

## Cultivos de cobertura y fertilización fosfórica y su efecto sobre algunas propiedades químicas del suelo en un sistema mixto maíz-ganado<sup>a</sup>

*Cover crops and phosphate fertilization effect on soil chemical properties in maize – cattle system*

Zenaida Lozano P.<sup>1</sup>, Rosa Mary Hernández<sup>2</sup>, Carlos Bravo<sup>2</sup>, Mavelys Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. email: lozanoz@agr.ucv.ve.

<sup>2</sup>Centro de Agroecología Tropical, Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez.

### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto del tipo de cobertura y de fertilización fosfórica en un sistema maíz en siembra directa - ganado bovino sobre las propiedades químicas del suelo, se realizó un ensayo de campo en un Typic Plinthustults en las sabanas bien drenadas del estado Guárico. Los tipos de cobertura fueron: *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM), y la sabana natural (SN) como testigo. Los tipos de fertilización se distribuyeron en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 2 x 4 (cobertura x fertilización) y con tres repeticiones dentro de cada cobertura. Con una dosis básica de  $150 \text{ kgNha}^{-1}$ – $150 \text{ kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ – $100 \text{ kgK}_2\text{Oha}^{-1}$ , los tipos de fertilización fueron: Control: sin fertilización, BRF + M: dosis baja de P como roca fosfórica (25%  $\text{P}_2\text{O}_5$  + inoculación con micorriza), ARF: dosis alta de fósforo (100 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  como roca fosfórica) y ARF+FD: dosis alta de fósforo (50 % Roca fosfórica + 50% Fosfato diamónico). Luego de tres ciclos completos maíz en siembra directa - ganado bovino, se muestreo a tres profundidades (0-5, 5-15 y 15-30 cm). Se evaluó: pH, concentración de materia orgánica (MO), nitrógeno inorgánico (N), fósforo (P) y azufre (S) disponibles. Los resultados indican que en la mayoría de los parámetros evaluados, se presentaron diferencias estadísticas ( $p \leq 0,05$ ) atribuibles al tipo de cobertura y fertilización, con excepción de la MO. El efecto sobre las concentraciones de nutrientes en el suelo estuvo relacionado principalmente por las variaciones en el pH y a las diferencias en la extracción de nutrimentos por las coberturas.

**Palabras claves:** *Brachiaria dictyoneura*; *Centrosema macrocarpum*; cultivo de cobertura; sabanas.

### ABSTRACT

In order to evaluate the effect of different cover crops and phosphate fertilizers in a system no-tillage maize - cattle on soil chemical properties, a field experiment on a Typic Plinthustults in well drained savannas of Guarico state, was done. The types of cover crops were *Brachiaria dictyoneura* (BD) and *Centrosema macrocarpum* (CM), and natural savanna (NS) as control. Fertilization doses were distributed in a completely randomized design with factorial arrangement 2 x 4 (cover crops x fertilization) and three repetitions within each cover crops. A basic dose of  $150 \text{ kgN ha}^{-1}$ - $150 \text{ kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ - $100 \text{ K}_2\text{O kg ha}^{-1}$  was applied. The treatment of fertilization were: Control: without fertilization, BRF+M: low dose of P as phosphate rock (25%  $\text{P}_2\text{O}_5$  + mycorrhizal inoculation), ARF: high dose of phosphorus (100%  $\text{P}_2\text{O}_5$  as rock phosphate) and ARF + FD: high dose of phosphorus (50% as Rock phosphate + 50% as diammonium phosphate). After three complete cycle of no-tillage maize-cattle, soil was sampled at three depths (0-5, 5-15 and 15-30 cm). Soil pH, organic matter concentration (OM), inorganic nitrogen (N), phosphorus (P) and sulfur (S) available, were evaluated. The results indicate that in most parameters assessed there were statistically different ( $p \leq 0.05$ ) witch could be attributable to the cover crops and fertilization sources, except for MO concentration. The effect on soil nutrients concentrations was related mainly to changes in pH, and the differences in nutrient uptake in each cover crop.

**Keywords:** *Brachiaria dictyoneura*; *Centrosema macrocarpum*; cover crops; well-drained savannas; no-tillage

## INTRODUCCIÓN

Las sabanas ocupan unas  $29 \times 10^6$  ha de las tierras en Venezuela, de las cuales el 52% corresponden a las sabanas bien drenadas (Ramia, 1967). Predominan suelos Entisoles, Oxisoles y Ultisoles, de topografía plana. Las principales desventajas de estos suelos están relacionadas con la textura predominantemente arenosa en los horizontes superficiales; prevalencia de arcillas caoliníticas de baja actividad con bajo tenor de elementos esenciales como P, K, Ca y Mg. Son suelos de reacción ácida, con baja capacidad de retención de humedad, la cual disminuye la eficiencia de la fertilización por lixiviación de nutrimentos, especialmente nitratos (Silva-Acuña et al., 2005).

Entre sus principales usos se destaca la ganadería de carne o doble propósito basada en pastos nativos, con la quema como única práctica de manejo (Briceño, 2002). También se desarrollan sistemas de producción de cultivos limpios mecanizados (maíz, sorgo) utilizando los restos de cosecha para la alimentación animal en la época. La baja productividad de estos sistemas se debe a las fluctuaciones climáticas con sequías intensas, la baja fertilidad natural de los suelos por carencia de reposición de nutrientes, el bajo potencial de los recursos forrajeros nativos y una alta presión de pastoreo, poco uso de leguminosas, quema indiscriminada de la sabana y con la vegetación introducida es notorio su manejo inadecuado, lo que ha conducido a un deterioro del suelo y las pasturas (Sánchez et al., 2008).

La mayoría de las alternativas de manejo para la zona están relacionadas con la agricultura conservacionista, este sistema debe estar fundamentado principalmente en el establecimiento de períodos de barbecho donde el suelo se mantenga cubierto, para contrarrestar los efectos climáticos y disminuir la degradación de los suelos, originando esto a su vez el incremento en cantidad y calidad del contenido de materia orgánica en el suelo y aumento de la disponibilidad de los barbechos en todo el año como alimento animal. Basados en esto se han llevado estudios en parcelas experimentales donde se establecieron cultivos de cobertura de gramínea y leguminosa como barbecho en un sistema de siembra directa de maíz (Hernández et al., 2007). Con el uso de los sistemas de manejo conservacionista se producen cambios en la fertilidad del suelo en contraste con los sistemas convencionales, debido a la presencia de residuos en superficie y a la colocación de los fertilizantes. Entre los elementos más afectados por los sistemas de manejo conservacionista se encuentran el C, N, S y P (Lozano et al., 2009). Merece especial atención el P, dado su bajo contenido en los suelos de sabana y a su baja movilidad en el perfil. En este trabajo se pretende evaluar el efecto del tipo de cobertura y el tipo de fertilización fosfórica en un sistema mixto maíz-ganado bovino sobre las propiedades químicas de un suelo ubicado en las sabanas bien drenadas del estado Guárico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental La Iguana, perteneciente a la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR), ubicada en las Sabanas de Sur-Oriente del Guárico ( $8^{\circ} 25' LN$  y  $65^{\circ} 25' LO$ , entre 80-120 msnm). El clima es marcadamente estacional, con una época de sequía y otra de lluvia. La precipitación anual promedio de 1369 mm y la temperatura media mensual es de  $27, 3^{\circ}C$  (Bravo et al., 2001). Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial  $2 \times 4$  (2 niveles de cobertura y 4 niveles de fertilización). Para la selección de las dimensiones, orientación de las parcelas, número de muestras y profundidades de muestreo, se realizó un estudio previo de variabilidad espacial de suelos (Hernández et al., 2007). Los cultivos de cobertura fueron una gramínea, *Brachiaria dictyoneura* (BD) y una leguminosa, *Centrosema macrocarpum* (CM), como barbechos mejorados para la siembra directa de maíz en la época de lluvias y posterior pastoreo con ganado bovino en la época seca. Se utilizaron parcelas de 75 m por 350 m por cada cultivo de cobertura. Para el establecimiento de las coberturas se realizó una preparación convencional del terreno (dos pases cruzados de rastra), se aplicó roca fosfórica a razón de  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , incorporada con un pase de rastra. Se usó  $4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de semillas de BD y  $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de semillas de CM.

Luego de establecidos los cultivos de cobertura (2002-2004), a partir del año 2005 se sembró anualmente maíz en siembra directa, usando las coberturas (BD y CM) como residuos. Se aplicó una dosis básica para el maíz de  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} N - 150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} P_2O_5 - 100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} K_2O$ , con urea y fosfato diamónico como fuente de N, fósforo diamónico y roca fosfórica como fuente de  $P_2O_5$  y sulfato doble de potasio y magnesio como fuente de  $K_2O$ . Los tipos de fertilización fueron: **Control**: sin fertilización, **BRF+M**: dosis baja de P como roca fosfórica (25%  $P_2O_5$  + inoculación con micorriza), **ARF**: dosis alta de P (100 %  $P_2O_5$  como roca fosfórica) y **ARF+FD**: dosis alta de P (50 %  $P_2O_5$  como roca fosfórica +

50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como fosfato diamónico). Se establecieron 3 parcelas de muestreo de 900 m<sup>2</sup> (15 m por 60 m) en cada tipo de fertilización. Al término de la cosecha del maíz el pastoreo fue intensivo, con la introducción en cada parcela de un rebaño de ganado bovino equivalente a 2 ua.ha<sup>-1</sup>, consumiendo *ad libitum* la biomasa disponible proveniente de los residuos de cosecha del maíz y el rebrote de las coberturas. Para el establecimiento de las profundidades de muestreo se tomó como base el espesor promedio de los dos primeros horizontes. Del primer horizonte se tomaron los primeros 5cm, con la finalidad de evaluar las variaciones en las propiedades del suelo producto de los residuos en superficie, quedando las profundidades de 0 – 5 cm, 5 – 15 cm y de 15 – 30 cm.

Para evaluar los efectos de los tratamientos de cobertura y fertilización sobre las propiedades químicas del suelo, se realizaron análisis de cada una de las muestras colectadas. Dichas muestras fueron previamente secadas al aire y pasadas por un tamiz de 2 mm de malla. Se determinó: **pH** en relación suelo: agua 1:1, relación recomendada para suelos ácidos arenosos (Salinas y García, 1985), **Materia orgánica** por combustión húmeda (Nelson y Somner, 1996), con las modificaciones de Heanes (1984); **Nitrógeno inorgánico** (amoniacal y nítrico) utilizando cloruro de potasio 2 M como extractante y destilación en microkjeldahl (Anderson e Ingram, 1993), **Fósforo disponible** por extracción con la solución de Olsen (NaHCO<sub>3</sub>) y determinación colorimétrica por el método colorimétrico del molidbato – ácido ascórbico (Watanabe y Olsen, 1965) y **Azufre** por extracción con fosfato de calcio y detección turbidimétrica con sulfato de bario (Fox *et al.*, 1964; Tabatabai y Bremmer, 1972). Los datos fueron analizados estadísticamente con los programas Statistix 8.0 y SPSS 11.0, usando la prueba de Tukey para las diferencias entre medias. Los valores de pH se transformaron a concentración de H<sup>+</sup> para su análisis estadístico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características químicas del suelo evaluado antes de la instalación del ensayo son consistentes con las descritas para otros Ultisoles de los Llanos Centrales. Al comparar los valores obtenidos con los niveles críticos señalados por (Salinas y García, 1985), se destaca que la reacción del suelo es fuertemente ácida a todas las profundidades (valores de 4,75 a 5,01), sin problemas de sales, con baja capacidad de retención de nutrimentos evidenciada en una capacidad de intercambio catiónico entre 1,81 y 3,06 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>, debido a la textura gruesa de las capas consideradas, bajos contenidos de materia orgánica (10,4 a 13,3 g.kg<sup>-1</sup>) lo cual es característico de suelos de las sabanas orientales. Los macronutrimentos nitrógeno (14,3 a 20,4 mg.kg<sup>-1</sup>), fósforo (8,7 a 11,3 mg.kg<sup>-1</sup>), potasio (19,1 a 41,9 mg.kg<sup>-1</sup>), calcio (29,7 a 57,7 mg.kg<sup>-1</sup>) y magnesio (32,6 a 39,9 mg.kg<sup>-1</sup>) son bajos, especialmente el fósforo y el calcio y no se presentan problemas por sodio intercambiable. Los micronutrimentos cobre (0,33 a 0,47 mg.kg<sup>-1</sup>), zinc (0,72 a 1,31 mg.kg<sup>-1</sup>) y manganeso (1,11 a 5,03 mg.kg<sup>-1</sup>) también se presentan en valores bajos, no obstante el hierro (25,9 a 30,5 mg.kg<sup>-1</sup>) presenta valores medios, posiblemente debido al tipo de material parental del suelo. Los mayores valores de los elementos esenciales se presentan a nivel superficial y disminuyen a medida que se profundiza el perfil, con excepción de magnesio, hierro, cobre y zinc. Los bajos contenidos de nutrimentos encontrados en este suelo pueden ser debidos a la conservación de las condiciones naturales (sin uso agrícola) y a la textura, donde por ser un suelo arenoso, se producen mayores pérdidas por lixiviación. El desarrollo de cualquier cultivo hace necesaria la aplicación de fertilizantes y de materia orgánica, la cual al descomponerse pudiera suplir algunos elementos y además mejorar la capacidad de retención de nutrimentos.

Luego de tres años bajo el manejo con diferentes tipos de fertilización fosfórica y cultivos de cobertura en un sistema mixto maíz-ganado, la variación en las propiedades químicas se muestra en el Cuadro 1. Se aprecia que el **pH** varió entre fuertemente y moderadamente ácido, disminuyendo en las capas más profundas. En forma general, se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) por el tipo de cobertura y con la profundidad, pero no con el tipo de fertilización. También se presentaron significativas las interacciones cobertura por fertilización, cobertura por profundidad y fertilización por profundidad (Cuadro 1). A todas las profundidades los mayores valores de pH se presentaron en las coberturas BD y SN, significativamente superiores a CM (Cuadro 2). Entre tratamientos de fertilización solo se presentaron diferencias estadísticas en la cobertura CM, con los valores de pH más bajos en el tratamiento ARF+FD. Resultados similares fueron encontrados por Lozano *et al.* (2009) quienes trabajando con el mismo suelo y sistemas de manejos, señalaron valores de pH más altos en la capa superficial con la cobertura de gramínea (BD) y valores de pH más bajos en las capas más profundas con la cobertura de leguminosa (CM). La disminución de pH en los tratamientos de CM y ARF+FD pudiese estar relacionada

con la descomposición de los residuos en superficie y a la nitrificación del amonio proveniente del fertilizante aplicado al cultivo. La acidificación del suelo en CM pudiera estar asociada a una mayor absorción de Ca y la dependencia de la fijación biológica de N<sub>2</sub> cuando el cultivo es una leguminosa, lo cual puede resultar en un exceso de cationes en la planta y un flujo de H<sup>+</sup> a través de las raíces hacia la rizósfera para mantener la electroneutralidad de la célula, tal y como lo señalan Pérez *et al.* (2007).

La **MO** no presentó diferencias estadísticas entre tipo de cobertura o de fertilización, solo con la profundidad, con mayores valores a nivel superficial y va disminuyendo con la profundidad. Si hubo efecto significativo de todas las interacciones (cobertura por fertilización, cobertura por profundidad y fertilización por profundidad), tal y como se aprecia en el cuadro 1. La mayor acumulación de MO a nivel superficial coincide con los resultados reportados De María *et al.* (1999) quienes lo asocian a la presencia de residuos en superficie en los sistemas de labranza conservacionista. La SN presenta los mayores valores de MO a nivel superficial, pero es también donde disminuyen más drásticamente en la segunda capa (52%). Con relación a los tratamientos de fertilización, en la capa de 5 a 15 cm se presentaron diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ) en la cobertura BD, con los valores más bajos en el control sin fertilización; mientras que en la capa más profunda (15 a 30 cm), las diferencias entre tipo de fertilización se presentaron en el cobertura CM, con los valores más bajos en los tratamientos ARF y BRF+M (Cuadro 2). Estas diferencias son debidas a el tipo, profundidad y descomposición diferencial de las raíces de los dos tipos de cobertura, tal y como lo señala Padrino (2005), quien trabajo con los mismos cultivos de cobertura.

**Cuadro 1.** Análisis de varianza de las propiedades químicas reacción del suelo (pH) y contenidos de materia orgánica (MO), nitrógeno inorgánico (N), fósforo (P) y azufre (S) disponibles en el suelo por efecto del tipo de cobertura, tipo de fertilización, profundidad y las interacciones entre estas fuentes de variación.

	pH	MO	N	P	S
Cobertura (C)	*	NS	*	*	*
Fertilización (F)	NS	NS	*	NS	*
Profundidad (P)	*	*	*	*	NS
Interacción C x F	*	*	*	*	*
Interacción C x P	*	*	*	*	*
Interacción F x P	*	*	*	NS	*

\* Diferencias estadísticas significativas (Tukey, 95%), NS: No significativo

En el contenido de **N** inorgánico (N-NO<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub>) se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre tipo de cobertura, tipo de fertilización, con la profundidad y para todas las interacciones (Cuadro 1). Es importante destacar que del N inorgánico entre 70 y 80 % en la capa superficial y alrededor de 60% en las capas más profundas corresponde a amonio y el resto es nitrato. Con excepción de la primera capa en las coberturas introducidas, los valores de N son bajos ( $< 38 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). El efecto del tipo de cobertura sólo se presentó en la capa de 5 a 15 cm, con los mayores valores en la SN, al compararlos con los tratamientos sin fertilización en BD y CM. En la capa superficial (0 a 5 cm) los mayores valores de N se presentaron en la cobertura BD, en la segunda capa (5 a 15 cm) en la cobertura CM y en la última capa (15 a 30 cm). Con relación al tratamiento de fertilización, en la mayoría de los casos los menores valores de N se presentaron en el tratamiento Control (sin fertilización), pero no se presentó una tendencia definida en los valores más altos (Cuadro 2).

Al analizar la forma de N en el suelo, se aprecia en mayor contenido de amonio (**N-NH<sub>4</sub>**) que de nitrato (**N-NO<sub>3</sub>**) en todos los tipos de cobertura y profundidades consideradas, con valores de 17 a 23 y 9 a 11  $\text{mg.kg}^{-1}$  para N-NH<sub>4</sub> y N-NO<sub>3</sub>, respectivamente (Figura 1). Se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre tipo de cobertura para N-NO<sub>3</sub> en la capa superficial (0 a 5 cm), para N-NH<sub>4</sub> en la capa de 5 a 15 cm y sin diferencias entre coberturas para la capa más profunda. Las diferencias entre tratamientos de fertilización dentro de la cobertura BD (Figura 2), se aprecia que se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos tanto en N-NH<sub>4</sub> como N-NO<sub>3</sub> en la capa superficial, para la capa de 5 a 15 cm sólo en N-NO<sub>3</sub> y en la capa más profunda sólo en N-NH<sub>4</sub>. Los menores valores tanto de N-NH<sub>4</sub> como de N-NO<sub>3</sub> se presentaron en el tratamiento Control, lo que era de esperar ya que no se fertilizó. Para la cobertura CM los valores de N-NH<sub>4</sub> y N-NO<sub>3</sub> se presentan en

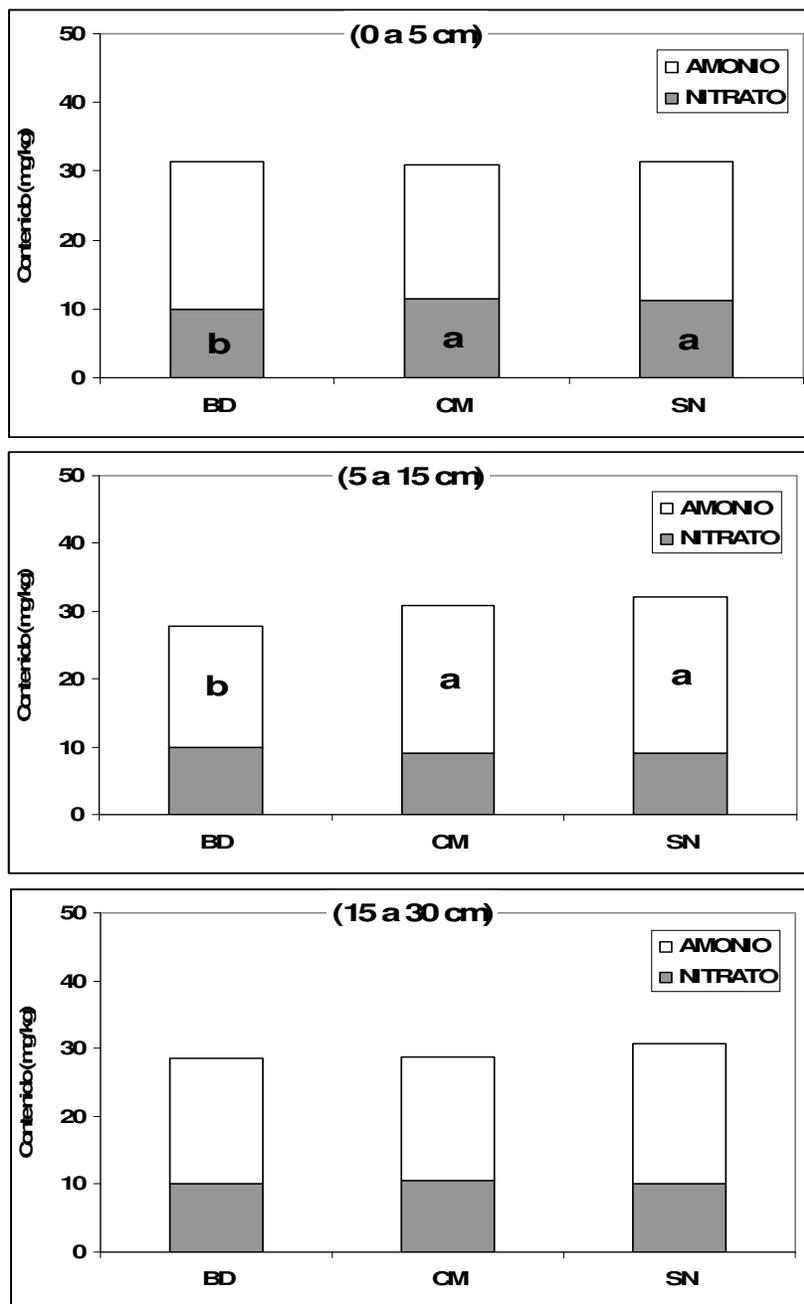
**Cuadro 2.** Variación de las propiedades químicas reacción del suelo (pH) y contenidos de materia orgánica (MO), nitrógeno inorgánico (N), fósforo (P) y azufre (S) disponibles en el suelo La Iguana en las tres profundidades evaluadas por efecto de los tipos de fertilización fosfórica y los cultivos de cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM) y Sabana natural (SN), como testigo.

Profundidad (cm)	Tipo de Cobertura	Tipo de Fertilización	pH	MO	N	P	S	
				(g kg <sup>-1</sup> )		(mg kg <sup>-1</sup> )		
0-5	<b>Sabana natural</b>		<b>5,3</b>	<b>14,7</b>	<b>31,3</b>	<b>6,7</b>	<b>12,4</b>	
	<i>Brachiaria dictyoneura</i>	ARF	5,4	11,5	53,0 b <sup>1)</sup>	8,1 a	21,6 c	
		BRF+M	5,3	11,8	57,8 a	7,6 a	83,1 a	
		ARF+FD	5,5	11,1	54,6 ab	6,7 a	26,3 b	
		Control	5,6	11,7	31,4 c	4,6 b	23,8 bc	
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	ARF	5,0 b	12,8	49,5 a	6,0	13,2 b	
		BRF+M	5,2 ab	12,9	48,7 a	5,6	6,6 c	
		ARF+FD	5,0 b	12,0	39,2 ab	6,8	31,6 a	
		Control	5,3 a	12,2	30,9 b	6,9	1,9 d	
	5-15	<b>Sabana natural</b>		<b>5,1</b>	<b>7,2</b>	<b>32,2</b>	<b>5,7</b>	<b>10,6</b>
		<i>Brachiaria dictyoneura</i>	ARF	5,2	10,5 a	27,4	5,3 b	22,1 b
			BRF+M	5,2	10,3 a	28,7	7,0 a	78,7 a
ARF+FD			5,1	10,7 a	29,6	6,8 a	25,6 b	
Control			5,1	6,9 b	27,8	5,5 b	23,1 b	
<i>Centrosema macrocarpum</i>		ARF	4,8 ab	7,1	29,3 bc	5,9	20,8 a	
		BRF+M	4,9 a	7,9	27,9 c	5,3	7,5 b	
		ARF+FD	4,7 b	7,1	32,2 a	5,4	21,1 a	
		Control	4,7 b	7,4	30,8 ab	5,9	4,6 b	
15-30		<b>Sabana natural</b>		<b>5,0</b>	<b>8,9</b>	<b>30,8</b>	<b>5,0</b>	<b>9,4</b>
		<i>Brachiaria dictyoneura</i>	ARF	5,0	7,2	32,5 a	5,9 a	23,3 b
			BRF+M	5,0	7,2	32,3 a	5,6 ab	77,1 a
	ARF+FD		5,1	7,3	26,3 b	4,9 b	20,6 b	
	Control		5,0	7,2	28,5 b	4,1 c	19,3 b	
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	ARF	4,8 ab	8,7 b	28,6	4,3 b	24,0 a	
		BRF+M	4,9 a	8,3 b	28,1	4,5 ab	11,0 c	
		ARF+FD	4,6 b	10,4 a	30,2	4,9 a	15,5 b	
		Control	4,9 a	9,5 ab	28,9	4,9 a	3,0 d	

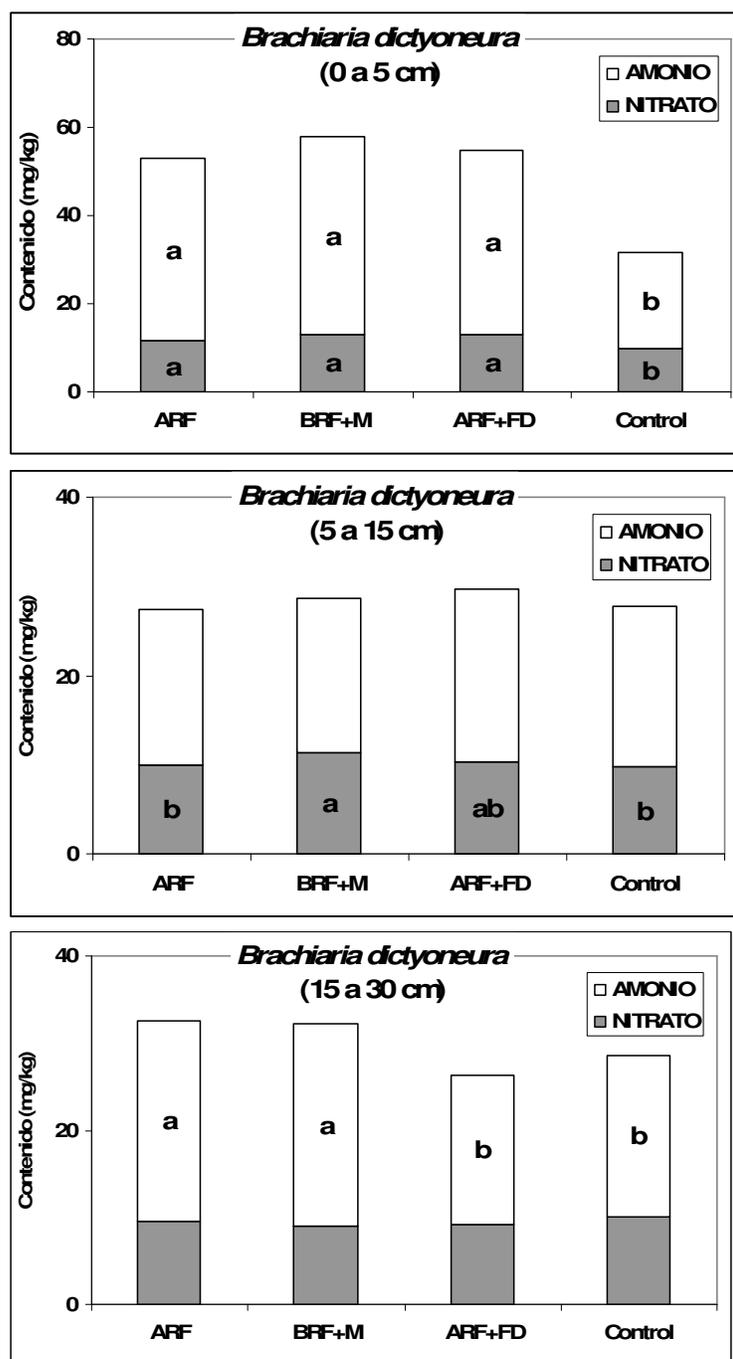
**Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica + 50% como fosfato diámonico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica + inoculación con micorrizas). <sup>1)</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas entre tipo de fertilización en una misma cobertura y profundidad (Tukey, P<0,05).

la Figura 3. Por efecto de los tratamientos de fertilización se presentaron diferencias estadísticas significativas (P<0,05 tanto en N-NH<sub>4</sub> como N-NO<sub>3</sub> en la capa superficial, en la segunda capa solo para N-NH<sub>4</sub> y en la capa más profunda no se presentaron diferencias entre tratamientos de fertilización. En los sistemas de labranza conservacionista y con cultivos de cobertura (vivas o muertas), la acumulación de residuos en superficie presentan una mayor acumulación de nitrato y amonio a nivel superficial por la mineralización de la MO tendiendo a disminuir con la profundidad. Este efecto fue más evidente en CM, mientras que en SN los niveles de N-NH<sub>4</sub> y N-NO<sub>3</sub> son similares a las tres profundidades evaluadas. Con relación al P disponible, en el Cuadro 1 se puede apreciar que se presentaron diferencias estadísticas atribuibles al tipo de cobertura y con la profundidad, pero no para el tipo de fertilización ni para la interacción fertilización por profundidad. La introducción de los cultivos de cobertura produjo un aumento de los contenidos de P en BD y una disminución en CM, con respecto a SN a todas las profundidades consideradas (Cuadro 2). Con el tipo de fertilización solo se presentaron diferencias para la cobertura BD, con contenidos similares en ARF, BRF+M y ARF+M y diferentes estadísticamente (P<0,5)

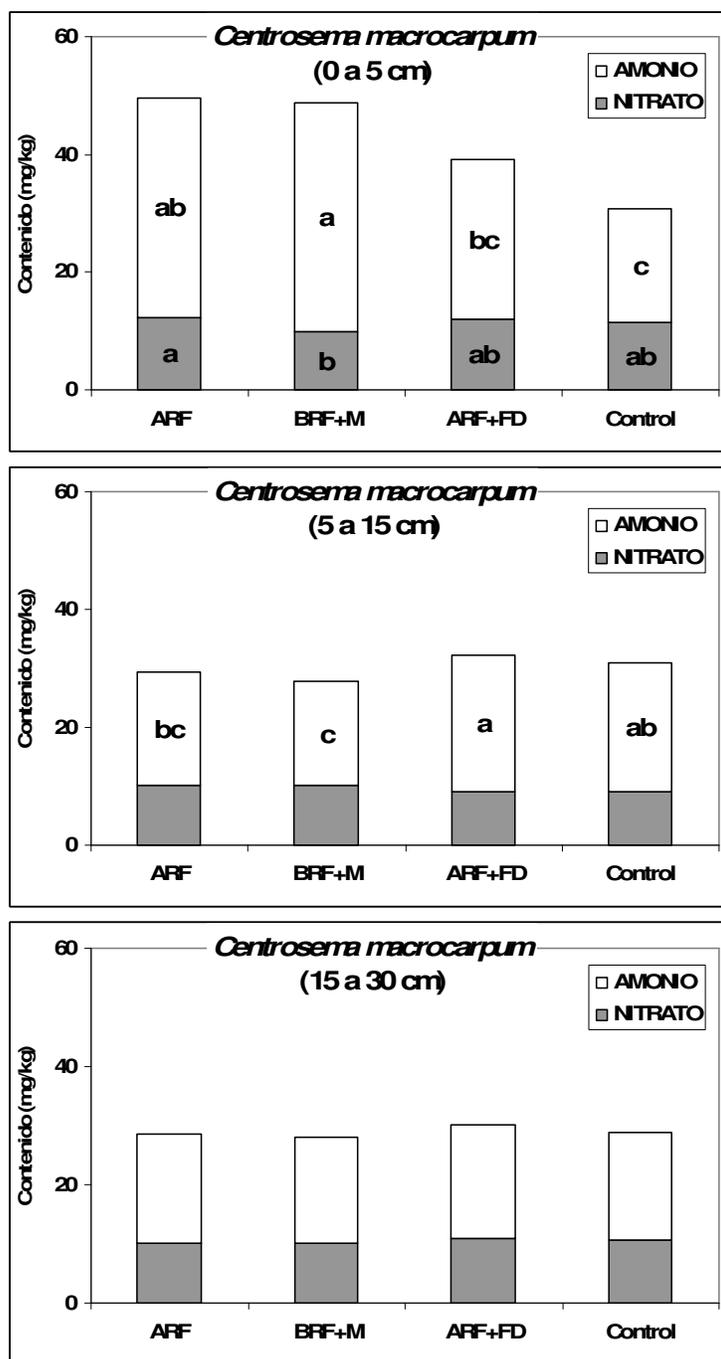
de los contenidos en el tratamiento control. Estos resultados podrían estar relacionados a una mayor absorción de P por parte del cultivo CM, ya que los valores en esta cobertura fueron bajos en todos los tipos de fertilización. Los contenidos de P fueron mayores en la capa superficial (0 a 5 cm) y disminuyeron con la profundidad, alrededor de 10 % en la segunda capa y 20% en la capa más profunda, lo que se puede atribuir a la descomposición de los residuos a nivel superficial, a la poca movilidad de este elemento en el suelo y a la profundidad de incorporación de los fertilizantes, tal y como lo señalan Briceño (2002) y Lozano et al. (2009).



**Figura 1.** Contenidos de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) y amonio (N-NH<sub>4</sub>) en las coberturas *Brachiaria dictyoneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM), en comparación con la Sabana natural (SN). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre coberturas para una misma profundidad (Tukey, P<0,05).



**Figura 2.** Contenidos de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) y amonio (N-NH<sub>4</sub>) en la cobertura *Brachiaria dictyoneura* para los diferentes tratamientos de fertilización. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica + 50% como fosfato diámonico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica + inoculación con micorrizas). <sup>1)</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas entre tipo de fertilización en una misma cobertura y profundidad (Tukey, P<0,05).



**Figura 3.** Contenidos de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) y amonio (N-NH<sub>4</sub>) en la cobertura *Centrosetima macrocarpum* para diferentes tratamientos de fertilización. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica + 50% como fosfato diámonico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como roca fosfórica + inoculación con micorrizas). <sup>1)</sup> Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas entre tipo de fertilización en una misma cobertura y profundidad (Tukey, P<0,05).

El contenido de **S** presentó diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) atribuibles al tipo de cobertura, el tipo de fertilización aplicada y para todas las interacciones, pero no hubo diferencias con la profundidad (Cuadro 1). Los contenidos de sulfato en el suelo bajo estudio oscilaron entre valores de 1,9 y 83,05  $\text{mg.kg}^{-1}$  (Cuadro 2), clasificados como bajos para SN y los tratamientos BRF + M y Control en CM y altos para el resto de los valores, lo que pudiera estar relacionado con la aplicación de S con la fuente de K y una menor absorción del elemento por el cultivo de cobertura de leguminosa (CM). Según el tipo de cobertura los contenidos de S presentaron la tendencia  $\text{BD} > \text{CM} > \text{SN}$ . Por tipo de fertilización la tendencia fue diferente para cada tipo de cultivo de cobertura evaluado, en BD los mayores valores se presentaron en BRF + M, estadísticamente diferentes ( $P < 0,05$ ) a los otros tipos de fertilización. En CM los mayores valores de S se presentaron en ARF y ARF+FD a las tres profundidades evaluadas.

En resumen, se puede decir que la introducción de los cultivos de cobertura produjo un incremento en los contenidos de N, P y S, con respecto a SN, pero se produjo una reducción en los contenidos de MO principalmente a nivel superficial. Cuando el cultivo de cobertura fue una gramínea (BD) se vieron favorecidos el pH y los contenidos de P y S, y cuando el cultivo de cobertura fue una leguminosa aumentaron los contenidos de MO en la mayoría de las capas consideradas. El tipo de fertilización fosfórica solo afectó los contenidos de N y S, pero su efecto fue diferente según el tipo de cobertura. Dado que algunas de las propiedades químicas se vieron favorecidas cuando el cultivo de cobertura fue una leguminosa y otras cuando el cultivo de cobertura fue una gramínea, sería conveniente usar una mezcla de gramíneas y leguminosas como residuos para el sistema mixto maíz-ganado bovino propuesto.

### CONCLUSIONES

El tipo de cultivo de cobertura usado como residuo y el tipo de fertilización fosfórica tuvieron un efecto sobre las propiedades químicas del suelo de sabana manejado bajo un sistema mixto maíz-ganado bovino. Con base a los resultados presentados se puede concluir que dado que algunas propiedades del suelo se vieron favorecidas cuando el cultivo de cobertura fue una gramínea (*Brachiaria dictyoneura*) y otras cuando el cultivo de cobertura fue una leguminosa (*Centrosema macrocarpum*), sería conveniente la mezcla de gramíneas y leguminosas como fuentes de residuos para el sistema de manejo propuesto.

### Agradecimiento

Se agradece el apoyo financiero del Fondo Nacional de Ciencia, tecnología e Innovación (FONACIT) a través del proyecto G 2002000398 y al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV), a través del proyecto PG-01-00-6542-2006.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. y J. Ingram.** 1993. Tropical soil biology and fertility (TSBF). Handbook of methods. C.A.B. International. 171 p.
- Bravo, C., R. M. Hernández, Z. Lozano, B. Moreno y L. Piñango.** 2001. Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema maíz – ganado en suelos del estado Guárico". Segundo Informe de Avance de Proyecto. 190 p.
- Briceño, O.** 2002. Evaluación de diferentes coberturas vivas como barbechos mejorados en un sistema de labranza conservacionista y su relación con las propiedades químicas de dos suelos de textura contrastantes del estado Guárico. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. 71 p.
- De María, I., P. Nnabude y M. De Castro.** 1999. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferrasol in southern Brazil. *Soil & Till. Res.* 51: 71-79.
- Fox, R., R. Olson y H. Rhoades.** 1964. Evaluating the sulfur status of soil by plant and soil test. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 243 - 246.
- Gilabert de B, J.; López de R., I; Pérez de R., R.** 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. Versión preliminar. CENIAP, Maracay. 164 p.
- Heanes, D.** 1984. Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1191-1213.
- Hernández, R.M., Z. Lozano, C. Rivero, M. Toro, J. Salazar, A. Torres, A. Ojeda; J. Morales y J. C. Rey.** 2007. Manejo agroecológico de suelos de sabanas bien drenadas con unidades de producción cereal-ganado. Segundo Informe de Avance de Proyecto. 192p.

- Lozano, Z., A. Mogollón, R.M. Hernández, C. Bravo, A. Ojeda, A. Torres, C. Rivero y M. Toro.** 2010. Cambio en las propiedades químicas de un suelo de sabana por la introducción de pasturas mejoradas. *Bioagro* 22:135-144.
- Lozano, Z., O. Briceño, J.G. Villanueva, C. Bravo, R.M. Hernández, B. Moreno y L. Piñango.** 2009. Propiedades químicas del suelo bajo cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista y su efecto sobre el rendimiento de maíz. *Venesuelos* 17: 24-41.
- Nelson, D. W. y L. E. Sommers.** 1996. Total carbon, total organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. (Ed). *Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 3: Chemical properties.* 2<sup>nd</sup> ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA). pp. 961-1010.
- Padrino, M.** 2005. Dinámica de la descomposición de coberturas en un sistema conservacionista maíz-ganado del estado Guárico. Trabajo de Grado de Maestría en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. 93 p.
- Pérez, MJ; T.J. Smyth y D.W. Israel.** 2007. Comparative effects of two forage species on rhizosphere acidification and solubilisation of phosphate rocks of different reactivity. *J. Plant Nutrition* 30: 1421-1439.
- Ramía, M.** 1967. Tipos de sabanas en los Llanos de Venezuela. *Bol. Soc. Venezolana Cienc. Nat.* 112:264-288.
- Salinas, J.C. y R. García.** 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 83 p.
- Sánchez, S., G. Crespo, M. Hernández y Y. García.** 2008. Factores bióticos y abióticos en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos y Forrajes.* 31: 99-118.
- Silva-Acuña, R., D. Sanabria, M. Marcano, E. Rivas, R. Barrios y M. Navas.** 2005. Cambio en las propiedades físicas y químicas de un suelo de sabana bien drenada, con tres sistemas de labranza, en una pastura degradada de *Brachiaria humidicola*. *Zootecnia Tropical* 23:373-392.
- Tabatabai, M. y J. Bremner.** 1972. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soils profiles. *Agron. J.* 64: 40 – 44.
- Watanabe, F y S. Olsen.** 1965. Test of acid ascorbic methods for determining phosphorus in water and  $\text{NaHCO}_3$  extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29:677 - 678.