es considerada una característica muy importante de la calidad del suelo debido a que su calidad y cantidad influye directa e indirectamente en sus propiedades físicas (Deneff et al., 2004), químicas (Duxbury et al., 1989) y biológicas (Rivero, 1999), a pesar de representar un mínimo porcentaje del volumen total del mismo. Una de sus funciones más

relevantes es que actúa como reservorio de carbono (C) y nutrientes para las plantas; de allí radica la importancia de mantener una buena fertilidad y elevar la calidad de la misma en suelos tropicales (Accoe et al., 2004; Rivero et al., 2004).

La presencia de un compartimiento de compuestos resistentes (C y N estructurales) en residuos de plantas, así como uno de compuestos de fácil descomposición (C y N metabólicos), explica la inicialmente rápida pero desacelerada

Recibido: Mayo 18, 2009

Aceptado: Mayo 31, 2010

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela.
e-mail: pulidom@agr.ucv.ve; mallachu@hotmail.com; lozanoz@agr.ucv.ve

² Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola; bflores@inia.gob.ve,

³ Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez; rosa.hernandez@unesr.edu.ve

tasa de descomposición que ocurre cuando los tejidos de las plantas son adicionados al suelo. Análogamente, la existencia de una fracción pasiva de MO compleja, química y físicamente protegida, una fracción lenta de MO parcialmente descompuesta, con mucho material particulado libre, así como una fracción activa de MO fácilmente metabolizable, revelan por qué la conversión de un bosque o pastura nativa en un área agrícola, resulta en una muy rápida disminución de la MO durante los primeros años, seguidos posteriormente por una disminución más lenta (Brady y Weil, 2002), y por qué hay diferencias en la disponibilidad de nutrientes fácilmente mineralizables.

Se ha señalado que el contenido de MO en suelos bajo condiciones tropicales, cultivados en forma continua, disminuye entre 30 y 60 % en unos pocos años, con respecto a los valores encontrados bajo vegetación natural. Esto ocurre porque al sustituir la vegetación natural por un determinado cultivo, cambia la cantidad y calidad de la MO que ingresa al suelo, el microclima, el régimen de humedad y la condición estructural del suelo, y por tanto los procesos biológicos que afectan la descomposición de la MO (Anderson y Flanagan, 1989).

El grado de magnitud del efecto de las prácticas agrícolas sobre las fracciones de la MO, puede verse afectada por el tipo de suelo; es así como manejos de siembra directa de maíz asociado a coberturas perennes en suelos de sabana produjo efectos distintos en fracciones dinámicas de la MO, dependiendo si el manejo se aplicaba en un Ultisol que en un Vertisol (Hernández-Hernández et al., 2004).

En suelos de sabanas tropicales, el cambio de uso de la tierra muestra como los manejos de labranza conservacionistas incrementan las fracciones que permiten la conservación de C, tales como la biomasa microbiana (BM) y la MO físicamente protegida en los agregados, además la que potencialmente se mineralizará como la fracción ligera (FL) (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002). Otros estudios que implican cambios de la florística de los ecosistemas de bosques por su conversión a sistemas de plantaciones forestales también han mostrado semejanzas en el comportamiento de la MO según la calidad de los residuos producidos (Hernández-Hernández et al., 2008).

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar los cambios en las fracciones dinámicas de la MO de suelos de bosques producidos por el uso de cítricos (naranja- *Citrus sinensis*), y evaluar si tales cambios varían según sea el tipo de suelo, en este caso un Inceptisol y un Ultisol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron sitios de muestreo en dos zonas cítricas de los valles altos del estado Carabobo, Venezuela: hacienda Los Cerritos en el municipio Montalbán (576640 E - 1128772 N, 642 msnm) y hacienda San Manuel en el municipio Miranda (573071 E - 1121795 N, 661 msnm), con órdenes de suelos, clasificados según la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006) en Inceptisol y Ultisol, respectivamente. Las dos zonas presentan suelos franco arenosos en los primeros 20 cm de profundidad, con niveles bajos de MO y pH.

El promedio anual de precipitación va de 1000 a 1400 mm y evapotranspiración es de 1186 mm anuales. Se presentan dos periodos climáticos bien definidos, uno lluvioso entre los meses de mayo a octubre, y uno seco, entre diciembre y marzo. La temperatura media anual es de 23,7 °C. La zona de vida que predomina es el bosque seco tropical según la Clasificación de Holdridge (Ewel y Madriz, 1968).

En ambas zonas se identificaron dos sitios de muestreo. En el suelo Inceptisol se ubicó un sitio con producción de naranja Navel establecida por 10 años bajo riego por goteo, y otro sitio en un área poco intervenida adyacente, dentro de la misma unidad de producción, con árboles característicos de la condición de bosque, el cual fue considerado como el control para el suelo Inceptisol.

En el suelo Ultisol se ubicó un sitio con producción de naranja Valencia Late establecida por 20 años bajo riego por gravedad, y otro sitio en un área adyacente de bosque dentro de la unidad de producción, el cual sirvió como el control para el suelo Ultisol.

En ambos huertos las cítricas están plantadas a 3,5 x 7,0 m, con cobertura de gramíneas entre las calles, y con encalado bianual y un plan de fertilización a juicio del agricultor, sin diagnóstico de suelo.

Las especies vegetales prevalecientes en las

áreas control (bosques) de ambas zonas son jobo (*Spondia moin*), bucare (*Eritrina glauca*), samán (*Samanea saman*), jabillo (*Hura crepitans* L.), saeta (*Trachypogon sp.*), escobilla (*Scorpiá dulces*), chaparro (*Byrsonima crassifolia*), guayabita sabanera (*Psidium guinense*), mastranto (*Hyptis suaveolens* Bit.) y junco (*Cyperus sp.*) (Granados et al., 1979).

Los sitios de muestreo abarcaron aproximadamente 0,3 ha, y los mismos se realizaron durante la fase de producción de las cítricas mediante un diseño experimental de muestreo dirigido aleatorio simple. Cada sitio de muestreo se dividió en tres lotes, en el sentido de mayor variabilidad de la pendiente, dentro de los cuales se seleccionaron diez árboles, aleatoriamente y en arreglo de zigzag. En cada lote se tomó una muestra compuesta conformadas por diez muestras simples de los primeros 10 cm de profundidad, tomadas en el área de sombra de la copa de cada árbol, a 1 m de distancia del tronco.

Las muestras de suelo se colocaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a 4 °C durante 7 días; luego se homogeneizó la muestra y se tomó una sub-muestra que se secó al aire y se tamizó a 2 mm para realizar una caracterización de los suelos. Se determinó la distribución de tamaño de partículas (DTP) por el método del hidrómetro modificado (Gee y Bauder, 1986), el pH y la conductividad eléctrica (CE) en agua a una relación 1:1, y el carbono orgánico (CO) mediante el método de oxidación de Walkley y Black modificado (Heanes, 1984). Entre las fracciones dinámicas y compuestos fácilmente metabolizables se estimaron los carbohidratos totales por el método de ácido sulfúrico-fenol (Dobois et al., 1956), los contenidos de carbono extraíble total (CET), de ácidos húmicos (CAH), de ácidos fúlvicos (CAF) mediante un fraccionamiento químico de la MO que comprende el método de extracción secuencial de sustancias húmicas de Schnitzer y Schuppli (1989); las fracciones ligeras (CFL) y pesadas (CFP) de la MO mediante un fraccionamiento físico de la materia MO, usando agua como medio de separación (Anderson e Ingram, 1993). La MO físicamente protegida en agregados estables al agua, se determinó usando el método de tamizado en húmedo de Yoder modificado (Hernández-Hernández et al., 2008), en el cual agregados

tamizados entre mallas 2 y 1 mm de apertura, se sometieron a 6 minutos de prehumedecimiento por capilaridad y 5 minutos de tamizado, separándose los macroagregados (>250µm) y los microagregados (<250µm). Se determinó el carbono orgánico (CO) mediante el método de oxidación de Walkley y Black modificado en todas las fracciones obtenidas en las determinaciones mencionadas.

Las muestras que se mantuvieron refrigeradas, sin secar previamente, se tamizaron con malla de 2 mm. En ellas se determinó la biomasa microbiana (C-BM), considerada la fracción activa de la MO, según el método de fumigación-extracción. Para esto, triplicados de 20 g de muestras se fumigaron en cloroformo libre de alcohol por 24 horas; la extracción de muestras fumigadas y no fumigadas se realizó con K₂SO₄ 0,5 M (Anderson e Ingram, 1993). En los extractos de las muestras fumigadas y no fumigadas se estimó el CO usando el factor de conversión de 2,46 de Vance et al. (1987).

Para estimar la actividad de la biomasa microbiana se determinó la respiración basal (C-CO₂) empleando una trampa de álcali en 50 g de muestra de suelo, a humedad de campo, en frascos de 125 mL (Alef y Nannipieri, 1995).

Con los resultados obtenidos se calcularon los parámetros de humificación propuestos por Sequi et al. (1986) y descritos por Dell'Abate (1995): Grado de humificación (GH)= ((CAH + CAF)/ CET)*100; Relación de humificación (RH)= ((CAH + CAF)/ CO)*100. Adicionalmente, se calcularon las relaciones CET/CO, CAH/CAF, CAF/CO, CFL/CO y C-BM/CO, así como el coeficiente metabólico (qCO₂) = CO₂ / C-BM.

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el paquete Statgraphics Plus 5.1, realizando un análisis descriptivo y determinación del grado de asociación entre variables por vía no paramétrica, según los coeficientes de Spearman. Para determinar si existían diferencias entre los tratamientos evaluados se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis y separación de medias según la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos presentan una clase textural franco arenosa característica de estas zonas cítricas, a

excepción del huerto en el Inceptisol, el cual presentó un contenido de arena ligeramente menor y fue clasificado como franco (Cuadro 1). El suelo del bosque en el Ultisol tiene un pH fuertemente ácido, mientras que en el suelo del huerto es moderadamente ácido; esta diferencia pudiera deberse a la aplicación de cal antes mencionada.

En el caso del suelo más joven, el Inceptisol, el área bajo cultivo de cítricas tiene pH moderadamente ácido y bajo bosque tiende a la neutralidad. Hubo un ligero aumento de la CE en ambos suelos con el manejo de cítricas, pero los valores encontrados sustentan la inexistencia de problemas de salinidad.

Cuadro 1. Distribución del tamaño de partículas, pH y conductividad eléctrica en dos tipos de suelo (0-10 cm) de zonas cítricas de los valles altos del estado Carabobo, Venezuela

Condiciones	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	pH	Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹)
Cítricas - Inceptisol	49	34	17	F	5,76	0,74
Bosque- Inceptisol	58	28	14	Fa	6,53	0,41
Cítricas - Ultisol	60	25	15	Fa	5,44	0,11
Bosque - Ultisol	56	28	16	Fa	4,90	0,05

Carbono orgánico (CO) y fracciones húmicas de la materia orgánica (fracción pasiva)

El CO en los suelos cultivados fue menor que en los suelos de bosque secundario (Cuadro 2), lo cual podría estar relacionado a un menor aporte de MO o residuos vegetales, en contraste con la condición de bosque, donde la biodiversidad de plantas con distintos ciclos de senescencia enriquece los aportes de MO, tal como lo han señalado Anderson y Flanagan (1989), y Brady y Weil (2002). Esto resalta la disminución de la MO por la conversión de ecosistemas naturales en sistemas cultivados (Gonzalo et al., 2005). Así mismo, el CO es mayor en los suelos Inceptisoles que en los Ultisoles ($P \leq 0,05$), lo cual estaría relacionado con un suelo más evolucionado en el

caso de los Ultisoles.

En la distribución del CO asociado a las distintas fracciones orgánicas, la fracción de CAH presenta diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los dos tipos de suelo, con un mayor promedio en el suelo del bosque-Inceptisol. Esta alta proporción podría indicar un menor grado de condensación de los constituyentes aromáticos (Paolini, 1980), lo cual se fundamenta con la alta asociación encontrada ($r = 0,76^{**}$) entre al CAH y el pH del suelo (Cuadro 3), ya que esta característica gobierna el tipo de compuesto orgánico formado (Rivero y Paolini, 1994). En todos los suelos predominan CAH sobre CAF, con excepción de la condición de bosque-Ultisol, donde el patrón es contrario.

Cuadro 2. Contenidos de carbono orgánico (CO), carbono extraíble total (CET), y de ácidos húmicos (CAH) y fúlvicos (CAF) en dos tipos de suelo de zonas cítricas de los valles altos del estado Carabobo, Venezuela

Condiciones	CO	CET	CAH	CAF
	g·kg ⁻¹			
Cítricas - Inceptisol	32,43 b	12,26 ab	5,06 ab	2,83 a
Bosque- Inceptisol	49,17 a	15,93 a	8,65 a	3,25 a
Cítricas - Ultisol	17,44 c	10,78 b	3,79 b	2,62 a
Bosque - Ultisol	21,68 bc	8,75 b	1,42 b	2,62 a

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Existe correspondencia entre el CO, el CAH y el pH (Cuadro 3), puesto que en los suelos donde hay más CO, especialmente como CAH, la condición de acidez fue menor, lo cual se evidencia en los suelos Inceptisoles. Cabe

destacar, que en el suelo más evolucionado, Ultisol, si bien hubo una tendencia a perder CO al cambiar de uso de la tierra hacia sistemas cultivados, estas pérdidas no fueron significativas ($P > 0,05$), lo cual se reflejó en las pocas variaciones de las fracciones

Pulido-Moncada et al. Cambios de la materia orgánica en suelos cultivados de cítricas

químicas evaluadas, en cambio en el suelo menos evolucionado, el Inceptisol, las pérdidas fueron marcadas (35%) y se reflejaron significativamente en el CAH, donde los valores fueron más altos.

En relación a los parámetros de humificación (Cuadro 4), la relación de humificación (RH) evidencia el predominio de la fracción húmica en el CO, la relación CAH/CAF refleja la mayor proporción de CAH encontrada en las diferentes

condiciones, excepto el bosque Ultisol. Todos los índices asociados a la humificación apuntan a una menor humificación en el suelo Ultisol, aunque el mismo sea más evolucionado; este comportamiento sucede especialmente en el bosque secundario, donde posiblemente pudiera estar más relacionado al tipo de residuo que está ingresando al suelo, favoreciendo la producción relativa de CAH más sensible a la acción de los factores ambientales y biológicos.

Cuadro 3. Grado de asociación existente entre las distintas fracciones dinámicas de la materia orgánica en dos tipos de suelo de zonas cítricas de los valles altos del estado Carabobo, Venezuela (prueba de asociación de Spearman; n= 12)

	CO	CAH	CAF	FL	FP	C-BM
CO	1,00	0,70*	0,59*	0,63**	0,94**	ns
FL	0,63*	0,66*	ns	1,00	ns	0,65*
FP	0,94**	0,66*	ns	ns	1,00	ns
C-BM	ns	ns	ns	0,65*	ns	1,00
CO en macroagregados	0,87**	0,83**	ns	0,77**	0,74**	ns
CO en microagregados	0,96**	0,69*	ns	0,64*	0,91**	ns
Carbohidratos	0,87**	0,76**	ns	0,83**	0,77**	ns
pH	0,60*	0,76**	0,77*	ns	0,58*	ns
Conductividad eléctrica	ns	0,76**	ns	ns	ns	ns

CO: carbono orgánico; CAH: contenido de ácidos húmicos; CAF: contenido de ácidos fúlvicos; FL: fracción ligera de la MO; FP: fracción pesada de la MO; C-BM: carbono de la masa microbiana. ns: no significativo; *: P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,01

Cuadro 4. Índices asociados a la humificación de la materia orgánica en dos tipos de suelo de zonas cítricas de los valles altos del estado Carabobo, Venezuela

Condiciones	RH	CAH/CAF	GH	CET/CO
Cítricas - Inceptisol	24,60	1,82	64,35	0,37
Bosque- Inceptisol	24,52	2,72	74,7	0,32
Cítricas - Ultisol	37,08	1,50	59,46	0,62
Bosque - Ultisol	18,76	0,55	46,17	0,40

RH: relación de humificación; CAH: contenido de ácidos húmicos; CAF: contenido de ácidos fúlvicos; GH: grado de humificación; CET: carbono extraíble total; CO: carbono orgánico

Carbono de la biomasa microbiana (fracción activa) y sus actividades

Se encontraron diferencias significativas en el C-BM para las condiciones de suelo evaluadas (Cuadro 5). El mayor valor se observa en el tratamiento de bosque-Inceptisol, lo cual puede atribuirse a la existencia de una fracción de compuestos orgánicos con diferentes estados de descomposición y mineralización proveniente de la diversidad de especies vegetales presentes en esta condición; por otra parte, este es el

tratamiento donde hubo mayor contenido de CO. Al igual que como sucede con el CO y la MO, hubo una disminución del C-BM por el cambio de uso de la tierra de bosque a sistemas productivos de cítricas. Esta disminución es significativa y muy acentuada en el caso del suelo Inceptisol (54%). Por el contrario, en el suelo Ultisol no hubo cambios significativos por el manejo y los valores del C-BM en el suelo del bosque-Ultisol fueron significativamente más bajos que los del bosque del suelo menos evolucionado.

Posiblemente el bajo nivel nutricional de este suelo como consecuencia de su grado de evolución, sustentado en los niveles de mayor acidez presentes en condiciones de manejo, pudo haber incidido en limitar el desarrollo de los microorganismos. Autores como Singh et al. (2007) han coincidido en mostrar la fuerte relación entre los niveles de MO y los niveles de C-BM.

Respecto a la relación C-BM/CO (Cuadro 5), se observa que el mayor valor corresponde al tratamiento de cítricas-Ultisol, seguido por el bosque-Ultisol. Si bien es en estas dos condiciones los valores del C-BM son menores, su masa contribuye más al CO del suelo que en el caso del suelo Inceptisol, indicando posiblemente un mayor uso del CO para su síntesis. Cabe resaltar

que a pesar que en el suelo del bosque-Inceptisol, la BM muestra los mayores valores, no es la más eficiente en usar y conservar el CO para su biosíntesis. Por otra parte, el cambio de uso de la tierra no produce el mismo patrón de cambio en el suelo Inceptisol que en el suelo Ultisol, puesto que en el menos evolucionado este índice disminuye con el cultivo de cítricas, igual a lo reportado por Sparling (1992), en cambio en el suelo más evolucionado, el índice aumenta con el cultivo. Estos resultados coinciden con una tendencia a una menor humificación del suelo Ultisol (Cuadros 2 y 4). Posiblemente el tenor de CO más bajo en estos suelos (Cuadro 2) limita el tamaño de la BM, pero por tener mayor proporción de compuestos de más fácil descomposición, esta BM podría utilizar más el CO para su síntesis.

Cuadro 5. Biomasa microbiana (BM), coeficiente metabólico (qCO_2), respiración basal (RB) y carbohidratos en dos tipos de suelo de zonas cítricas de los valles altos del estado Carabobo, Venezuela

Condiciones	C-BM $mg \cdot kg^{-1}$	C-BM/CO x 100	qCO_2	RB $g \cdot kg^{-1} \cdot día^{-1}$	Carbohidratos ($\mu g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$)
Cítricas - Inceptisol	237,17 b	0,73	0,29	59,91 a	50,98 ab
Bosque- Inceptisol	508,14 a	1,03	0,12	62,74 a	62,60 a
Cítricas - Ultisol	253,04 b	1,45	0,11	25,47 a	30,60 c
Bosque - Ultisol	299,40 b	1,38	0,17	46,18 a	39,91 bc

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Los valores de respiración basal (actividad microbiana) presentados en el Cuadro 5, no muestran diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los tratamientos; sin embargo, la tendencia es que el manejo bajo cítricas presenta menores valores que las condiciones de bosque para ambos suelos. Por otra parte, hay una tendencia de producirse más respiración microbiana en el suelo menos evolucionado (Inceptisol) que en el suelo Ultisol. Esto coincide con una menor BM en los suelos más evolucionados, aunque no apoya directamente al argumento señalado de existencia de compuestos menos humificados en el bosque-Ultisol (Cuadro 2 y 4). Pero cuando se determina la respiración específica por unidad de biomasa microbiana (qCO_2), se puede detectar que los microorganismos respiran más CO que lo que utilizan para su biosíntesis, por lo cual son menos eficientes en el uso del CO (mayor qCO_2), aunque logran acumular más CO (mayor C-BM/CO). Esto

podría indicar que la menor humificación en el suelo bosque-Ultisol favorece la actividad microbiana específica, pero en una forma menos eficiente (mayores pérdidas de CO_2 por unidad de BM sintetizada y por unidad de CO utilizado). Con las cítricas, la BM de este suelo se hace más eficiente en el uso del CO y pierde menos CO_2 por BM producida (Mayor C-BM/CO y menor qCO_2). Por el contrario, en el caso del suelo Inceptisol, si bien tiene más CO y mayor BM, ésta es menos eficiente en su biosíntesis cuando se introducen las cítricas, en lo cual pudiera estar incidiendo la mayor proporción de compuestos más humificados de un mismo tipo. Saviozzi et al. (2001) señalan que un incremento en el qCO_2 puede considerarse como un indicador de las condiciones de manejo que tiende a deteriorar el metabolismo de los microorganismos.

Las diferencias encontradas en el qCO_2 para

ambas condiciones, podrían indicar condiciones de estrés fisiológico de las comunidades microbianas o inmadurez ecológica (Breland y Eltun, 1999), causadas posiblemente por distintos factores: en el Inceptisol por compuestos más humificados en mayor cantidad, y en el Ultisol por compuestos más lábiles pero con menor contenido de MO y mayor acidez.

Carbohidratos totales

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en los carbohidratos para las diferentes condiciones evaluadas (Cuadro 5). En los Inceptisoles el contenido de carbohidratos totales fue mayor que en los Ultisoles, y aunque no se observaron diferencias significativas con el cambio de uso de la tierra en cada caso, hubo una tendencia a disminuir los carbohidratos con la introducción de cítricas. La mayor presencia de carbohidratos totales y el mayor contenido de CO en el suelo bosque-Inceptisol pudiera explicar el mayor contenido de BM, aunque como se señaló anteriormente, ésta no es la que mayor porcentaje

representó del CO (1,03) entre los tratamientos, debido a que en estos suelos también hubo una mayor proporción de CAH/CAF.

Fracciones ligeras y pesadas de la materia orgánica

El bosque-Inceptisol es el tratamiento que presentó los valores más altos de fracción ligera (FL) y los mayores tenores de C-FL y C-FP (Cuadro 6), lo cual coincide con los mayores contenidos de CO observados en el Cuadro 2. Por otra parte, destaca que la condición de bosque para ambos suelos presentó los mayores valores de CO, tanto en la FL como en la FP (Cuadro 6). Los contenidos de C-FL fueron menores cuando cada suelo cambió su uso a la condición de producción de cítricas. Esto coincide con lo destacado por Hernández-Hernández y López-Hernández (2002), quienes señalan que la FL es más sensible que la MO total a los cambios de manejo, por lo que puede ser un buen indicador, principalmente de los cambios de la materia orgánica del suelo.

Cuadro 6. Carbono orgánico de la fracción ligera y pesada de la MO en dos tipos de suelo de zonas cítricas de los valles altos del estado Carabobo, Venezuela

Suelo	Fracción ligera (FL)		Fracción pesada (FP)	
	%	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{suelo}$	%	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{suelo}$
Cítricas - Inceptisol	0,88 b	4,65 b	99,11 a	27,77 ab
Bosque- Inceptisol	2,08 a	15,58 a	97,91 b	33,58 a
Cítricas - Ultisol	0,69 b	2,67 b	99,31 a	14,75 b
Bosque - Ultisol	0,68 b	4,01 b	99,31 a	17,66 ab

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

La mayor disminución del C-FL (75 %) en el tratamiento cítricas-Inceptisol, refleja nuevamente que el suelo menos evolucionado fue más susceptible a los cambios de uso y manejo. Estos resultados concuerdan con los valores reportados en la literatura, donde señalan que la FL puede ir desde 0,3 hasta $82 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Zagal et al., 2002; Figuera, 2006) y que en general las concentraciones de la FL en suelos bajo cultivo son menores de $4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Christensen, 1992).

El valor de la FP refleja el contenido del CO en el suelo, ya que hay mayor C-FP en los tratamientos de bosque donde hubo más CO y tiene el mismo comportamiento de disminución que el CO para ambos suelos (Cuadro 2). La disminución de la FP fue significativamente

mayor en el caso del suelo Inceptisol que en el suelo más evolucionado. El hecho que haya más C-FP en el suelo bosque-Inceptisol coincide con la mayor proporción de CAH/CAF y mayor humificación mostrada en los Cuadros 2 y 4. De esta forma, se puede decir que la determinación de la fracción pesada de la MO, la cual es una fracción pasiva desde el punto de vista dinámico puesto que es la MO más pesada y recalcitrante asociada a los minerales de arcilla, es un reflejo de lo obtenido por el fraccionamiento químico de las fracciones más recalcitrantes de MO.

Fraccionamiento de agregados estables al agua y el CO protegido en los agregados de suelo

Se encontraron diferencias significativas

($P \leq 0,05$) en la distribución de macro y micro-agregados estables al agua (Cuadro 7). Se evidencia que la proporción de macro-agregados, fue mayor que la de micro-agregados en todos los casos. La menor proporción de macro-agregados se presentó en la condición de cultivo para ambos suelos, y a la vez fue mayor la proporción de macro-agregados en el suelo Ultisol. La mayor micro-agregación y menor estabilidad de agregados, con el cambio de uso de la tierra a sistemas de producción de cítricas, ocurrió en el suelo menos evolucionado, el Inceptisol. Esta diferencia entre los suelos posiblemente evidencia la existencia de un efecto de los componentes orgánicos, ya que al observar el contenido de CO presente en los agregados estables al agua, existe una proporción significativamente mayor en los macro-agregados.

La variación del contenido de CO en los dos tamaños de agregados, según los suelos y uso de

la tierra, muestra un patrón similar de variación al observado en el Cuadro 2 para el CO del suelo sin fraccionar. La mayor proporción de CO en los macro-agregados y su disminución con el uso de cítricos refleja los cambios en la MO, especialmente en el caso del suelo menos evolucionado. Un aspecto importante es que si bien se produjo una disminución significativa del CO en los macro-agregados del Inceptisol, no se produjeron cambios en el CO en los micro-agregados por la introducción del cultivo en ninguno de los dos suelos. Este resultado coincide con lo señalado por otros autores (Six et al., 2000; Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002), quienes resaltan que la MO de los micro-agregados no se pierde por el cultivo, porque a este nivel se establecen asociaciones orgánico-minerales muy resistentes que limitan su descomposición y mineralización.

Cuadro 7. Distribución de macro y micro-agregados estables al agua y contenido de CO en los agregados en dos tipos de suelo de zonas cítricas de los valles altos del estado Carabobo, Venezuela

Tratamiento	Distribución de agregados (% p/p)		Contenido de carbono orgánico (g·kg ⁻¹)	
	> 250 μ m	<250 μ m	> 250 μ m	< 250 μ m
Cítricas -Inceptisol	59,80 b	38,76 a	28,20 b	25,12 a
Bosque- Inceptisol	89,00 a	10,53 b	47,49 a	31,14 a
Cítricas - Ultisol	86,33 a	8,90 bc	17,29 b	9,81 b
Bosque - Ultisol	93,75 a	1,85 c	18,49 b	14,80 b

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

A excepción de la condición de bosque en el Ultisol, hubo un predominio de compuestos húmicos con una mayor proporción de la fracción de los AH en los suelos evaluados (Cuadro 3), y existió asociación entre el contenido de CAH y el CO presente en los macro-agregados y micro-agregados ($r = 0,83^{**}$ y $r = 0,69^*$, respectivamente). Esto podría indicar que el tipo de MO presente no fue tan determinante en la estabilidad de los macro-agregados, ya que según Fortún y Fortún (1989) los materiales húmicos de menor peso molecular (ácidos fúlvicos) están asociados a los macro-agregados (>250 μ m), y los de mayor peso molecular (ácidos húmicos,) a los micro-agregados; es decir, que en los suelos evaluados el tipo de MO presente estaría asociada con los microagregados, por lo que no contribuiría de manera importante a la estabilidad estructural.

En todo caso, la estabilidad estructural en

ambos suelos parece estar marcada por un importante efecto de componentes temporales y transitorios del tipo biológico en relación a los componentes órgano-minerales permanentes. Esto se refleja mejor en el suelo bosque-Inceptisol, donde se presentaron los mayores valores de C-BM, CO y carbohidratos, lo cual puede explicar en este suelo la mayor macro-agregación y contenido de CO en los macro-agregados. Así mismo, un efecto ejercido por otros agentes cementantes, como los óxidos de hierro y aluminio en el caso del suelo más evolucionado, pudiera estar influyendo en la mayor estabilidad observada en este suelo.

CONCLUSIONES

La influencia del cambio de uso de la tierra de bosques a cultivo de cítricas sobre la calidad de la

MO, varió por factores como el pH y contenido de MO del suelo, así como por su grado de evolución.

La introducción de cítricas generó un impacto desfavorable en la calidad de estos suelos, especialmente en los menos evolucionados pedogenéticamente, ya que el Inceptisol fue más susceptible que el Ultisol. Ello quedó evidenciado por los marcados cambios en fracciones de MO activas como la BM, lentas como la fracción ligera, y pasivas como las fracciones pesadas, las humificadas y las protegidas físicamente en los agregados de suelo del Inceptisol. Los cambios en dichas fracciones orgánicas y las características de los suelos, afectaron a los microorganismos, de manera tal que un mismo manejo de cítricas en suelos distintos, afectó de forma diferente a la forma en que la biomasa microbiana respondía en su eficiencia al uso del CO y en su biosíntesis.

El C-BM y la FL pueden ser usados como indicadores de la calidad de la MO para monitorear efectos del cambio de uso de la tierra a corto plazo en estos dos tipos de suelo.

AGRADECIMIENTO

Al Sr. Pedro Pacheco por la oportunidad de conducir esta investigación en su unidad de producción y por el suministro de información.

LITERATURA CITADA

1. Accoe, F., P. Boeckx, J. Busschaert, G. Hofman y O. Van. 2004. Gross N transformation rates and net N mineralisation rates related to the C and N contents of soil organic matter fractions in grassland soils of different age. *Soil Biol. Biochem.* 36: 2075-2087.
2. Alef, K. y P. Nannipieri. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry.* Academic Press. London.
3. Anderson, J. y J.S. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods.* CAB International. Wallingford, UK.
4. Anderson, J. y P. Flanagan. 1989. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. *In: D. Coleman, J. Oades y G. Uehara (eds.). Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystem.* Department of Agronomy and Soil Science. University of Hawaii, Honolulu. Hawaii. pp. 97-122.
5. Argers, D., A. Pesant y J. Vigneux. 1992. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter, and microbial biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 115-119.
6. Brady, N. y R. Weil. 2002. *The Nature and Properties of Soils.* Prentice-Hall. New Jersey.
7. Breland, T.A. y R. Eltun, 1999. Soil microbial biomass and mineralization of carbon and nitrogen in ecological, integrated and conventional forage and arable cropping systems. *Biol. Fertil. Soils.* 30: 193-201.
8. Christensen, B. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20: 2-38.
9. Dell'Abate, M. 1995. Caratterizzazione della sostanza organica del suolo mediante tecniche di termoanalisi. Instituto sperimentale per la Nutrizione delle piante. Roma. Pubblicazione N° 19 Serie 3. pp. 83-92.
10. Deneff, K., J. Six, R. Merckx y K. Paustian. 2004. Carbon sequestration in microaggregates of no tillage soils with different clay mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1935-1944.
11. Dobois, M., K. Pilles, J. Hamilton, P. Rebers y F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and relative substances. *Analytical chemistry* 28(3): 350-356.
12. Duxbury, J.M., M.S. Smith y J.W. Doran. 1989. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. *In: D. Coleman, J. Oades y G. Uehara (eds.). Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystem.* Department of Agronomy and Soil Science. University of Hawaii, Honolulu. Hawaii. pp. 33-67.
13. Ewel, L. y A. Madriz. 1968. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. 264 p
14. Figuera, K. 2006. Caracterización de diferentes fracciones de la materia orgánica en suelos agrícolas venezolanos. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 62 p.
15. Fortun, C. y A. Fortun, 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de

- los agregados del suelo. *Edafol. Agrobiol.* 48: 185-204.
16. Gee, G.W. y J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. In: A. Klute et al. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Physical and Mineralogical Methods*. ASA. Madison, WI. pp. 383-411.
17. Gonzalo, A., M.C. Zancada y M.T. Pardo. 2005. Land use and soil carbon accumulation patterns in South African savanna ecosystems. *Biol. & Fert. Soil* 41: 173-181.
18. Granados, F., R. Sucre y E. Monteverde. 1979. Estudio de las características físico-químicas de los suelos del centro de propagación de cítricas Ing. Agr. Ricardo Araque, Montalbán-estado Carabobo. *Boletín técnico* 14. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 46 p.
19. Heanes, D. 1984. Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Com. Soil Sci. Plant. Anal.* 15: 1191-1213.
20. Hernández-Hernández, R.M., E. Ramírez, I. Castro y S. Cano. 2008. Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). *Agrociencia* 42 (3): 253-266.
21. Hernández-Hernández, R. M., Z. Lozano, C., Bravo, B. Moreno y L. Piñango. 2004. The use of cover crop and no tillage as management that increases the sequestration potential of carbon in the Venezuelan central plain soils. *Bulletin du Reseau Erosion.* 23: 374-386.
22. Hernández-Hernández, R.M. y López-Hernández D. 2002. El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales venezolanos. *Interciencia* 27: 529-536.
23. Paolini, J. 1980. Caracterización de las sustancias húmicas extraídas de suelos típicos del bosque húmedo tropical de San Carlos de Río Negro, T.F. Amazonas. *Acta Cient. Venezolana* 31: 415-420.
24. Rivero, C. 1999. Materia orgánica del suelo. *Revista Facultad de Agronomía (UCV)*. Alcance N° 57. 221 p.
25. Rivero, C. y J. Paolini. 1994. Caracterización de la materia orgánica de tres suelos venezolanos. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 20: 167-176.
26. Rivero, C., T. Chirenje., L. Ma y G. Martínez. 2004. Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma* 123: 355-361.
27. Saviozzi, A., A. Levi-Minzi, R. Cardelli y R. Riffaldi. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and Soil.* 233: 251-259.
28. Schnitzer, M. y P. Schuppli. 1989. Methods for sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1418-1424.
29. Sequi, P., M. De Nobili, L. Leita y G. Cercigni. 1986. A new index of humification. *Agrochemical* 30: 175.
30. Singh, S., N. Ghoshal y K.P. Singh. 2007. Variations in soil microbial biomass and crop roots due to differing resource quality inputs in a tropical dryland agroecosystem. *Soil Biol. & Biochem.* 39: 76-86.
31. Six, J., E.T. Elliott y K. Paustian. 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1042-1049.
32. Soil Survey Staff. 2006. Keys of soil taxonomy. *Natural Resources Conservation Service, USDA*. Washington, D.C. 332 p.
33. Sparling, G. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.* 30: 195-207.
34. Vance, E., P. Brookes y D. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
35. Zagal, E., N. Rodríguez, I. Vidal y A. Flores. 2002. La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distinto manejo agronómico como índice de cambios de la materia orgánica lábil. *Agric. Téc. (Chile)* 62: 284-296.