

EFFECTO DE LA INTENSIDAD DE LA LABRANZA SOBRE DIVERSAS FRACCIONES DE LA MATERIA ORGÁNICA Y LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE UN SUELO DE SABANA

EFFECT OF TILLAGE INTENSITY ON ORGANIC MATTER FRACTIONS AND STRUCTURAL STABILITY OF A SAVANNA SOIL

Rosa Mary Hernández¹ y Danilo López-Hernández²

¹Centro de Estudios de Agroecología Tropical, Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos, Universidad Simón Rodríguez, Apartado 47925, Caracas 1041-A, Venezuela.

E-mail: unesr67@reacciun.ve

²Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Apartado 47058, Caracas 1041-A, Venezuela. E-mail: dlopez@strix.ciens.ucv.ve

RESUMEN

El efecto de dos sistemas de labranza (siembra directa y convencional) sobre algunas propiedades del suelo fue estudiado en una sabana de los Llanos Altos Centrales Venezolanos. El suelo bajo estudio es un Ultisol con un 70% de arena, pH 5,1; 1,4% de carbono y 0,12% de nitrógeno. En este sitio, una subárea de 250 m² estuvo sujeta a labranza convencional por 13 años continuos y otra área de igual tamaño se manejó con labranza convencional por 8 años, seguidos de 5 años continuos de siembra directa. La aplicación de labrado convencional desmejoró significativamente la calidad del suelo en la época de lluvia, observándose un 68% y 60% de reducción en la biomasa microbiana y en la fracción ligera del suelo, respectivamente. Se observó también una disminución del 86% en la estabilidad de los agregados y 30% del carbono asociado a los agregados. Por el contrario, la siembra directa mejoró significativamente las fracciones de materia orgánica estudiadas, así como la estructura de los primeros cinco centímetros de profundidad del suelo. El comportamiento del suelo bajo esta forma de cultivo fue similar al suelo virgen, por lo tanto, podemos concluir que el sistema de siembra directa ayuda a mantener los mecanismos funcionales y estructurales que existen en el suelo no degradado.

Palabras clave: materia orgánica, fracción ligera, biomasa microbiana, carbono, agregados, labranza, sabana.

ABSTRACT

The effects of two management systems (conventional tillage and non-tillage) on several soil properties were analyzed in a savanna site located in the high central plains of Venezuela. The site was characterized by Ultisol type of soil containing 70% sand, pH 5.1, 1.4% carbon and 0.12% nitrogen. A subarea of 250 m² was subject to conventional tillage for a period of 13 consecutive years. A second subarea of similar size was subject to conventional tillage for eight years followed by five consecutive years of non tillage. Implementation of conventional tillage caused, during the rainy season, a 68%, and 60% reduction on the soil microbial biomass and light organic matter fraction, respectively. Concomitantly, a decrease of 86% in the stability of aggregates and 30% on the carbon associated to aggregates, were also detected. In contrast, non-tillage system significantly improved the structure as well as the organic matter fractions in the five cm of the uppermost soil horizon. Therefore, we might conclude that management of agricultural soils by means of non-tillage constitutes the most beneficial system for soil conservation and exploitation.

Key words: organic matter, light fraction, microbial biomass, carbon, aggregates, till, savanna.

INTRODUCCIÓN

El uso a nivel mundial de manejos agrícolas conservacionistas del suelo en el que se incluye la siembra directa no es novedoso. Al respecto existen numerosos estudios que destacan el mejoramiento

de algunas propiedades del suelo como consecuencia de sembrar sin labrar y dejar sobre su superficie una cobertura de residuos que lo proteja. Los cambios posibles en propiedades físicas como: aumento de la estabilidad estructural, disminución de la densidad aparente, aumento de

las tasas de infiltración y aumento de la retención de humedad, enfatizan el rol de este tipo de manejo como una técnica importante para disminuir el efecto detrimental del proceso erosivo en la producción (Arriaga *et al.* 1989, Lal 1976). Sin embargo, muchos de estos cambios en las propiedades físicas del suelo no pueden desligarse de los cambios producidos en el contenido de la materia orgánica y de sus fracciones de más fácil descomposición como la biomasa microbiana, la fracción ligera, la materia orgánica físicamente protegida en los agregados del suelo, aspectos que pueden servir como indicadores bioquímicos de sensibilidad al manejo. Reiteradamente se ha señalado que el laboreo produce una disminución de la materia orgánica (Elliott 1986, Tiessen y Stewart 1983), no obstante, son menos numerosos los trabajos orientados a estudiar el efecto del manejo agrícola en las fracciones de materia orgánica. Granatstein *et al.* (1987) y Follet y Schimel (1989) han mostrado que la biomasa microbiana puede verse favorecida significativamente en suelos manejados con siembra directa en relación a los manejados con labranza convencional. Muchos de estos cambios tienen que ver con la presencia de una cobertura de residuos continua que sirve como sustrato para el desarrollo de microorganismos y microfauna del suelo (Doran 1980, Hendrix *et al.* 1986). A su vez la presencia de estos residuos contribuye a la formación de la fracción ligera de la materia orgánica (Bremer *et al.* 1995, Hassink 1995). Todos estos factores conducen al aumento de la materia orgánica y a su permanencia dentro de los agregados del suelo (Oades 1984, Tisdall y Oades 1982), por lo cual se conserva más a pesar de ser suelos cultivados. La gran mayoría de estos trabajos han sido realizados en suelos de zonas templadas con condiciones climáticas muy distintas a las tropicales.

En Venezuela, donde la creciente demanda alimenticia ha llevado a un incremento de la degradación de los suelos por el uso de tierras con serias limitaciones para el cultivo, el uso de la siembra directa podría ser una alternativa a tomar en cuenta, a fin de lograr una mejora, o mitigar la disminución de la calidad del suelo por el laboreo. Luizao *et al.* (1992) han mostrado algunos cambios en propiedades bioquímicas de suelos de bosques amazónicos y Llambí y Sarmiento (1997) en zonas de condiciones climáticas muy particulares como el páramo. Pero en zonas de sabanas de grandes extensiones cuyos suelos generalmente son ácidos, con bajos contenidos de nutrientes y de materia

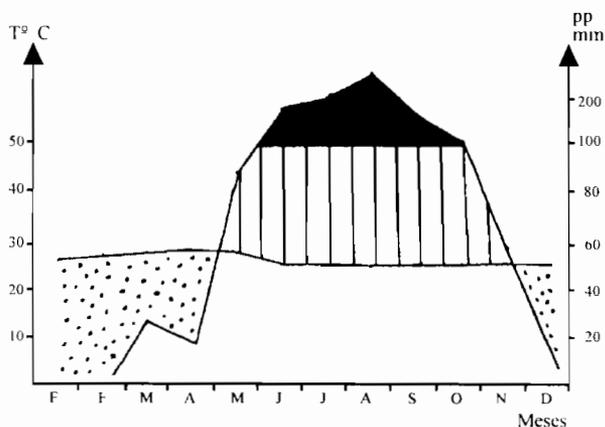


Figura 1. Climadiagrama de Gausson para El Sombrero, estado Guárico, Venezuela.

orgánica (M.O.), en los cuales se realiza gran parte de la agricultura de cereales, resalta la inexistencia de estudios sobre el efecto del manejo agrícola en propiedades bioquímicas del suelo, parámetros o indicadores que pudieran ser reguladores importantes del funcionamiento de estos agroecosistemas.

El objetivo de este trabajo es determinar en un suelo de sabana cómo cambian algunas propiedades físicas y bioquímicas bajo dos tipos de manejo; la siembra directa y la labranza convencional, así como establecer en estos suelos la importancia relativa de diversas fracciones de la materia orgánica y cuál es la estructura de agregados.

ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio fue realizado en la finca Piemonsarda cercana a la población de El Calvario, a 10 km de la ciudad de El Sombrero en el estado Guárico, región que está ubicada en la parte central de Venezuela, a los 9°11'N y 67°01'O. Esta zona corresponde al paisaje de los Llanos Altos Centrales, el cual comprende un área de transición entre las sabanas propiamente dichas y el bosque seco tropical.

El clima de la región es marcadamente estacional, con una época de sequía que va desde noviembre a mayo y otra de lluvia que comprende los meses de junio a octubre (Figura 1). La precipitación total anual es de 1.136 mm y la temperatura media anual es de 27°C.

La vegetación nativa es de sabana, dominada por un estrato herbáceo con gramíneas, especialmente *Trachypogon* sp. y *Axonopus* sp. Existe también un estrato arbóreo medianamente denso con

Curatella americana, *Byrsonimia crassifolia* y *Bowdichia virgilioides* como especies dominantes. También abundan los cujíes (*Acacia macarantha*, *Prosopis juliflora*) de tamaño comprendido entre 2 y 4 m.

Los suelos son del orden Ultisol, de bajo contenido nutricional, con muy buena estructura física, pH ácido (4,79-5,26) y alto contenido de sesquióxidos de hierro y aluminio. Se pudo observar la presencia de concreciones ferruginosas en la superficie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron en parcelamientos que constituyen pequeñas fincas con fines de explotación semicomercial. Para el momento del inicio del estudio la zona cultivada tenía 13 años de haber sido intervenida, practicándose el monocultivo continuo de maíz PB8 tipo PIONER-5065. Uno de los parcelamientos recibió durante todos esos años manejo convencional que incluía como preparación de tierras: 4 pases de rastras, aplicación del herbicida después de la semana de siembra y a los 20-25 días, y una densidad de siembra de 60.000 semillas ha⁻¹. El otro parcelamiento ubicado al lado del anterior se sembró convencionalmente durante 8 años; el resto del tiempo hasta la actualidad ha sido cultivado con siembra directa. En este caso, se usaron 2 pases de rotativa; al comienzo de las lluvias y a los 15 días antes de la siembra. La sembradora utilizada fue del tipo 3 en 1, la cual permite la siembra, la aplicación del herbicida y el fertilizante a un mismo tiempo. Se dejó una cobertura sobre la superficie de aproximadamente 11 ton ha⁻¹ en materia seca. Mucha de esta cobertura suele ser maleza y residuos de la cosecha anterior. Ambos parcelamientos no fueron quemados, y el fertilizante usado fue 12-24-12 a razón de 400 kg ha⁻¹ y úrea a 150 kg ha⁻¹. La siembra del maíz fue en el mes de junio y la cosecha en el mes de septiembre, con una cosecha al año. En cuanto a la producción fue similar entre los dos tipos de manejo, aproximadamente 4.000 kg ha⁻¹ en promedio, aunque más variable en la parcela donde se usó siembra directa.

La sabana natural se encontraba a 100 m aproximadamente de las parcelas estudiadas. Esta zona aún no había sido cultivada, siendo la quema esporádica la forma de manejo más usual de esta sabana.

En cada tratamiento: siembra directa (SD), labranza convencional (LC) y sabana natural (SN), se levantaron parcelas de 50 x 50 m², en las cuales

se tomaron al azar, con un muestreador tipo Uhland, 10 muestras de suelo no disturbado a las profundidades de 0-5 cm y 5-10 cm. Paralelamente, se tomaron al azar 30 muestras no disturbadas a las mismas profundidades, para formar 3 muestras compuestas, cada una de 10 muestras, por tratamiento de suelo. Se hicieron muestreos en las dos épocas climáticas, en los meses de marzo y septiembre.

En las muestras sencillas se midió el nitrógeno total por el método de microKjeldahl (Bremner 1965), el carbono por el método de oxidación completa (Anderson e Ingram 1993) y el carbono de la biomasa microbiana por el método de fumigación-extracción (Vance *et al.* 1987), modificado por Sparling y West (1988), después de fumigar 10 g de suelo durante cinco días. El carbono microbiano se calculó mediante la diferencia entre el carbono extraído de suelos fumigados y el de los suelos no fumigados, aplicando un factor de conversión de 2,64.

En las muestras compuestas se hizo el fraccionamiento de la materia orgánica (M.O.) en fracción ligera (F.L.) y pesada y también se determinó la distribución de agregados estables al agua. Se obtuvo la F.L. de la M.O. mediante fraccionamiento físico de la misma por el método de Anderson e Ingram (1993). Brevemente, la F.L. está formada por partículas orgánicas ligeramente transformadas por descomposición, más pequeñas de 2 mm pero más grandes de 0,25 mm, las cuales flotan en un medio de separación como el agua. El carbono de la F.L. fue estimado por el método de oxidación completa (Anderson e Ingram 1993).

La distribución de agregados estables al agua se hizo mediante tamizado en húmedo. Se utilizó la metodología de Kemper y Rosenau (1986) y Elliott (1986), con algunas modificaciones. Las muestras compuestas fueron homogeneizadas y pasadas por los tamices de 8 y 4,7 mm a fin de obtener agregados con dicho tamaño. Los agregados contenidos en el tamiz de 4,7 mm fueron colocados en un equipo para tamizado en agua que tenía además una secuencia de tres series de tamices de menor tamaño, los cuales correspondían a los tamaños de 0,8333 mm, 0,417 mm y 0,104 mm. Los agregados quedaron sumergidos en agua durante 5 minutos y luego se procedió al tamizado por dos minutos con movimientos verticales del eje que portaba los tamices. Al final de este tiempo, los tamices fueron sacados del agua y con mucho cuidado se colectaron las diferentes cantidades de agregados que quedaron en cada tamiz. El agua que quedó en el fondo del

MATERIA ORGÁNICA Y ESTABILIDAD ESTRUCTURAL EN SUELOS DE SABANA

Tabla 1. Contenido de carbono orgánico total, nitrógeno orgánico total (g kg^{-1}), C/N, en los suelos de sabana (SN) cultivados con siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) para ambas épocas climáticas: lluvia (LL) y sequía (S), en el estado Guárico, Venezuela. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, profundidad y épocas climáticas, $P < 0,05$.

	C(g kg^{-1})		N(g kg^{-1})		C/N	
	LL	S	LL	S	LL	S
SD 0-5 cm	16,7±1,5 e	16,4±1,5 e	1,3±0,2 ef	1,5±0,1 f	13,1±2,0	11,3±1,4
SD 5-10 cm	11,3±1,0 ab	11,2±1,1 a	0,8±0,1 a	1,1±0,1 bc	13,6±2,4	10,3±1,9
LC 0-5 cm	11,3±0,6 ab	11,4±0,6 ab	1,0±0,1 ab	1,3±0,4 e	11,3±0,4	8,7±2,9
LC 5-10 cm	11,0±0,8 a	12,0±0,8 ab	0,9±0,1 b	1,1±0,1 ab	12,2±1,1	12,0±1,5
SN 0-5 cm	14,5±1,3 d	15,9±1,4 e	1,2±0,1 cd	1,2±0,1 cd	11,8±1,7	13,1±1,1
SN 5-10 cm	13,2±0,9 c	12,3±0,7 bc	1,1±0,1 cd	0,9±0,1 ab	12,0±0,8	13,2±1,0

equipo de tamizado fue pasada por un tamiz de 0,053 mm. De esta forma se obtuvieron 6 porciones de tamaño de agregados que fueron secados en estufa a 60°C. A fin de determinar el porcentaje de arenas en cada fracción de agregados se hizo otro tamizado en húmedo. A los agregados obtenidos se les añadió hexametafosfato de sodio al 10% y luego cada contenido fue pasado por el mismo tamiz en el cual quedó retenido el suelo. El carbono de cada fracción de agregados fue estimado por el método de oxidación completa (Anderson e Ingram 1993).

El análisis estadístico utilizado fue análisis de varianza de una o más vías con la prueba de mínimos cuadrados y un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. En aquellos casos donde los datos no se ajustaron a una normal se usó la comparación de medias no paramétricas con la prueba de U-Mann Whitney. El paquete estadístico usado fue el Statgraphic.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de carbono y nitrógeno total

El suelo virgen (SN) donde se realizó este estudio es representativo de los suelos de ecosistemas de sabana con baja calidad nutricional, tal como puede apreciarse en la Tabla 1. Para un mismo tratamiento de manejo del suelo, sólo se aprecian variaciones estacionales significativas del carbono (C) en la superficie del suelo SN y del nitrógeno (N) en la superficie del suelo LC y

subsuperficie del suelo SD y SN. Esto podría ser un reflejo de la variabilidad espacial más que un efecto neto de la estacionalidad climática sobre los niveles totales de estos elementos. Cuando se comparan los tratamientos de manejo; el laboreo convencional, durante la época lluviosa, tiene una marcada incidencia en la disminución del contenido de C y N en los primeros 10 cm de suelo; un 22% para el C y un 15% para el N. Un comportamiento inverso se observa en el suelo manejado con SD para la misma época, especialmente en los primeros 5 cm de profundidad; en este caso se observa un aumento del 15% de C y de 4% de N con respecto al suelo SN, lo cual implica un mejoramiento de la calidad nutricional de la superficie del suelo después de 5 años de aplicación continua de la SD. En la época seca, el aumento comparativo del N es aún mayor (17%), registrándose el mismo comportamiento en el suelo LC con un aumento del 8%. En cambio, entre 5 - 10 cm hay una disminución significativa del C y del N a niveles similares a los encontrados a esa profundidad con la LC. Esta distribución de los elementos en el perfil de suelo, tanto en SN y SD, promueve una estratificación del C y N, con mayor contenido en la superficie y menor a la siguiente profundidad. En el caso del suelo SD, la presencia de una cobertura de residuos en su superficie y la práctica de no arar el suelo podrían producir un aumento de la M.O., y por tanto de C y N, como consecuencia de la

existencia de un menor contacto entre el suelo y el residuo, menores tasas de oxidación y menor erosión del suelo. Por el contrario, el manejo agrícola, que en su forma convencional, limpia y entierra residuos que podrían servir de entradas orgánicas activa los procesos de erosión y lixiviación que en conjunto conllevaría a una disminución de la M.O. en estos suelos.

La distribución estratificada del N y el C en los primeros centímetros del suelo SD ha sido observada igualmente por Dick (1983), Luizao *et al.* (1992) y Mazzarino *et al.* (1993). Los resultados en el presente trabajo apoyan la hipótesis planteada por House *et al.* (1984) y Stinner *et al.* (1984) que consideran que el manejo agrícola conservacionista genera sistemas más parecidos a aquellos no disturbados como los ecosistemas naturales, en donde los nutrimentos se ciclan en mayor número de pasos y se retienen más que en los agroecosistemas labrados intensivamente.

Biomasa microbiana

Los valores presentados en la Tabla 2 indican que la biomasa microbiana (B.M.) representa del 1 al 1,8% del C total de estos suelos. Esta fracción de M.O. resulta sensible al tipo de laboreo, disminuyendo significativamente con la LC, en la época de lluvia, y aumentando, por el contrario, de forma significativa con la SD, en la época seca. Con este último manejo los incrementos con respecto al suelo SN sólo son tangibles en los primeros 5 cm de profundidad. A la siguiente profundidad los valores alcanzan niveles igualmente

bajos a los encontrados en el suelo LC en ambas épocas climáticas. En el suelo bajo tratamiento conservacionista se produce una evidente estratificación de la B.M. en el perfil, siendo significativamente superior dicha fracción en la superficie del suelo. No se observa un patrón definido de cambios con la estacionalidad climática como ha sido señalado por Patra *et al.* (1990). Mientras hay una tendencia a aumentar la B.M. en la época seca, en los horizontes sub-superficiales de los suelos cultivados y en la superficie del suelo SD, en el suelo SN se produce una disminución en dicha época con respecto a la lluviosa. Los resultados acá obtenidos son menores a los reportados en suelos de zonas templadas (Drury *et al.* 1991, Granatstein *et al.* 1987) y en zonas tropicales (Luizao *et al.* 1992, Singh *et al.* 1991), posiblemente relacionado con los bajos contenidos de M.O. encontrados.

El tipo de labranza afecta la ubicación de los residuos, pudiendo generar cambios en las condiciones microambientales (físicas y químicas) donde se desarrollan los microorganismos. Los residuos de cultivos dejados como cobertura en la superficie del suelo SD sirven como sustrato de C y N, convirtiéndose en B.M. al ser incorporados en la estructura bioquímica de las poblaciones microbianas durante su crecimiento, lo cual podría favorecer el incremento en la B.M. observado con respecto al suelo LC. En cambio, el laboreo intenso no sólo ocasionó una pérdida considerable de M.O. del suelo SN en la época de lluvia, sino también de su B.M. En vista de estos resultados la SD podría

Tabla 2. Carbono de la biomasa microbiana (mg kg^{-1}) en los distintos tratamientos de suelo y en las dos épocas climáticas, en el estado Guárico, Venezuela. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, profundidad y épocas climáticas. $P < 0,05$.

Tratamiento	Lluvia	Sequía
SD 0-5 cm	226,0 \pm 23,0 f	237,7 \pm 24,5 g
SD 5-10 cm	108,8 \pm 11,4 a	169,7 \pm 28,4 cde.
LC 0-5 cm	151,8 \pm 20,7 bc	131,1 \pm 21,3 ab
LC 5-10 cm	131,8 \pm 19,8 ab	198,3 \pm 34,1 de
SN 0-5 cm	223,9 \pm 23,2 f	132,9 \pm 25,6 abc
SN 5-10 cm	215,2 \pm 22,0 ef	157,4 \pm 27,4 cde

Tabla 3. Contenido de la fracción ligera de M.O. (g FL kg⁻¹) en suelos cultivados (SD y LC) y naturales (SN), en el estado Guárico, Venezuela. Letras distintas entre filas y columnas indican diferencias significativas. P < 0,05

Tratamiento	Lluvia	Sequía
SD 0-5 cm	4,8 ± 0,5 e	4,6 ± 0,5 e
SD 5-10 cm	3,2 ± 0,4 d	2,7 ± 0,3 cd
LC 0-5 cm	1,0 ± 0,1 b	0,5 ± 0,01 a
LC 5-10 cm	1,1 ± 0,1 b	0,9 ± 0,01 ab
SN 0-5 cm	2,7 ± 0,3 cd	2,4 ± 0,2 c
SN 5-10 cm	2,4 ± 0,2 c	2,3 ± 0,2 c

constituir una vía potencialmente importante de mejorar la capacidad de almacenamiento y protección del suministro de nutrimentos en suelos pobres de sabanas. Esta fracción responde a cualquier cambio en cantidad y calidad de la entrada orgánica al suelo de una forma mucho más rápida que la M.O. total, por tanto, podría considerarse que su estimación es una herramienta útil para el entendimiento y predicción de los efectos a largo plazo de los cambios en las condiciones del suelo debido al cultivo.

La falta de evidencia de un patrón definido de la B.M. con la estacionalidad climática, pudiera ser consecuencia del método de fumigación-extracción usado, el cual contempló un rehumedecimiento de las muestras antes de la fumigación. Este aspecto pudiera ser un factor crítico si se considera que la humedad de la muestra podría disparar el crecimiento microbiano de muestras de la época seca. Aún así, el método fue adecuado para evaluar los cambios de la B.M. producto del tipo de manejo dado al suelo.

Fracción ligera

Otra fracción de M.O. que resultó sensible al tipo de manejo agrícola del suelo fue el contenido de la fracción ligera (F.L.), véase Tabla 3. Con la LC se pierde aproximadamente un 60% de la F.L., por el contrario, cuando se usa la S.D. se logra un incremento del 70%, con respecto al suelo virgen. La existencia de una cobertura de residuos en los suelos no labrados promueve un mayor porcentaje de F.L. en su superficie, no así a mayor profundidad, por lo cual es evidente una estratificación espacial de esta fracción de M.O. Por el contrario, tal distribución no es apreciable en el suelo LC y en el suelo SN. La superficie del suelo SN tiene un

contenido de F.L. intermedio entre el encontrado en la SD y la LC. A la profundidad de 5-10 cm no hay diferencias significativas entre el suelo SD y el suelo SN.

Los valores de F.L. encontrados están dentro del rango reseñado por Ojeda (1995) para sabanas tropicales y son algo menores que los encontrados por Boone (1994) y Biederbeck *et al.* (1994) para suelos de zonas templadas.

A diferencia de lo presentado en otros trabajos (Spycher *et al.* 1983), las variaciones entre épocas climáticas no jugó un papel determinante en el contenido de la F.L., al no observarse cambios significativos entre la época de lluvia y de sequía en la mayoría de los tratamientos; tal como sí sucede en la superficie del suelo LC que muestra el menor valor de F.L. en la época de sequía. Dicho comportamiento pudiera deberse a una mayor descomposición producto de un mejor contacto suelo residuo y a una mayor erosión ocasionada por el laboreo. Se apreciaron cambios significativos con el tratamiento de suelo y en algunos casos con la época climática, en el contenido de C en la F.L. y en el aporte de esta fracción al contenido de C total, tal como se muestra en la Figura 2. La F.L. del suelo LC tiene los menores contenidos de C entre los tratamientos de suelos comparados y es, por tanto, la que tiene los más bajos aportes de C al suelo por esta vía (barras horizontales del gráfico), apenas aporta un 0,1 y 0,2 g C-F.L.kg⁻¹ (0,9% y 1,3%) comparado con 0,8 y 0,6 g C-F.L.kg⁻¹ (5 a 6%) para el suelo SD. Por otro lado, destaca que la superficie del suelo SN es el que tiene significativamente el mayor contenido de C en la F.L. (barras verticales en el gráfico), aunque su aporte al suelo (0,4 y 0,6 g C-F.L.kg⁻¹) es intermedio por tener un menor contenido de F.L.

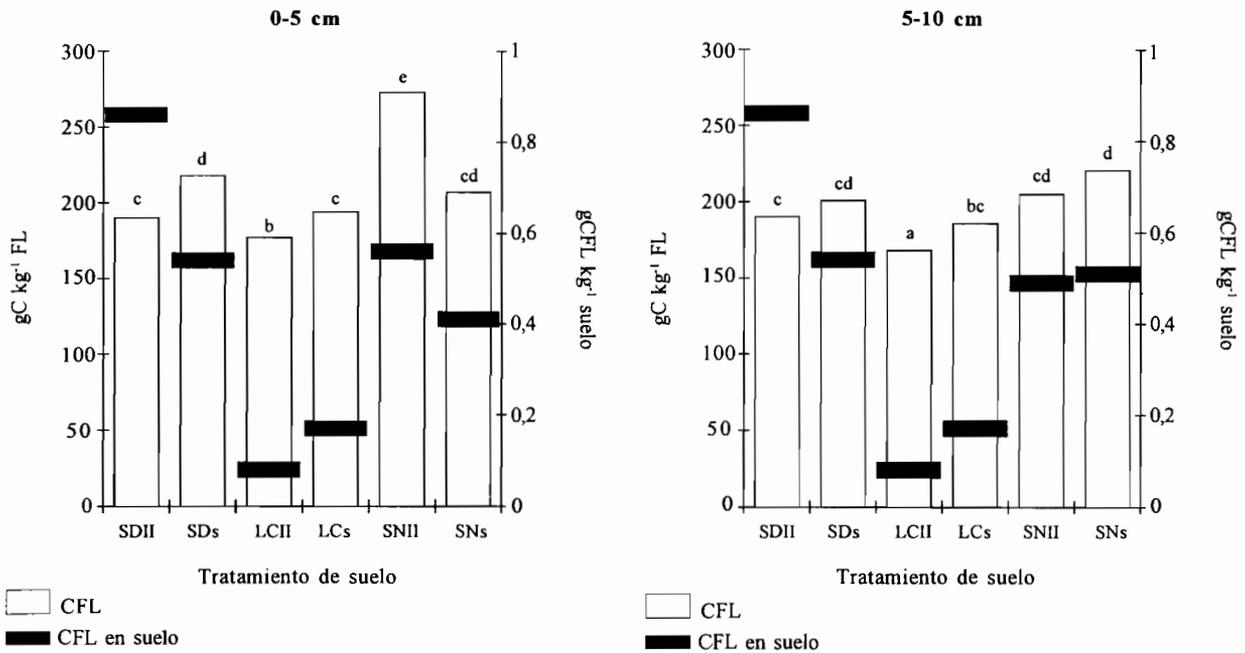


Figura 2. Contenido de carbono (g kg^{-1}) en la fracción ligera de la M.O. de cada tratamiento de suelo. Las barras verticales (blancas) corresponden al contenido de C total en la FL (escala a la izquierda). Las barras horizontales (negras) corresponden al contenido de C total ponderado con la cantidad de FL en cada tipo de suelo (escala a la derecha). II=Lluvia s=sequía. SD= Siembra Directa; LC= Labranza Convencional; SN: Sabana Natural. Letras distintas indican diferencias significativas. $P < 0,05$.

que el suelo SD.

Con estos resultados se evidencia que la F.L. es un indicador más sensible a cambios en el suelo originados por el tipo de labranza y entradas de residuos que el contenido total de C. La F.L. se constituye en un reservorio importante de nutrientes en el suelo SD, pero deja de serlo en el suelo con manejo convencional, lo cual contribuye a los menores valores de C y B.M. encontrados.

Estabilidad estructural de agregados

Las variaciones en el porcentaje en peso de los agregados estables al agua de las distintas fracciones de tamaño, en cada tratamiento de suelo, muestra el efecto del laboreo sobre la estabilidad de los agregados (Figura 3). Si permanece un alto porcentaje de agregados en el tamaño I (8-4,7 mm) el suelo es muy estable. En tal sentido se observa que la estabilidad de los agregados al agua disminuye significativamente con el laboreo. El suelo SN mantiene alrededor de 90% de sus agregados en el tamaño I, por lo cual es dos veces más estable que el cultivado con SD y siete veces más estable que el cultivado con LC. Por otra parte, es notorio que entre los suelos SD y SN existe una distribución estructural muy parecida, es decir, una alta

proporción de agregados grandes y una menor proporción de agregados pequeños. Se evidencia la poca estabilidad del suelo LC, ya que se desmoronan en las fracciones más pequeñas (microagregados), las cuales alcanzan un 70% del total en cada profundidad. Igualmente destaca que el aumento de la estabilidad de los agregados en el suelo SD está circunscrito sólo a los primeros 5 cm de profundidad, ya que no se obtuvieron diferencias significativas entre el suelo LC y SD a mayor profundidad.

Como ya fue señalado el uso de la siembra directa con una cobertura de residuos conllevó a un aumento de la M.O. y de sus fracciones lábiles de B.M. y F.L., las cuales podrían servir como agentes de unión del tipo temporal y transitorio entre los microagregados. En el suelo LC, dichos parámetros disminuyeron drásticamente y al ser más débiles que los agentes de unión permanente, estos se pierden fácilmente con un laboreo más intenso como el que se realizó en este suelo. La alta estabilidad del suelo SN no puede atribuirse únicamente a la M.O., ya que ésta y las fracciones estudiadas son bajas, en este caso podrían predominar agentes de unión del tipo permanente como los orgánicos minerales (sesquióxidos de Fe

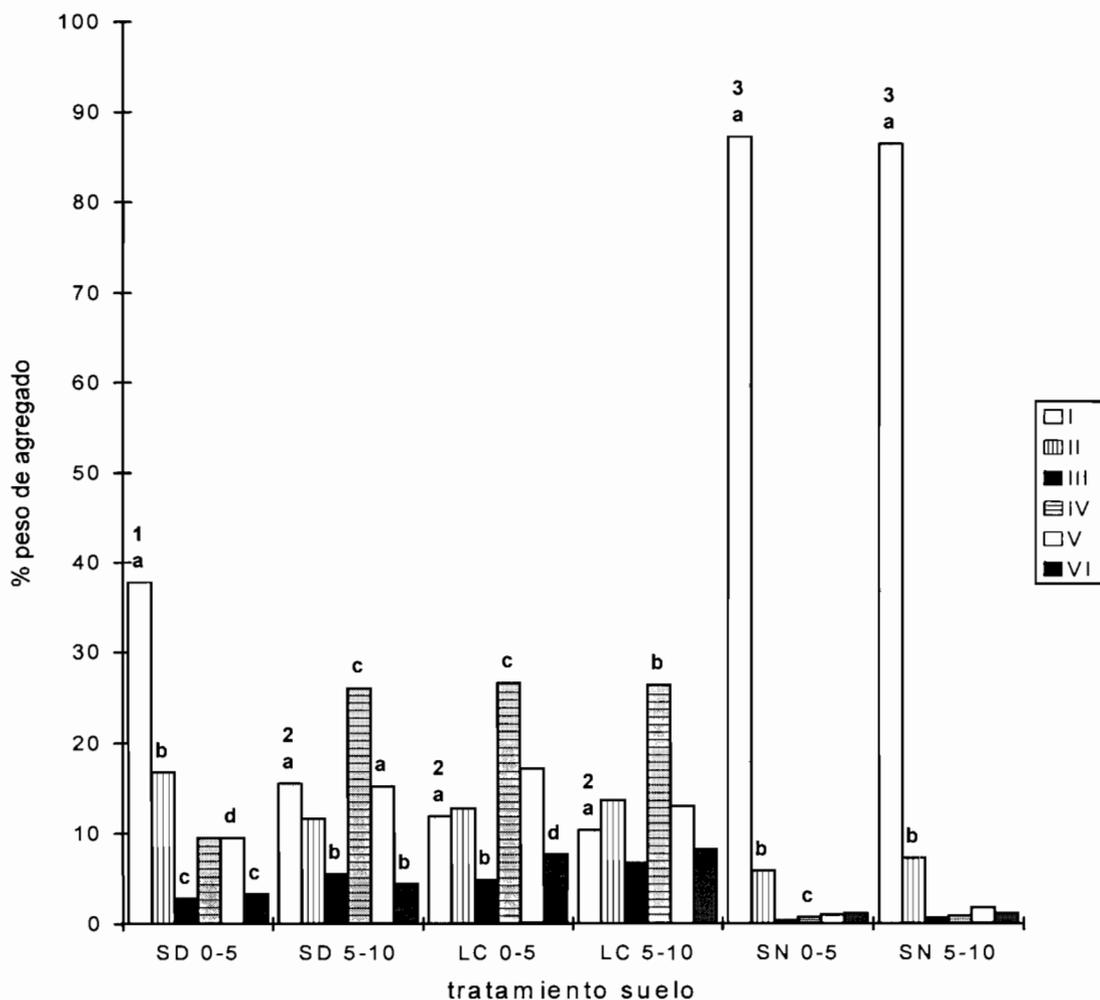


Figura 3. Distribución de agregados estables al agua (%) de suelos cultivados y no cultivados, en el estado Guarico, Venezuela. Números distintos corresponden a diferencias significativas de las fracciones de agregados entre tratamientos $P < 0,05$. Letras distintas indican diferencias significativas de las fracciones de agregados dentro de tratamientos $P < 0,05$. Fracciones de tamaños de agregados: I:8-4,699 mm; II:4,699-0,8 mm; III:0,8-0,4 mm; IV:0,4-0,1 mm; V:0,1-0,053; VI:<0,053 mm. SD=Siembra Directa, LC=Labranza Convencional, SN=Sabana Natural. Profundidades=0-5cm y 5-10 cm.

y Al); sin embargo, esto debe determinarse.

La disminución de la estabilidad estructural con el laboreo ha sido reportada en diversos trabajos (Elliott 1986, Marcano *et al.* 1993), lo que no ha sido frecuentemente demostrado es el mejoramiento de la estabilidad con el uso de la SD. A diferencia de los resultados aquí mostrados, Bravo y Andreu (1995) no encontró diferencias significativas, a profundidades de 0-15 cm y más, en la estabilidad estructural de suelos tropicales manejados con SD y LC. En este sentido, es importante destacar a la profundidad de muestreo como un factor que puede conducir a conclusiones divergentes. Lo anterior también es fundamentado en lo señalado por Hill

(1990), en cuanto a que la labranza no produce efectos de la misma intensidad en todas las profundidades del perfil.

Materia orgánica físicamente protegida en los agregados de suelo

En la Figura 4 se muestra la distribución del C total en las distintas fracciones de tamaño de agregados. De los resultados se aprecia que el C se encuentra distribuido de forma diferente en la estructura del suelo, posiblemente relacionado con la protección física de la M.O. en los agregados. Esto queda evidenciado porque el C tiende a disminuir a medida que los agregados son más

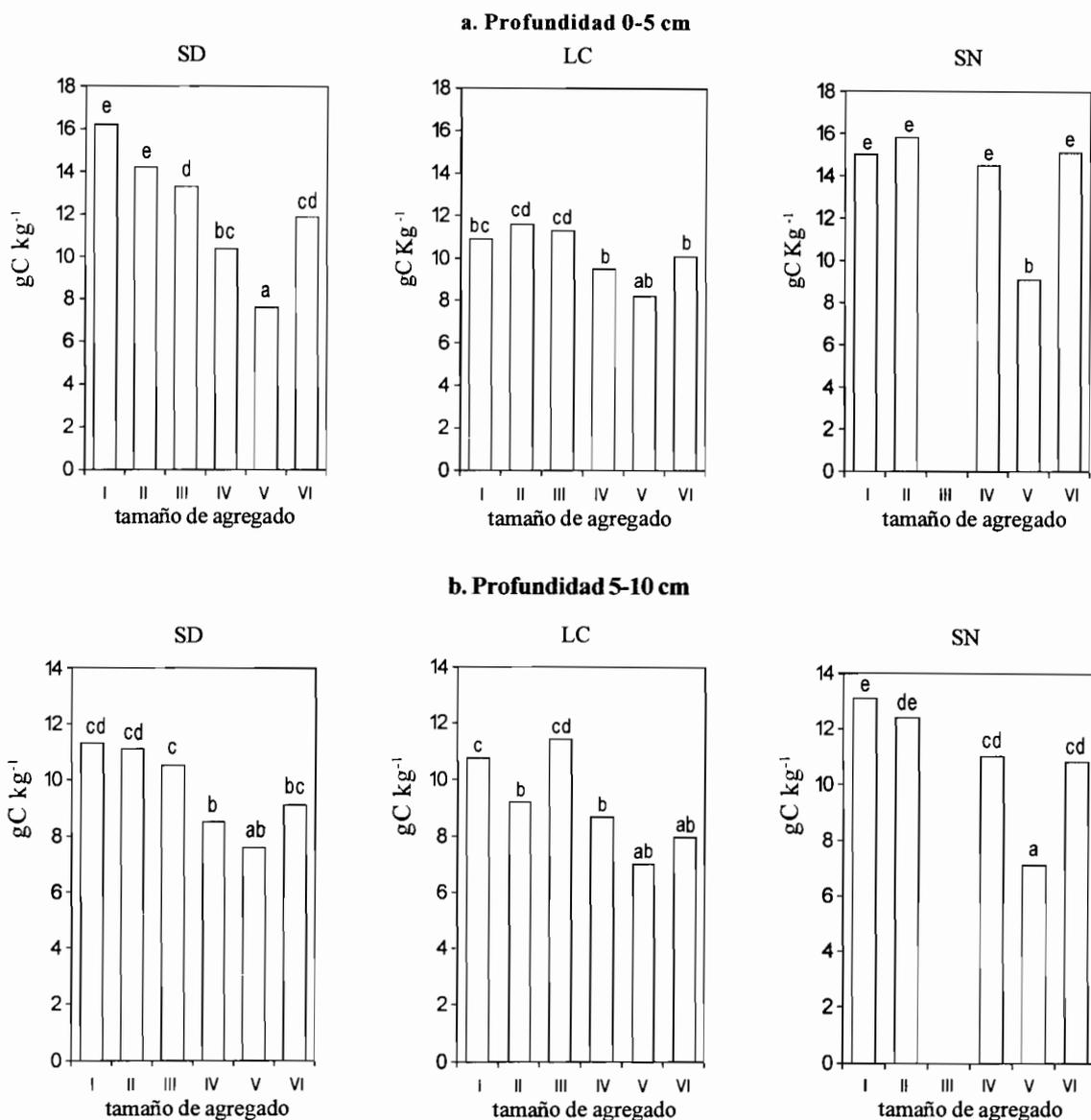


Figura 4. Contenido de C total (g kg⁻¹) en agregados de suelos cultivados y no cultivados, en el estado Guárico, Venezuela. Tamaño de agregados: I: 4,7-8 mm, II: 0,8-4,7 mm, III: 0,4-0,8 mm, IV: 0,1-0,4 mm, V: 0,053-0,1 mm, VI: <0,053 mm. Letras distintas entre las barras indican diferencias significativas entre las fracciones de agregados entre tratamientos de suelo y dentro de los mismos. P<0,05.

pequeños. Sólomente las fracciones más finas (<0,053 mm) vuelven a tener un mayor contenido de M.O. asociada. La fracción III del suelo SN no fue analizada por falta de muestra. Las fracciones de mayor tamaño (I, II, III) tienen un contenido de C que oscila entre 18 g kg⁻¹ y 16 g kg⁻¹. Este patrón se repite en los agregados de los otros dos tratamientos de suelos; LC y SN, aunque los valores de C son menores a los mostrados por los mismos agregados del suelo SD. Lo anterior refleja el

contenido de C estimado para el mismo suelo en las muestras no disturbadas mostrados en la Tabla 1. Por otra parte, se evidencia el menor contenido de C en la fracción V, y el aumento en la fracción VI de agregados de los suelos SN y SD. En este contexto destaca que en estas dos fracciones el suelo SN tiene más C que los mismos agregados en los suelos cultivados (LC y SD).

Con la profundidad disminuye significativamente el contenido de C en los agregados de mayor

tamaño (I a III) de los suelos con SD, a valores de 13,8 y 11,6 g kg⁻¹, respectivamente y (I y II) en los suelos SN, a valores de 13,6 y 12,9 g kg⁻¹, respectivamente. En los suelos LC no se presentan diferencias con respecto al contenido de C en los agregados de la superficie.

Cuando se compara el contenido de este elemento en los agregados de otros suelos estudiados (Beare *et al.* 1994, Elliott 1986, Gupta y Germida 1988) se aprecia que valores reportados en este estudio son mucho más bajos, reflejando el pobre contenido nutricional de los suelos de sabana. No obstante, se mantiene lo observado por Tiessen y Stewart (1983), Elliott (1986) y Gupta y Germida (1988) respecto a que los agregados de los suelos cultivados tienen menor contenido de C que los naturales, al igual que lo reseñado por Beare *et al.* (1994) en el sentido de que los agregados de los suelos cultivados con siembra directa tienen más C que los labrados convencionalmente.

De los resultados se evidencia que en todos los casos los macroagregados tienen más C que los microagregados y que en la mayoría de los tratamientos no hay diferencias significativas entre el contenido de C de los microagregados. Sólo las fracciones más grandes de agregados son las que muestran diferencias en la cantidad de C debidas al manejo agrícola (Figura 4). Este comportamiento es similar al reportado por Elliott (1986) en suelos menos meteorizados, tanto para suelos cultivados como nativos, pero contrario a los reseñados por Woome *et al.* (1994), quienes encontraron que el C puede ser mayor en macroagregados o en microagregados en suelos Latosoles de Martinica, dependiendo del cultivo presente. La corrección del contenido de arenas y de F.L. de la M.O. en los agregados puede tener una marcada influencia en el patrón de distribución del C y el N con el tamaño de los agregados (Elliott *et al.* 1991). En el presente estudio sólo se hizo la corrección de las arenas, no así el de la F.L., lo cual podría influir en los resultados, sobre todo en los suelos con SD, dado el alto contenido de esta fracción en la superficie de los mismos. Sin embargo, la distribución jerárquica del C puede responder también a otros factores, ya que en trabajos en donde no se hicieron estas correcciones (Woome *et al.* 1994), se han encontrado patrones diferentes o iguales a los mostrados en el presente estudio.

Tomando en cuenta los resultados de distribución de tamaño de agregados estables y los del contenido de C en los agregados, se tiene que los suelos manejados con SD mantienen un mayor

porcentaje de macroagregados estables, con la cantidad más alta de C, muy parecida a la mostrada por los macroagregados de los suelos naturales. Con LC las pérdidas de M.O. por el laboreo se manifiesta por una proporción más pequeña del suelo conteniendo macroagregados de alto contenido de C y una gran proporción del suelo conteniendo microagregados con bajo contenido de este elemento. En consecuencia los menores valores de C observados en estos suelos pudieran ser debido a que su baja estabilidad puede favorecer las pérdidas de M.O. por erosión.

CONCLUSIONES

El uso continuo de la SD revirtió, en los primeros centímetros de suelo, el efecto deletéreo que produjo el laboreo intensivo en algunas propiedades físicas y bioquímicas de este suelo de sabana. A mayor profundidad el efecto de la siembra directa dejó de apreciarse y las propiedades mostraron rangos de valores similares o menores a los del suelo manejado convencionalmente.

La declinación en un 86% de la estabilidad de los agregados al agua, manifiesta la vulnerabilidad de los suelos manejados de forma convencional a los cambios de humedad cíclicos y contrastantes de las épocas de lluvia y sequía. El mejoramiento de esta propiedad física en un 30% en la superficie del suelo manejado con siembra directa, fue atribuido principalmente al efecto producido por dejar una cobertura de residuos que sirvió como entrada orgánica y en consecuencia aumentó el contenido de M.O. y de sus fracciones como la F.L., la B.M. y la M.O. físicamente protegida en los agregados del suelo. En este sentido, la SD condujo a una mayor conservación de fracciones que permitirían mantener elementos importantes para las plantas.

La F.L., seguida de la B.M., fueron las variables más sensibles a la intensidad de la labranza, ello sugiere la importancia de estimarlas como indicadores bioquímicos de sostenibilidad.

La distribución jerárquica del C en los agregados de suelo mostró que el laboreo afecta de forma distinta a la M.O. de los agregados. El C en los macroagregados fue susceptible a la intensidad de la labranza al perderse con el laboreo en un 30%, en cambio los microagregados no fueron afectados por ella.

Debido a las bondades ofrecidas por la SD en la superficie de este suelo, con tan sólo cinco años de aplicación, se sugiere que sea aplicado de forma continua a largo plazo con el propósito de lograr un

efecto a profundidades mayores del suelo. De lo señalado anteriormente se desprende que en estos suelos minerales el manejo de la M.O. puede ser un importante regulador de diversas limitaciones ambientales para la productividad del cultivo. Son necesarios estudios más detallados de la M.O. y sus fracciones en el suelo tropical a fin de concentrar esfuerzos en el desarrollo de agroecosistemas sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece muy especialmente la colaboración de la Dra. Adriana Florentino y la Dra. Elvira Cuevas, por sus aportes en la ejecución y discusión de algunos resultados. Igualmente agradecemos el apoyo financiero del CONICIT (S1-2164 y T-92-5566057) y del CDCHT (03.030.92) de la Universidad Central de Venezuela.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.M. y J.S.I. INGRAM. 1993. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2ª edición CAB International, Wallingford.
- ARRIAGA, L., M. JIMENEZ y Z. LOZANO. 1989. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las pérdidas de suelo, nutrientes y rendimientos de los cultivos de sorgo y soya en Tucupido, Edo. Guárico. Memorias del X Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Maturín.
- BIEDERBECK, V.O., H.H. JANZEN, C.A. CAMPBELL y R.P. ZENTNER. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biology and Biochemistry* 26(12):1647-1656.
- BOONE, R.D. 1994. Light-fraction soil organic matter origin and contribution to net nitrogen mineralization. *Soil Biology and Biochemistry* 26(11):1459-1468.
- BEARE, M.H., M.L. CABRERA, P.F. HENDRIX y D.C. COLEMAN. 1994. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society American Journal* 58:787-795.
- BREMER, E., B.H. ELLERT y H.H. JANZEN. 1995. Total and light-fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes. *Soil Science Society American Journal* 59:1398-1403.
- BREMNER, J.M. 1965. Total nitrogen. Pp. 1149-1178, in C.A. Black (ed.): *Methods of soil analysis, part 2. Agronomy 9*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- BRAVO, C. y E. ANDREU. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays*) en un alfisol del Edo. Guárico, Venezuela bajo dos sistemas de labranza. *Venezuelos* 3(2):62-69.
- DICK, W.A. 1983. Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society American Journal* 47:102-107.
- DORAN, J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society American Journal* 44:765-771.
- DRURY, C.F., J.A. STONE y W.I. FINDLAY. 1991. Microbial biomass and soil structure associated with corn, grasses and legumes. *Soil Science Society American Journal* 55:805-811.
- ELLIOTT, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society American Journal* 50:627-633.
- ELLIOTT, E.T., C.A. PALM, D.E. REUSS y C.A. MONZ. 1991. Organic matter contained in soil aggregates from a tropical chronosequence: correction for sand and light fraction. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 34:443-451.
- FOLLET, R.F. y D.S. SCHIMMEL. 1989. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Science Society American Journal* 53:1091-1096.
- GRANATSTEIN, D.M., D.F. BEZDICEK, V.L. COCHRAN, L.F. ELLIOTT y J. HAMMEL. 1987. Long-term tillage and rotation effects on soil microbial biomass, carbon and nitrogen. *Biology and Fertility Soils* 5:265-270.
- GUPTA, V.V.S.R. y J.J. GERMIDA. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* 20(6):777-786.
- HASSINK, J. 1995. Density fractions of soil macroorganic matter and microbial biomass as predictors of C and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry* 27(8):1099-1108.
- HENDRIX, P.F., D.A. PARMELLE, JR. D.A. CROSSLEY, D.C. COLEMAN, E.P. ODUM y P.M. GROFFMAN. 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *BioScience* 36:374-380.
- HILL, R. 1990. Long-term conventional and tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society American Journal* 54:161-166.
- HOUSE, G.J., B.R. STINNER, JR. D.A. CROSSLEY y E.P. ODUM. 1984. Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agro-ecosystems: analysis of pathways and processes. *Journal of Applied Ecology* 21:991-1012.
- KEMPER, W.D. y R.C. ROSENAU. 1986. Aggregate stability and size distribution. Pp. 427-442 in A. Klute (ed.): *Methods of Soil Analysis, part I. Physical and Mineralogical methods-Agronomy Monograph n° 9* (2nd edition). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- LAL, R. 1976. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Science Society American Journal* 40:762-768.
- LLAMBÍ, L.D. y L. SARMIENTO. 1997. Dinámica de la fertilidad en parcelas agrícolas en descanso en el páramo

MATERIA ORGÁNICA Y ESTABILIDAD ESTRUCTURAL EN SUELOS DE SABANA

- de Gavidia, biomasa microbiana y ciclaje de Nitrógeno. Memorias del XIV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Trujillo. CD-Room D. L. FR. 2529710, Biblioteca Nacional de Venezuela, Caracas.
- LUIZAO, R.C., T.A. BONDE y T. ROSSWALL. 1992. Seasonal variation of soil microbial biomass the effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central Amazon. *Soil Biology and Biochemistry* 24(8):805-813.
- MARCANO, F., C. OHEP y D. FRANCISCO. 1993. Efectos de la labranza sobre algunas variables físicas en un suelo Oxic Haplustalf del Yaracuy medio bajo cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Venezuelas* 1(1):2-8.
- MAZZARINO, M.J., L. SZOTT y M. JIMENEZ. 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 25:205-214.
- OADES, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76:319-337.
- OJEDA, A.D. 1995. Transformación del fósforo orgánico en un suelo ácido de sabana, sometido a distintas alternativas de manejo agroecológico. Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela.
- PATRA, D.D., P.C. BROOKES, K. COLEMAN y D.S. JENKINSON. 1990. Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and a grassland soil which have been uniform management for many years. *Soil Biology and Biochemistry* 22:739-742.
- SINGH, R.S., S.C. SRIVASTAVA, A.S. RAGHUBANSHI, J.S. SINGH y S.P. SINGH. 1991. Microbial C, N and P in dry tropical savanna: effects of burning and grazing. *Journal of Applied Ecology* 28:869-878.
- SPARLING, G.P. y A.W. WEST. 1988. Modifications to the fumigation-extraction technique to permit simultaneous extraction and estimation of soil microbial C and N. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19:327-344.
- SPYCHER, G., P. SOLLINS y L.S. ROSE. 1983. Carbon and nitrogen in the light fraction of a forest soil: vertical distribution and seasonal pattern. *Soil Science* 135:79-87.
- STINNER, B.R., JR. D.A. CROSSLEY, E.P. ODUM y R.L. TODD. 1984. Nutrient budgets and internal cycling of N, P, K, Ca and Mg in conventional tillage, no-tillage, and old-field ecosystems on the Georgia Piedmont. *Ecology* 65(2):354-369.
- TIESSEN, H. y J.W.B. STEWART. 1983. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Science Society American Journal* 47:509-514.
- TISDALL, J.M. y J.M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33:141-163.
- VANCE, E., P. BROOKES y D.J. JENKINSON. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19:703-707.
- WOOMER, P., A. MARTIN, D. ALBRECHT, D. RESCK y H. SCHARPENSEEL. 1994. The importance and management of soil organic matter in the tropics. Pp 47-80, in P. Woomer and M. Swift (eds.): *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*. P. Wiley-Sayce, London.

Recibido 19 julio 1998; revisado 14 julio 1998; aceptado 26 febrero 1999.