



FRACCIONES DE NITRÓGENO EN LOS SUBSISTEMAS SUELO-PLANTA DE AGROECOSISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE MAÍZ

Hernández-Hernández, R.M.^{1,*}; Castro, I.¹; Ramírez, E.¹; Caballero, R.²; Lozano, Z.²; Bravo, C.¹; Cánchica, H.¹; González, I.¹; Lobo, D.²

¹Universidad Simón Rodríguez, Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos (IDECYT), Centro de Agroecología Tropical (CEDAT). ²Universidad Central de Venezuela, Instituto de Edafología.

* Autor de contacto: rosa.hernandez@unesr.edu.ve; IDECYT-UNESR, Av. Mara Altos del Cují La Mariposa, San Antonio de los Altos, Estado Miranda- Venezuela; 58-212-6719138.

RESUMEN

El nitrógeno (N) es uno de los elementos limitantes en agroecosistemas cereal-ganado de sabanas de los Llanos Venezolanos. Este estudio plantea que el uso de la siembra directa del maíz asociado a coberturas perennes, bajo fuentes de fósforo (P) de lenta liberación, puede mejorar la distribución del N en los subsistemas suelo y vegetación, afectando positivamente el N del cultivo. En un diseño completamente aleatorizado con tres parcelas (60x15m) por cada tratamiento combinado de coberturas (*Brachiaria dictioneura* y *Centrosema macrocarpum*) con fertilización fosforada: 100% de P como roca (RF), 50% de P como roca y 50% como fosfato diamónico (IR), 25% de P como roca y el resto con inoculación de micorrizas (FB) y sin fertilización (IO), se tomaron 4 muestras de suelo (0-5 cm) compuestas (3 submuestras) por parcela; para un total de 12 muestras por tratamiento cobertura-fertilización, al igual que muestras de biomasa aérea, radical y de necromasa del maíz y coberturas. Se determinó el contenido de N (Kjeldahl) en la materia macroorgánica (MMO), macro y microagregados, biomasa microbiana, solución del suelo, necromasa, en la raíz y biomasa aérea del maíz y de coberturas. Se encontró que el agroecosistema leguminosa-maíz con RF tenía mayor contenido de N en el suelo y en el maíz, puesto que se incrementó el N de las fracciones potencialmente mineralizables como la MMO, el protegido en los macro y microagregados y el N en solución del suelo. La MMO fue el componente clave en la dinámica del N en el agroecosistema de maíz.

PALABRAS CLAVE

nitrógeno; maíz; sabana.

INTRODUCCIÓN

Las sabanas bien drenadas de los Llanos Centro-Orientales Venezolanos se caracterizan por ser una región agropecuaria donde se desarrollan sistemas de ganadería de doble propósito con poca disponibilidad de pastos de buena calidad, monocultivos de secano (maíz y sorgo) y el uso de la soca para la alimentación del ganado. Sin embargo, estos manejos y la intensificación de la producción de cultivos de cereales, altamente tecnificada, ha ocasionado serios impactos en los suelos de las sabanas, mermando su capacidad para sostener la producción en el tiempo.

Los suelos de dichas sabanas están caracterizados por los bajos niveles nutricionales, su acidez, el buen movimiento interno del agua, la escasa agregación y estructura. Ellos están sujetos a los efectos de una marcada biestacionalidad en la precipitación que afectan: la actividad biológica, los procesos bioquímicos, los contenidos de materia orgánica (MO) y de los elementos involucrados a la actividad de producción-descomposición (C, N, P, S), siendo muy variables comparados a suelos de otros biomas (López-Hernández *et al.*, 2005). Por estas características, el nitrógeno (N) junto con el fósforo (P) se encuentran en condiciones limitantes en los suelos de

sabanas; puesto que se afectan las formas orgánicas y potencialmente mineralizables de estos elementos, las formas solubles de N y de alta movilización como el nitrato, se incrementan los riesgos de pérdida de N vía fijación y volatilización y de adsorción de P a la fracción mineral del suelo.

Por todo lo señalado se han propuesto manejos conservacionistas que utiliza una gran variedad de especies como las de los géneros *Crotalaria*, *Andropogon*, *Brachiarias* y *Centrosema*; cuya función es proteger el suelo y recuperar su productividad a través del mejoramiento de las propiedades del mismo. Las coberturas introducen al sistema significativos cambios en la producción de biomasa aérea, de necromasa en descomposición y de masa radical; con un mejor contenido nutricional en sus tejidos, pudiendo sus aportes al suelo inducir importantes transformaciones en sus propiedades y procesos biogénicos.

Otra práctica clave utilizada es la siembra directa, la cual puede requerir ciertos cambios en el manejo de la fertilización para los cultivos, debido a que se presenta una variación en la distribución de los contenidos totales, disponibles y de reserva de los nutrientes principales en la zona de exploración de las raíces (Lozano, 1999). La disminución de las operaciones de labranza y la aplicación de residuos en superficie, se produce un incremento de elementos como el P, atribuido a la naturaleza poco móvil del elemento, a la aplicación superficial de los fertilizantes fosforados y a la descomposición de los residuos en superficie (Ekebert y Riley, 1997). En el caso del N, elemento que se presenta en un 98% en forma orgánica, su aumento se debe al incremento de los contenidos de MO y del aporte de la misma a través del manejo. Diversos procesos bioquímicos que tienen que ver con la mineralización o la inmovilización del N se afectan por el manejo conservacionista. El efecto del uso de la siembra directa y coberturas vivas se potencia con el uso de fertilizantes con una más lenta solubilidad del P como la roca fosfórica y formas más amigables como los biofertilizantes; rhizobium y micorrizas nativas, que inoculadas al maíz y a las leguminosas pueden mejorar la captación del N y del P.

Con base a lo anterior, se plantea el manejo conservacionista del maíz en sabanas utilizando siembra directa, coberturas perennes asociadas como *Brachiaria dictioneura* y *Centrosema macrocarpum* y distintas fuentes fosforadas como la roca fosfórica y los biofertilizantes de microorganismos nativos. Esta propuesta de manejo conservacionista puede promover una mayor eficiencia en el uso del N, a través de cambios en los procesos bioquímicos que afectan la distribución del N en los "compartimientos" de los subsistemas suelo-planta, siendo el objetivo del presente trabajo evaluar esta distribución.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en la estación Experimental La Iguana, ubicada en sabanas bien drenadas del sur Oriente del Estado Guárico (8° 25' N y 65° 24' W), Venezuela. La vegetación está dominada por la gramínea *Trachypogon vestitus*. El clima es biestacional con una precipitación anual promedio de 1369 mm. El suelo es un ultisol con textura arenosa, pH ácido y baja fertilidad. En el 2002 se establecieron, dos tratamientos de cobertura perennes: *Brachiaria dictioneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM), los cuales sirvieron de soporte para la siembra directa del maíz, dos años después. La siembra del cereal se hizo en asociación con cada cobertura y se usaron cuatro fuentes de P, que constituyeron los tratamientos de fertilización: 1.- Roca fosfórica (RF); dosis de N-P-K con 100% roca fosfórica como fuente de P. 2.- Fertilización biológica (FB); dosis N-P-K con 25% de P como roca fosfórica y 75% de P por inoculación con micorriza nativa. 3.- Fertilización inorgánica baja (IR); dosis de N-P-K; con 50% de P como Roca fosfórica y 50% de P como Fosfato de amonio. 4.- Sin fertilización (IO). Se hizo un estudio previo de variabilidad espacial que definió el arreglo, forma y tamaño de parcelas en un área de 8 hectáreas (Lozano *et al.*, 2004). El diseño fue completamente aleatorizado con tres parcelas (60x15m) por cada

tratamiento de cobertura-fertilización. En la floración del maíz durante la época lluviosa, se tomaron aleatoriamente, en cada parcela, 4 muestras compuestas (de 3 submuestras) de suelo (0-5 cm) para un total de 12 muestras por tratamiento. Las fracciones de N total (método de Kjeldahl) se evaluaron en el suelo completo (suelo), en los macro (macroa) y dentro de los microagregados (microa) (Sleutel *et al.*, 2006), en la materia macroorgánica particulada libre (MMO) (Meijboom, 1995), en la necromasa de las coberturas (necro) (Anderson e Ingram, 1993), en las raíces (Bohm, 1979) y en la biomasa aérea (Anderson e Ingram, 1993) de las coberturas y del maíz (RC, BAC, RM, BAM, respectivamente). Así mismo se midió el N mineral en solución del suelo (min) y el N microbiano (mic) (Anderson e Ingram, 1993) que nos define la disponibilidad del N para el cultivo. Se compararon las variables evaluadas entre tratamientos, mediante un análisis de varianza, aplicando la prueba de media de Duncan y 95% de confianza. Se hizo un ordenamiento mediante ACP y correlaciones de Pearson (SPSS 17.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de cuatro años de establecidas las coberturas y tres ciclos anuales continuos de maíz se observa que existe un efecto tanto por el tipo de cobertura asociada al maíz, el tipo de fertilización fosforada y su interacción, en la concentración de N que se encuentran en los “compartimientos” de los subsistemas suelo y vegetación de un agroecosistema de maíz en sabanas bien drenadas (Tabla 1). El tipo de cobertura donde tuvo mayor incidencia significativa ($p < 0.05$) fue en el subsistema vegetación y el tipo de residuo que aportaba al suelo, ya sea en forma de necromasa (necro), sobre la superficie del suelo, como el particulado libre que es la materia macroorgánica (MMO); la cual forma parte de la matriz del suelo y ha sufrido un proceso inicial de transformación y desmenuzamiento por parte de la fauna del suelo y de los microorganismos (Hernández-Hernández, 2008). El tipo de fertilización fosforada tuvo incidencia en el N de la vegetación y en las fracciones particuladas orgánicas atrapadas en los macro y microagregados (macroa y microa), en el inmovilizado en los microorganismos (mic) y el que está en la solución del suelo (min). La interacción de estos factores no mostró un efecto en el N de las raíces de las coberturas e incidió en el N de los microagregados, de los microorganismos, MMO y el que está disponible a las plantas en la solución del suelo (min).

Tabla1. Efecto del tipo de coberturas y fertilización sobre la concentración de N (mg/kg) en los diferentes “compartimientos” de los subsistemas suelo-vegetación de un agroecosistema de maíz. En asterisco los efectos significativos $p < 0.05$. Macroa: macroagregados Microa: microagregados Mic: microbiano Min: mineral MMO: materia macroorgánica Necro: necromasa RM: raíz maíz RC: raíz cobertura BAC: biomasa aérea de cobertura BAM: biomasa aérea maíz

Factor	Sub-sistema suelo						Sub-sistema vegetación				
	Suelo	macroa	microa	mic	min	MMO	necro	RC	RM	BAC	BAM
Cobertura						*		*	*	*	*
Fertilización	*			*	*	*	*	*	*	*	*
Cobertura*fertilización			*	*	*	*	*	*	*	*	*

El N de los “compartimientos” del subsistema vegetación estuvo significativamente correlacionado con el N de algunas fracciones del suelo (Tabla 2). Existe una relación directa y positiva entre el N de las coberturas y del maíz con el NMMO; que es una fuente de nutrientes potencialmente mineralizable de corto a mediano plazo (Hernández-Hernández, 2008). Con excepción del N de la biomasa aérea de las coberturas (NBAC), todos los demás “compartimientos” de vegetación del agroecosistema se correlacionaron negativamente con el N inmovilizado en los microorganismos (mic), lo cual puede indicar que hay competencia por este elemento entre los microorganismos y las plantas presentes. La relación directa entre el Nnecro y el N de las raíces de las coberturas (RC) con el Nmicroa indica que a medida que hay mayor

acumulación de necromasa se favorece la protección de N en los microagregados (microa). Uno de los “compartimientos” del suelo, clave en el funcionamiento del ciclo de N en el agroecosistema de maíz lo constituye la MMO, pues esta fracción se correlaciona no solo con la vegetación, sino con el N de todos los “compartimientos” de suelo evaluados, con excepción del que está protegido físicamente en los microagregados. Este comportamiento destaca a este parámetro como un buen indicador del funcionamiento del agroecosistema de maíz en estos suelos bien drenados de sabana.

Tabla 2. Correlaciones de la concentración de N (mg/kg) entre los “compartimientos” de los subsistemas suelo-planta del agroecosistema de maíz manejados en forma conservacionista. Pearson $p < 0.05$. Macroa: macroagregados Microa: microagregados Mic: microbiano Min: mineral MMO: materia macroorgánica Necro: necromasa RM: raíz maíz RC: raíz cobertura BAC: biomasa aérea de cobertura BAM: biomasa aérea maíz

Sub-sistema	Compartimiento	Sub-sistema suelo				Sub-sistema vegetación			
		Nmacroa	Nmicroa	Nmic	NMMO	NRC	NBAC	NRM	NBAM
vegetación	Nnecro		0.3	-0.4	0.3	0.3		0.5	0.3
	NRC		0.3	-0.5	0.4			0.3	
	NBAC				0.4				
	NRM			-0.6	0.5				0.4
	NBAM			-0.3	0.3	0.3	0.4		
suelo	Suelo	0.3			0.4			0.3	0.4
	NMMO	0.4		-0.5					
	Nmicro	0.4							
	Nmin		0.3	0.4	0.3				

Un análisis de componentes principales (ACP) permitió observar cuáles manejos de cobertura y fertilización para el cultivo del maíz se comportaron más parecidos en función del N en los diferentes componentes del agroecosistema, a la vez que determinó cuáles “compartimientos” tenían mayor peso en los manejos propuestos (Figura 1). La asociación del maíz con la leguminosa (CM) o con la gramínea (BD y la aplicación de un fertilizante de lenta solubilidad de P como la roca fosfórica (RF), promovieron un efecto similar en los sub-sistemas suelo vegetación, definido por el Nmin, Nmicroa, Nmacroa, NMMO, Nnecro y NRC. Estos tres últimos, con mayor peso en el agroecosistema BDRF.

La fertilización biológica con micorrizas del maíz asociado a la leguminosa (CM) y a la gramínea (BD) funcionó un tanto diferente respecto al N en el agroecosistema, por cuanto con la leguminosa los “compartimientos” más determinantes fueron el N del suelo y el de la vegetación; influenciando el N que tienen las coberturas y el del maíz (mismo cuadrante), mientras que con la BD este comportamiento no fue tan marcado (cuadrante negativo del componente 2) y fue parecido al mostrado por el manejo de maíz asociado a la leguminosa; sea fertilizada con fuentes de P de alta solubilidad como el FDA (CMIR) o no (CMIO). El N inmovilizado en los microorganismos, fracción lábil de la materia orgánica y muy activa desde el punto de vista dinámico del ciclaje del N, fue un “compartimiento” del subsistema suelo muy importante en el maíz asociado a la gramínea, ya sea fertilizado con FDA (BDIR) o en menor grado sin estar fertilizado (BDIO).

Un análisis de varianza de los contenidos de N (kilogramo por hectárea) en los componentes de los subsistemas suelo-vegetación evaluados (Tabla 3) mostró que las fuentes de alta y baja solubilidad del P (IR y RF, respectivamente) produjeron los más altos contenidos de N en el suelo del maíz asociado a la leguminosa (CM), comportamiento que solo se observó en el suelo con la gramínea (BD), cuando se usó FDA (BDIR). El N de la materia orgánica particulada atrapada en los macroagregados (Nmacroa) y en los microagregados (Nmicroa) evidenció el mismo comportamiento del suelo, lo cual indica que a pesar de ser suelos arenosos, la macro y micro agregación que pueden ocurrir en el suelo ayudan a conservar N en el mismo; especialmente en

aquellos tratamientos de RF donde se generó una mayor biomasa de coberturas (Hernández-Hernández *et al.*, 2011).

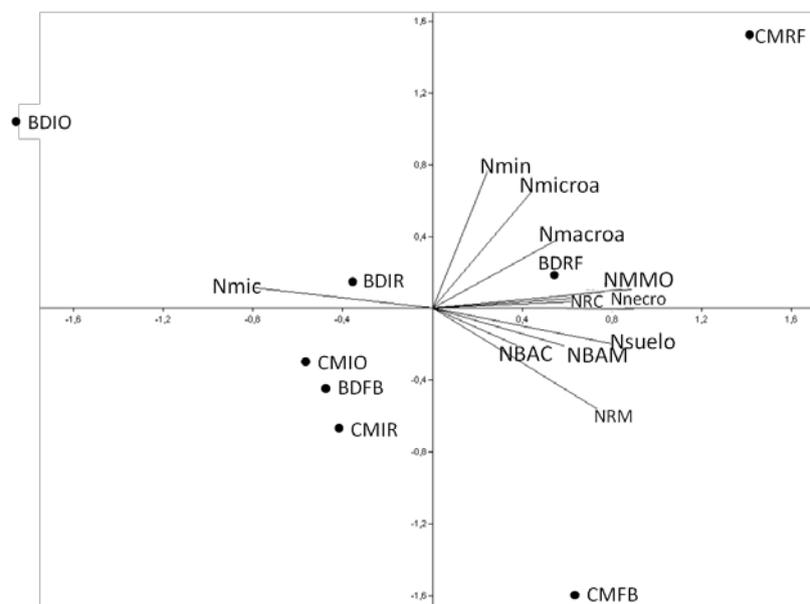


Figura 1. ACP que agrupó el N de los "compartimientos" de los sub-sistemas suelo-vegetación discriminando por los tratamientos de cobertura y fertilización del agroecosistema de maíz. Macroa: macroagregados Microa: microagregados Mic: microbiano Min: mineral MMO: materia macroorgánica Necro: necromasa RM: raíz maíz RC: raíz cobertura BAC: biomasa aérea de cobertura BAM: biomasa aérea maíz

La mayor disponibilidad de N por hectárea ($p < 0.05$) del agroecosistema en la solución del suelo (min) ocurrió en el maíz asociado con la leguminosa y fertilizado con roca (CMRF). El aporte por hectárea del N en la MMO también fue alto bajo este tratamiento de fertilización, pero en el caso de la leguminosa se encontraron los mayores tenores con RF y con fertilización biológica (FB). Contrario a lo esperado, los mayores contenidos de N inmovilizado en la biomasa microbiana ocurrieron en el suelo con la *Brachiaria* (BD), especialmente cuando el maíz asociado no era fertilizado (BDIO). La calidad de la *Centrosema*, con mayor contenido de lignina y polifenoles, explicó la menor actividad y biomasa microbiana (Padrino, 2004), lo cual también es reflejado en una menor inmovilización de N por los microorganismos.

Tabla 3. Cambios en el contenido de N (kg/ha) en suelo y vegetación en un agroecosistema de maíz por efecto del tipo de cobertura asociada y fertilización fosforada. Letras distintas en una misma columna indican diferencias entre tratamientos cobertura-fertilización. Test Duncan $p < 0.05$. Macroa: macroagregados Microa: microagregados Mic: microbiano Min: mineral MMO: materia macroorgánica Necro: necromasa RM: raíz maíz RC: raíz cobertura BAC: biomasa aérea de cobertura BAM: biomasa aérea maíz

Manejo	N del sub-sistema suelo						N del sub-sistema vegetación				
	Suelo	macroa	microa	mic	min	MMO	necro	RC	RM	BAC	BAM
BDIR	444.8ab	61.4a	40.2b	9.2c	32.5b	0.058ab	6.4b	24.7a	31.4ab	36.5ab	133.9cd
BDRF	576.2c	122.8d	45.0bc	9.3c	28.5ab	0.073d	19.7d	32.9b	89.5c	46.6bc	102.7c
BDFB	510.7ab	52.2a	34.2b	8.6c	30.5ab	0.054a	12.6c	26.0a	22.5ab	37.9ab	82.8bc
BDlo	304.6a	79.7ab	30.9a	11.5d	32.8b	0.055a	1.0a	26.0a	-----	18.3a	-----
CMIR	562.2c	80.0ab	24.3a	6.4b	32.6b	0.065c	1.6a	29.7a	113.5cd	143.5e	149.6d
CMRF	545.6c	103.4c	56.0c	5.9ab	40.3c	0.080e	4.7ab	32.9b	120.1d	55.4d	123.0c
CMFB	498.5ab	72.0ab	21.8a	6.1ab	28.6a	0.074d	3.2ab	27.8a	164.0e	47.6c	39.0a
CMlo	433.4ab	66.2a	40.6b	4.7a	26.8a	0.057a	14.2c	42.4c	12.6a	43.5b	26.1a

La necromasa de las coberturas produjo más N por hectárea con la gramínea que con la leguminosa, a pesar de la mayor concentración de N en el tejido de la CM. Ello fue consecuencia a que la *Brachiaria* produjo una mayor masa de hojarasca sobre la superficie del suelo, especialmente en RF y FB. En relación al N en las raíces, los mayores tenores en las coberturas

(RC) se encontraron en CMIO (manejo sin fertilización), y en el maíz (RM) cuando éste estaba asociado a la *Centrosema* y fue inoculado con micorrizas (CMFB). Bajo esta cobertura el agroecosistema de maíz alcanzó los mayores contenidos de N por hectárea en sus raíces. Otro tanto fue observado en el N que se encuentra en la biomasa aérea de las coberturas y del maíz, puesto que fue mayor en CMIR para ambos componentes del sub-sistema vegetación.

CONCLUSIÓN

Un manejo más conservacionista de la fertilidad asociada al N en un agroecosistema de maíz de suelos pobres de sabanas bien drenadas, puede lograrse a través de la asociación del cultivo con coberturas perennes como *Brachiaria* y *Centrosema*, usando fuentes de lenta solubilidad de P como la roca o de biofertilizantes basados en micorrizas nativas. Este manejo incrementa los contenidos de N en fracciones relacionadas con una potencial disponibilidad de N mineral a corto o mediano plazo como es el proveniente de la MMO libre o la que está protegida en los macro y microagregados. La leguminosa fue la que proporcionó la mayor cantidad de N en estas fracciones y en la solución del suelo, lo cual se reflejó en una mayor cantidad de N en el maíz, tanto en su parte aérea como en la raíz, indicando que se logra con esta cobertura y fertilización, un mejor estado nutricional del cultivo. Por otra parte en estos agroecosistemas el N de la MMO fue el compartimiento clave en la dinámica del nutriente entre los diferentes componentes de los subsistemas suelo-vegetación y puede ser considerado un indicador de sustentabilidad para el agroecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de la E.E. La Iguana-UNESR y al apoyo financiero del Fonacit G-2002000398 y UCV-CDCH-PG-01-6542-2006.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J & J Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility (TSBF). Handbook of methods. C.A.B. International. 171 pp.
- Böhm W. 1979. Methods of studying roots systems. Springer-Verlag (Eds), Beclim Heidelberg. New York (USA). 119pp.
- Ekeberg, E & H Riley. 1997. Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on Morainic loam soil in southeast Norway. Soil Till Res. 42: 277-293.
- Hernández-Hernández, RM; Z Lozano ; C Bravo; J Morales; M Toro & C Rivero. 2011. Manejo agroecológico de suelos de sabanas bien drenadas con unidades de producción cereal-ganado. Informe final Proyecto G-2002398. Univ. Simón Rodríguez. Caracas.
- Hernández-Hernández, RM. 2008. Dinámica y manejo de la materia orgánica en suelos de sabanas bien drenadas. Acta Biológica Venezolana. 28: 10-22.
- López-Hernández, D; RM; Hernández-Hernández & M Brossard. 2005. Historia de uso reciente de tierras de las sabanas de América del Sur. Estudios de casos en sabanas del Orinoco. INTERCIENCIA. 30(10): 623-629.
- Lozano, Z. 1999. Evaluación de propiedades físicas y químicas de dos suelos de los Llanos Occidentales con sistemas de labranza convencional y reducida. Trabajo de Ascenso a la categoría de Asistente, Fac. Agronomía. Univ. Central de Venezuela. Maracay.
- Lozano, Z; C Bravo; F Ovalles; RM Hernández-Hernández; B Moreno; L Piñango & JG Villanueva. 2004. Selección de un diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. Bioagro 16: 61-72.
- Meijboom, F; J Hassink & M Van Noordwijk. 1995. Density fractionation of soil maroorganic matter using silica suspensions. Soil Biol. and Biochem. 27(8):1109-1111.
- Padrino, M. 2004. Dinámica de la descomposición de coberturas en un sistema conservacionista maíz-ganado del estado Guárico. Tesis de maestría Fac. Agronomía. Univ. Central de Venezuela. Maracay.
- Sleutel, S; S De Neve; T Németh; T Tóth & G Hofman. 2006. Effect of manure and fertilizer application on the distribution of organic carbon in different soil fractions in long-term field experiments. Eur. J. Agron. 25: 280-288.