

## CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO DE SABANA LUEGO DE LA INTRODUCCIÓN DE PASTURAS MEJORADAS

Zenaida Lozano P.<sup>1</sup>, Álvaro Mogollón<sup>2</sup>, Rosa Mary Hernández<sup>3</sup>, Carlos Bravo<sup>3</sup>,  
Adriana Ojeda<sup>3</sup>, Alexis Torres<sup>4</sup>, Carmen Rivero<sup>1</sup> y Marcia Toro<sup>5</sup>

### RESUMEN

Las sabanas de *Trachypogon* venezolanas son usadas principalmente para ganadería extensiva, pero su producción de biomasa está limitada por la baja fertilidad de los suelos. Para evaluar el cambio en las propiedades químicas del suelo por la introducción de pasturas mejoradas, se realizaron evaluaciones en un Typic Plinthustults ubicado en las sabanas del estado Guárico. Se usaron los cultivos de cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM), los cuales fueron comparados con la vegetación de la sabana natural (SN). Se realizaron dos muestreos de suelo, uno inicial antes del establecimiento del ensayo, y otro dos años después. Los tratamientos se distribuyeron en parcelas grandes de 26.250 m<sup>2</sup> (BD y CM) y 20.000 m<sup>2</sup> (SN). En cada parcela se tomaron 24 muestras a tres profundidades (0 a 5, 5 a 15 y 15 a 30 cm). Se evaluó el pH, acidez intercambiable, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y azufre disponibles. Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos por efecto de la pastura introducida y la profundidad de muestreo; estas diferencias se asociaron al efecto de la cantidad y calidad de las coberturas sobre el pH y extracción de nutrientes. En la SN se pudo evidenciar el efecto de la quema sobre las propiedades del suelo. Se concluyó que algunas propiedades se ven favorecidas cuando el cultivo de cobertura es gramínea y otras cuando es leguminosa.

**Palabras clave adicionales:** *Brachiaria dictyoneura*, *Centrosema macrocarpum*, sostenibilidad, cultivos de cobertura, sistema cereal-ganado

### ABSTRACT

#### Change on the chemical properties of a savanna soil by the introduction of improved perennial pastures

The Venezuelan *Trachypogon* savannas are mainly used for extensive cattle rising, but the biomass production is generally limited by soil fertility. In order to evaluate the change in the soil chemical properties by the introduction of pastures, evaluations were made in a Typic Plinthustults located in the savannahs of Guárico State. The cover crops were *Brachiaria dictyoneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM), and the natural savannah (SN). Two samplings were made: one initial, before the establishment of the treatments, and the other two years later. The treatments were distributed in great parcels of 26.250 m<sup>2</sup> (BD and CM) and 20.000 m<sup>2</sup> (SN). In each plot 24 samples to three depths were taken (0 to 5, 5 to 15 and 15 to 30 cm). Soil pH, exchangeable acidity, cationic exchangeable capacity, organic carbon, nitrogen, and available phosphorus and sulphur were evaluated. The results showed statistical differences between treatments by effect of the introduced pasture and the depth of sampling; these differences were associated to the effect of the amount and quality the covers on pH and extraction of nutrient. In SN the effect of burnings on the soil properties was evident. It was concluded that some properties are favored when the cover crop is a grass and others when it is a leguminous.

**Additional key words:** *Brachiaria dictyoneura*, *Centrosema macrocarpum*, sustainability, cover crops, cereal-cattle system

---

Recibido: Marzo 16, 2009

Aceptado: Marzo 30, 2010

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela. e-mail: lozanoz@agr.ucv.ve

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tierras (INTI). Caracas

<sup>3</sup> Centro de Agroecología Tropical, Universidad Nacional Experimental "Simón Rodríguez". San Antonio de los Altos, estado Miranda. Venezuela

<sup>4</sup> Petroquímica de Venezuela. Morón, estado Carabobo. Venezuela

<sup>5</sup> Instituto de Zoología Tropical (IZT), Universidad Central de Venezuela. Caracas

## INTRODUCCIÓN

Los llanos centrales de Venezuela son una región principalmente ganadera, su mayor extensión está representada por el estado Guárico, y gran parte de la región está conformada por pastizales naturales, los cuales representan el principal sustento de la ganadería existente. No obstante, las condiciones climáticas y edáficas de las sabanas bien drenadas han inducido a que esta vegetación natural sea de escaso potencial para la producción animal, debido al bajo aporte de biomasa y su bajo valor nutritivo (Mármol, 1985). El manejo de bovinos en estas pasturas se caracteriza por el uso de la quema para eliminar el material lignificado de las especies nativas y permitir así el rebrote de pastos tiernos más palatables, como única práctica agrícola, en detrimento de la calidad del suelo y de las pasturas (Primavesi, 2006).

Para mejorar la oferta forrajera en cantidad y calidad de biomasa producida, los pastos nativos de las sabanas han venido siendo reemplazados por pastos introducidos (Pizarro et al., 1996), pero se ha hecho poco para mejorar la calidad del suelo y hacer que los sistemas sean más sostenibles. Debido a ello, algunos autores han sugerido el uso de cultivos de cobertura como una de las tecnologías más promisorias en la transición de la agricultura de corte y quema hacia sistemas permanentes. Existen experiencias donde se han evaluado sistemas de labranza conservacionista con el uso de pasturas de los géneros *Brachiaria* y *Centrosema* como coberturas, cuyos resultados indican que se ve favorecido el mantenimiento de los nutrientes en el suelo, en comparación con la sabana natural (Bravo et al., 2004; Lozano et al., 2004).

La introducción de sistemas de manejo conservacionista puede ayudar a favorecer las propiedades químicas del suelo (Agbenin et al., 2005; Limousin y Tessier, 2007). La introducción de especies forrajeras de mejor calidad, tolerantes o resistentes a las condiciones edafoclimáticas predominantes en la zona constituye un paso importante para el desarrollo de tecnologías orientadas a mejorar la calidad del suelo y la viabilidad económica de los sistemas de producción. El objetivo de este trabajo fue evaluar el cambio en algunas propiedades químicas de un suelo de sabana por la introducción de pasturas

mejoradas (gramínea y leguminosa) en comparación con la sabana natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un suelo Typic Plinthustults, francosa gruesa, caolinítica, isohipertérmica, en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico, Venezuela (8° 25' N y 65° 25' W), con altitud entre 80-120 msnm, clima estacional con una época de sequía y otra de lluvia (3 a 6 meses húmedos), relieve suavemente ondulado, con pendientes de 2 %, precipitación anual promedio de 1369 mm y temperatura media mensual de 27,3 °C. El suelo presenta baja fertilidad natural y pH entre 4,5 y 5,8. La vegetación natural de la zona es el *Trachypogon* sp. (Chacón et al., 1991).

La necesidad de utilizar unidades experimentales suficientemente grandes para evaluar el efecto del manejo sobre los componentes vegetal, animal y las propiedades del suelo limitaron las posibilidades de replicación de las unidades experimentales y justificaron la necesidad de un diseño de parcelas grandes (Carpenter, 1998), con una dimensión de 2 ha (100 m x 200 m) para la sabana natural y de 2,6 ha (350 m x 75 m) para los cultivos de cobertura introducidos. Dentro de cada parcela grande se establecieron 12 parcelas de muestreo (15 m x 60 m). Para la selección de las dimensiones, orientación de las parcelas y número de muestras a tomar, se realizó un estudio previo de variabilidad espacial de suelos. Las coberturas introducidas fueron una gramínea *Brachiaria dictyoneura* (BD) y una leguminosa *Centrosema macrocarpum* (CM), seleccionadas por su abundante producción de biomasa y adaptabilidad a la zona (Bravo et al., 2004) y se empleó la vegetación natural de la sabana (SN) como testigo.

Para el establecimiento de las parcelas experimentales se procedió a la deforestación del área, luego se realizó una preparación convencional con dos pases de rastra superficial (cruzados) y se hizo una aplicación de roca fosfórica a razón de 300 kg·ha<sup>-1</sup> (33 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cubierta con un pase de rastra. La siembra se realizó con 4 kg·ha<sup>-1</sup> de semillas de BD y 3 kg·ha<sup>-1</sup> de semillas de CM. La semilla fue enterrada mediante un pase de rastra. Al tratamiento de SN se le dio el manejo que normalmente se da a las

sabanas (quema controlada anual).

Para la evaluación de las propiedades químicas se utilizaron muestras provenientes de dos épocas: la primera corresponde a la caracterización inicial antes de establecer las coberturas (mayo de 2002) y la segunda corresponde al mes de mayo del 2004, cuando las coberturas tenían dos años de sembradas. De cada tratamiento se tomaron 24 muestras compuestas por profundidad, provenientes de seis submuestras cada una. En la selección de las profundidades de muestreo se tomó como base el espesor promedio de los horizontes A (0 a 15 cm) y E (15 a 30 cm). En el primer horizonte se tomaron los primeros 5 cm, con la finalidad de evaluar variaciones en las propiedades del suelo producto de los residuos en superficie, resultando en muestreos a las profundidades de 0 a 5, 5 a 15 y 15 a 30 cm.

Se determinó por duplicado el pH (1:1), la acidez total-AT e intercambiable (aluminio intercambiable-AI e hidrógeno intercambiable-H), capacidad de intercambio catiónico-CIC (Anderson e Ingram, 1993), C orgánico (Heanes, 1984), N amoniacal y nítrico utilizando cloruro de potasio 2M como extractante y destilación con microkjeldahl (Anderson e Ingram, 1993); fósforo disponible extraído con la solución de Olsen y detectado por el método colorimétrico; potasio, calcio, magnesio y sodio intercambiable por extracción con acetato de amonio 1 M pH 7 y detección por absorción atómica; azufre por extracción con fosfato de calcio y detección turbidimétrica con sulfato de bario.

Los resultados obtenidos se analizaron con el programa estadístico Statistix 11.0. Previamente los datos fueron sometidos a un análisis exploratorio para la detección y eliminación de valores anómalos con la metodología de las cercas internas (Tukey, 1977). Las características iniciales del suelo se reportan mediante promedios y su dispersión. Las comparaciones de medias entre BD, CM y SN se realizaron por las mínimas diferencias significativas (MDS) (Liebig et al., 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización inicial del suelo

Las características del suelo antes de la instalación del ensayo son consistentes con las descritas para otros Ultisoles de los llanos

centrales (Cuadro 1). Se destaca la textura gruesa del suelo, con bajos contenidos de arcilla y predominio en la fracción arena de las finas y medias (mas del 50 %), reacción del suelo fuertemente ácida a todas las profundidades (valores de 4,75 a 5,01), sin problemas de sales, con baja capacidad de retención de nutrimentos, dada su textura arenosa, bajos contenidos de materia orgánica y de macronutrientes, especialmente el fósforo y el calcio. Con excepción del magnesio los mayores valores de los elementos nutritivos se presentaron a nivel superficial y disminuyen a medida que se profundiza el perfil.

### Características químicas del suelo luego de 2 años con cultivos de cobertura

**Reacción (pH):** Esta variable presentó diferencias significativas atribuibles al efecto de las coberturas, con la profundidad y en la interacción cobertura por profundidad (Cuadro 2). En las tres coberturas evaluadas el pH del suelo mostró una tendencia a disminuir con la profundidad, encontrándose valores significativamente más altos ( $P \leq 0,05$ ) en SN, en comparación con el resto de las coberturas, resultando moderadamente ácido en todas las profundidades evaluadas, posiblemente por el efecto producido por las quemadas anuales que se realizan en la sabana como única práctica de manejo, tal y como lo señala Primavesi (2006). Estos resultados concuerdan con los presentados por Hernández y López (2002) y Guiffre et al. (2002), quienes consiguieron aumentos en la reacción del suelo y en el contenido de bases por el efecto de la quema en un área recién deforestada. Al contrario de lo sucedido en SN, en el tratamiento CM se produjeron los más bajos valores de pH, ubicándose como extremadamente ácido en todas las profundidades y sin variaciones significativas entre capas. Por otro lado en BD, la reacción del suelo fue fuertemente ácida en los primeros 5 cm y extremadamente ácida en las capas subsiguientes.

La acidificación del suelo en el tratamiento con la leguminosa (CM) pudiera estar asociada a una mayor absorción de Ca y la dependencia de la fijación biológica de  $N_2$  de esta especie, lo cual puede resultar en un exceso de cationes en la planta y en un flujo de  $H^+$  a través de las raíces hacia la rizósfera para mantener la

electroneutralidad de la célula; por el contrario, en la gramínea (BD) se produciría una mayor absorción de aniones como el  $\text{N-NO}_3^-$ , el cual por reducción en las raíces de las células puede

generar una gran cantidad de  $\text{OH}^-$  citoplasmático, el cual pudiera inducir la síntesis de ácidos orgánicos y provocar la extrusión de  $\text{OH}^-$  hacia la rizósfera, tal como lo señalan Pérez et al. (2007).

**Cuadro 1.** Características iniciales del suelo bajo estudio en la Estación Experimental La Iguana

Parámetro	Profundidad (cm)		
	0 – 5	5 – 15	15 – 30
Arcilla (%)	2,5 (0,38) <sup>1)</sup>	2,94 (0,09)	10,00 (1,20)
Limo (%)	12,51 (1,15)	11,00 (0,98)	12,00 (1,02)
Arena muy fina (%)	6,99 (0,32)	3,17 (0,89)	10,00 (1,92)
Arena fina (%)	48,91 (5,15)	29,05 (2,13)	36,00 (3,16)
Arena media (%)	25,99 (1,12)	44,59 (3,32)	22,93 (2,16)
Arena gruesa (%)	3,29 (0,78)	7,98 (1,12)	8,20 (0,32)
Arena muy gruesa (%)	0,51 (0,11)	1,27 (0,08)	0,78 (0,10)
Clase textural	aF	aF	Fa
Reacción del suelo (pH)	5,01 (0,18) <sup>1)</sup>	4,81 (0,25)	4,75 (0,24)
Aluminio intercambiable ( $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0,34 (0,05)	0,36 (0,02)	0,56 (0,07)
Conductividad eléctrica 1:5 ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	27,53 (1,32)	23,62 (3,26)	22,77 (3,62)
CIC ( $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ )	3,06 (0,89)	2,30 (0,66)	1,81 (0,45)
Materia orgánica (%)	1,33 (0,30)	1,23 (0,26)	1,04 (0,27)
Nitrógeno inorgánico ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	20,36 (7,33)	16,28 (3,01)	14,30 (3,45)
Fósforo ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	11,30 (0,30)	10,01 (3,62)	8,67 (3,26)
Potasio ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	41,95 (8,46)	22,26 (7,12)	19,12 (6,82)
Calcio ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	57,73 (15,17)	45,76 (13,99)	29,74 (8,47)
Magnesio ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	35,13 (8,49)	32,58 (9,55)	39,94 (7,49)
Sodio ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	7,2 (1,25)	8,1 (3,18)	7,4 (2,1)

Los valores entre paréntesis indican la desviación estándar; CIC: capacidad de intercambio catiónico.; aF: areno francoso; Fa: franco arenoso

**Acidez total e intercambiable:** La acidez total varió entre 0,29 y 0,65  $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ , menor a nivel superficial y en aumento a medida que se profundiza en el perfil en todos los tratamientos. Estas diferencias con la profundidad se pueden asociar al contenido de aluminio intercambiable de cada capa. La tendencia entre tratamientos es a presentar valores de AT similares entre las coberturas CM y SN, significativamente mayores ( $P \leq 0,05$ ) a las encontradas en BD. Los valores de Al fueron bajos en todas las coberturas lo cual indica que no hay problemas de toxicidad de este elemento. De manera similar a lo encontrado en la AT, los mayores contenidos de Al se presentan en CM y SN; no obstante, es en la capa más profunda (15 a 30 cm) donde se aprecia una variación significativa ( $P \leq 0,05$ ) con los mayores valores en BD. La tendencia del Al en CM y SN es a

augmentar con la profundidad, mientras que en BD se presentó un ligero incremento en la capa de 5 a 15 cm, pero sin diferencias estadísticas. Con relación a los contenidos de Al iniciales, en los tres tratamientos esta propiedad presentó una disminución de alrededor de 50 % para las tres profundidades consideradas. Estas variaciones podrían deberse a razones como aumento en los contenidos de materia orgánica y calcio, disminución de la capacidad de retención de nutrientes y una mayor absorción del elemento por las coberturas.

Los contenidos de H no presentaron diferencias significativas con la profundidad y sólo se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0,05$ ) atribuidas al tipo de cobertura y la interacción cobertura por profundidad. Esta propiedad exhibió los contenidos más bajos en el

tratamiento BD, especialmente en las capas de 0 a 5 y 5 a 15 cm. En relación a las variaciones con la

profundidad, no se produjo una tendencia definida (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Reacción (pH), acidez ( $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y formas de nitrógeno ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en el suelo, a las profundidades evaluadas para los cultivos de cobertura *B. dictyoneura* (BD), *C. macrocarpum* (CM) y la sabana natural (SN).

Profundidad (cm)	Cobertura	pH	Acidez Total	Al intercamb	H intercamb	Nin	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
0 – 5	BD	5,16 b	0,29 b	0,17 a	0,12 c	22,78 a	22,06 a	0,72 c
	CM	4,60 c	0,44 a	0,20 a	0,24 a	13,48 c	7,22 c	6,26 a
	SN	5,32 a	0,37 a	0,19 a	0,18 b	16,71 b	14,69 b	2,02 b
5 – 15	BD	4,95 b	0,35 b	0,26 a	0,09 b	16,55 b	15,01 b	1,53 c
	CM	4,58 c	0,50 a	0,32 a	0,19 a	15,28 b	9,20 c	6,07 a
	SN	5,23 a	0,51 a	0,33 a	0,19 a	23,34 a	21,04 a	2,30 b
15 – 30	BD	4,92 b	0,41 b	0,24 b	0,16 b	15,68 b	14,82 b	0,86 b
	CM	4,56 c	0,61 a	0,45 a	0,16 b	12,30 b	7,53 c	4,77 a
	SN	5,05 a	0,65 a	0,43 a	0,23 a	23,00 a	21,70 a	1,30 b

#### Análisis de varianza

Cobertura (C)	*	*	*	*	*	*	*	*
Profundidad (P)	*	*	*	ns	*	*	*	*
Interacción C*P	*	ns	ns	*	*	*	*	*

Letras diferentes indican diferencias significativas entre coberturas en cada propiedad (MDS 95 %); ns: no significativo. Al intercamb: aluminio intercambiable; H intercamb: hidrógeno intercambiable; Nin: nitrógeno inorgánico

**Contenido de nitrógeno:** En el contenido de nitrógeno inorgánico (Nin) se produjeron cambios significativos ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos, con la profundidad y en la interacción cobertura por profundidad (Cuadro 2). En la capa más superficial los contenidos más altos corresponden al tratamiento BD, el cual presenta variaciones por el orden de 39,11 y 23,59 % con relación a los tratamientos CM y SN, respectivamente. A partir de los 5 cm los valores más altos se producen en SN con una variación significativa respecto al resto de los tratamientos.

En las tres coberturas la mayor parte del Nin, se debe a aumentos en el N amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), especialmente en las coberturas BD y SN en las cuales el N-NH<sub>4</sub>, representa más del 90 % mientras que en CM la contribución del N-NH<sub>4</sub> al Nin es cercano al 50 %, con una distribución más proporcional entre NH<sub>4</sub> y NO<sub>3</sub> (Cuadro 2).

Contrario a lo esperado, los menores contenidos de Nin en el suelo se presentan en la cobertura CM, lo cual se podría explicar por una menor mineralización de los residuos de CM dado

su mayor contenido de lignina y polifenoles, tal como lo señala Padrino (2004) en un estudio de la dinámica de la descomposición de de BD y CM en un suelo de características similares. Wedderburn y Carter (1999) también señalan que altas concentraciones de lignina en los residuos, influyen en la liberación del N.

Con relación a los contenidos de Nin encontrados tanto en BD como en SN, los residuos de estas coberturas tienen una mayor relación C/N que en CM (BD = 40,79, SN = 26,81, CM = 11,03), por lo que era de esperar en estos tratamientos un predominio de la inmovilización sobre la mineralización (Anderson, 1982). Sin embargo, tal como indica Padrino (2004), el mayor volumen de raíces finas que contiene la cobertura BD tiende a incrementar la tasa de descomposición y liberación de nutrimentos de los residuos, ya que éstas estimulan el desarrollo de los microorganismos. Dicha autora también atribuye el mayor contenido de Nin en BD a que esta gramínea ofrece mayor grado de protección a las pérdidas de este

elemento por lixiviación.

El N-NH<sub>4</sub> varió significativamente ( $P \leq 0,05$ ) entre coberturas, con la profundidad y con la interacción cobertura-profundidad (Cuadro 2). En el N-NH<sub>4</sub> las variaciones entre cobertura y con la profundidad presentaron tendencias similares a las descritas para Nin, dada la alta contribución del N-NH<sub>4</sub> al Nin. La tendencia del tratamiento CM es a presentar contenidos de amonio menores ( $P \leq 0,05$ ) al resto de los tratamientos en todas las capas evaluadas, lo que pudiese manifestar la dominancia del proceso de nitrificación, produciendo valores similares en todo el perfil. En la cobertura BD se produjo la mayor concentración de N-NH<sub>4</sub> con un valor de 21,33 mg·kg<sup>-1</sup> a nivel superficial, disminuyendo con la profundidad. Tendencia contraria a la producida por SN, donde se aprecia un aumento con la profundidad. Por su parte, Zoughon (2002) no consiguió diferencias en el N-NH<sub>4</sub> atribuibles al efecto de las coberturas (CM y BD) en un suelo de sabana de condiciones similares.

El contenido de N-NO<sub>3</sub> presentó también diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) por efecto de las coberturas, con la profundidad y por la interacción cobertura-profundidad (Cuadro 2). Los contenidos fueron bajos en todas las profundidades, con valores que oscilaron entre 0,64 y 6,33 mg·kg<sup>-1</sup>. Al contrario de lo conseguido para el N-NH<sub>4</sub>, en el N-NO<sub>3</sub> se observa un notable incremento en la cobertura CM en relación al resto de las coberturas en todas las capas evaluadas, produciendo diferencias con relación a SN. La capacidad de las leguminosas de fijar N atmosférico y una mayor nitrificación, pudieran estar relacionadas con el mayor contenido de N-NO<sub>3</sub> en CM. Por otro lado, la cobertura SN produjo valores levemente mayores en todas las profundidades en relación a BD, a pesar de que no se observan diferencias significativas en la capa de 15 a 30 cm entre estas dos coberturas. Estos resultados son similares a los de Sainju et al. (1998) quienes señalaron disminuciones en la concentración de N-NO<sub>3</sub> en el suelo después de utilizar centeno (*Secale cereale* L.) como cultivo de cobertura, debido a una mayor densidad de raíces, las cuales removieron una considerable cantidad de N-NO<sub>3</sub> del suelo. Con relación a las variaciones con la profundidad, en CM la tendencia del N-NO<sub>3</sub> fue a disminuir ligeramente con la profundidad, con los menores contenidos en

la capa de 15 a 30 cm, mientras que en BD y SN los mayores contenidos se produjeron en la capa de 5 a 15 cm, posiblemente debido a condiciones de mejor permeabilidad que habrían favorecido su lixiviación hasta esta capa.

**Capacidad de intercambio catiónico:** La CIC presentó diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) atribuibles a los tratamientos de cobertura, produciéndose una reducción en todas las capas de hasta valores cinco veces menores en comparación a la condición natural del suelo, lo que se pudiera atribuir a la presencia de coloides de carga variable, en los que las cargas negativas disminuyen con el descenso en el pH del suelo (Cuadro 3). Algunos autores coinciden en que los cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista se producen aumentos en la CIC del suelo, pero que éstos sólo se aprecian después de muchos años (Lal, 1997; Nyakatawa, 2001). En nuestro estudio fueron evidentes los mayores valores de CIC a nivel superficial en los tratamientos BD y SN (alrededor de 0,91 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>), con diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0,05$ ) con respecto a CM. La CIC disminuye a medida que se profundiza en el perfil en BD y SN, pero en CM no presentó diferencias significativas con la profundidad. Para el segundo horizonte las tres coberturas presentaron valores similares, alrededor de 0,50 cmol<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>. En el horizonte más profundo la cobertura CM presentó una CIC diferente a BD y SN, lo que pudiese atribuirse a variaciones espaciales con la presencia de un horizonte con mayor contenido de arcillas en este tratamiento, lo que se evidenció a nivel de campo.

**Contenido de carbono orgánico (CO):** Tanto en las dos coberturas introducidas (BD y CM) como en la SN se produjo un incremento de 80 a 150 % del CO con respecto a los valores iniciales (Cuadros 1 y 3). Como se aprecia en el Cuadro 3, los contenidos de CO fueron bajos en todas las profundidades evaluadas, con excepción la cobertura BD, el cual presenta valores medios en el horizonte de 5 a 15 cm.

La cobertura CM presentó tendencia similar a BD, con un menor contenido de CO en la capa de 0 a 5 cm que en la capa de 5 a 15 cm, mientras que en SN los valores de CO fueron muy parecidos en las tres capas evaluadas. Las mayores

diferencias estadísticas ( $P \leq 0,05$ ) entre coberturas se presentaron en la capa de 5 a 15 cm, donde pareciera que la cobertura BD favoreció la incorporación de la materia orgánica al suelo (MOS), posiblemente por la presencia de un mayor volumen de raíces finas a esa profundidad. En este sentido, Padrino (2004) observó que el C en los residuos de las raíces de BD se libera con mayor facilidad que el de los

residuos de las raíces de CM, mientras que en SN este elemento se libera en menor cantidad y velocidad, permaneciendo por más tiempo en las raíces. Dicha autora, al destacar el efecto positivo que las raíces de BD tendrían sobre la actividad microbiana, señala que posiblemente hubo degradación de los compuestos más recalcitrantes en estos residuos e incorporación a la MOS.

**Cuadro 3.** Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenidos de carbono orgánico, fósforo y azufre disponibles del suelo, a las profundidades evaluadas en los cultivos de cobertura *B. dictyoneura* (BD), *C. macrocarpum* (CM) y la sabana natural (SN)

Profundidad (cm)	Cobertura	CIC ( $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Carbono Orgánico (%)	Fósforo disponible ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Azufre disponible ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
0 - 5	BD	1,08 a	1,28 ab	2,07 b	38,04 a
	CM	0,76 b	1,46 a	3,13 a	1,53 b
	SN	1,09 a	1,21 b	2,72 a	2,48 b
5 - 15	BD	0,73 b	1,92 a	1,00 b	100,57 a
	CM	0,88 ab	1,62 b	2,13 a	1,41 b
	SN	0,90 a	1,18 c	2,12 a	3,45 b
15 - 30	BD	0,59 b	1,08 a	0,25 c	34,93 a
	CM	0,99 a	1,16 a	0,93 a	0,39 b
	SN	0,75 b	1,16 a	0,51 b	3,55 b
Análisis de varianza					
Cobertura (C)		*	*	*	*
Profundidad (P)		*	*	*	*
Interacción C*P		*	*	*	*

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre coberturas en cada propiedad (MDS 95%); ns: no significativo

Resultados similares son presentados por Lal (1997) quien afirma que el uso de coberturas introducidas durante los barbechos es más efectivo para incrementar el contenido de materia orgánica y mejorar la estructura del suelo que las coberturas nativas.

**Contenido de azufre disponible:** Como se puede apreciar en el Cuadro 3, la cobertura BD produjo valores considerablemente mayores en los contenidos de S-SO<sub>4</sub> que el resto de las coberturas en las tres capas evaluadas, alcanzando el valor más alto en la capa de 5 a 15 cm, con 100,57  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , mientras que en las capas de 0 a 5 y de 15 a 30 cm los contenidos fueron similares entre sí. A pesar de que en CM se produjeron contenidos de S-SO<sub>4</sub> levemente mayores que los de SN no se presentaron diferencias significativas entre estas dos coberturas posiblemente debido a la presencia

de algunas leguminosas en la SN. Los mayores contenidos de S-SO<sub>4</sub> en BD pueden obedecer a menores requerimientos de absorción del elemento por las raíces, combinado a una mayor liberación por vía descomposición de los residuos. En CM los valores disminuyen con la profundidad, mientras que en SN la tendencia fue a aumentar, lo que pudiera estar relacionado con el tipo de sistema radical en cada caso, ya que el contenido de S-SO<sub>4</sub> en los suelos está estrechamente relacionado con el contenido de MOS y su mineralización. Mc Clunt et al. (1959) sugieren que los bajos contenidos de S en suelos tropicales bajo pastos nativos se pueden asociar a las repetidas quemadas de pastos secos, con pérdidas de hasta el 75 % de S por volatilización. En CM los bajos valores de S-SO<sub>4</sub> se podrían asociar a la adsorción de sulfatos, dado el bajo pH del suelo.

**Contenido de fósforo disponible:** Del análisis conjunto de los contenidos de fósforo mostrados en el Cuadro 3 se detectaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre tipos de cobertura, con la profundidad y con la interacción cobertura por profundidad. Dados sus bajos valores a todas las profundidades, el P representó una limitante para las coberturas. Los contenidos de P variaron entre 0,25 y 3,13  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , coincidiendo con los resultados obtenidos por Silva (2006) quien trabajando con las mismas coberturas encontró valores muy bajos de fósforo inorgánico en un suelo ácido ubicado en la misma zona agroecológica. Los suelos ácidos tienen por características un alto contenido de iones de hierro y aluminio, los cuales forman compuestos insolubles con el P reduciendo así la disponibilidad de este elemento para las plantas. Por otro lado, Hernández (1996) señala que en los suelos altamente meteorizados, la disponibilidad de P para las plantas puede depender más del reciclaje del P orgánico de la biomasa microbiana que del P inorgánico.

Los mayores contenidos de P se encontraron a nivel superficial y disminuyeron a medida que se profundizó en el perfil, lo cual algunos autores atribuyen a la descomposición de los residuos en superficie y la naturaleza poco móvil del P (Briceño, 2002; Zoughon, 2002). Por su parte, Evangelou y Blevins (1988) han demostrado que la falta de labranza en el suelo produce una mayor disponibilidad de formas de P en la superficie y la atribuyen a la falta de contacto suelo-residuo y a la falta de incorporación de los fertilizantes al suelo (Lal, 1997). En cuanto a la tendencia en cada una de las coberturas evaluadas, la BD mostró ser diferente al resto de los tratamientos a todas las profundidades, con menores contenidos de P. CM y SN mostraron contenidos similares en las capas de 0 a 5 y 5 a 15 cm, mientras que en la última capa los valores fueron mayores en CM. Resultados similares han sido obtenidos por Zoughon (2002) y Briceño (2002).

Los contenidos de P encontrados en el tratamiento CM pueden estar asociados a una combinación del efecto de la reducción del pH por esta cobertura y aumento en la solubilidad del P proveniente de la roca fosfórica aplicada en el establecimiento. En este sentido, se ha señalado que las leguminosas actúan como un sumidero de Ca, disminuyendo la concentración de este

elemento en la solución del suelo y promoviendo la disolución de la roca fosfórica (Pérez y Smyth, 2005; 2007), lo que concuerda con los contenidos de Ca hallados en el presente trabajo. En SN pudiera estar relacionado con la quema anual que se realiza a las sabanas. Primavesi (2006) afirman que la quema promueve un incremento en la disponibilidad de nutrientes a partir de las cenizas de la biomasa y la MOS, promoviendo la liberación de nutrientes como óxidos o carbonatos que reducen la acidez y promueven una mayor disponibilidad de P y otros elementos contenidos en los residuos. Otro efecto importante en el comportamiento del P para las tres coberturas es su notable disminución (entre 4 a 9 veces menores) con relación a los contenidos iniciales del suelo, aun cuando fue aplicada una fuente fosforada de fertilizante. Una posible explicación de este efecto podría basarse en que el establecimiento y desarrollo de las coberturas produjo una remoción de los contenidos iniciales de P, aunado a los menores aportes vía mineralización y la baja solubilidad del fertilizante.

Con base a los resultados mostrados se evidencia que algunas propiedades del suelo se ven favorecidas cuando el cultivo de cobertura es una gramínea, evidenciadas en el aumento del pH, la reducción de la acidez total e intercambiable, el aumento de la CIC y de los contenidos de Ni,  $\text{N-NH}_4$  y  $\text{S-SO}_4$ , y otras cuando el cultivo de cobertura es una leguminosa, evidenciadas en el aumento de los contenidos de  $\text{N-NO}_3$ , CO y P. Por lo tanto, no podría decirse que una cobertura mejora la calidad del suelo más que la otra. Tal vez sería conveniente la mezcla de gramínea y leguminosa, práctica que además de mejorar la calidad del suelo, mejoraría en cantidad y calidad la oferta forrajera en los sistemas mixtos cereal-ganado de uso común en la zona donde se realizó este estudio.

## CONCLUSIONES

Se produjeron diferencias en la mayoría de las propiedades evaluadas atribuibles al tipo de cobertura y con la profundidad, con excepción del aluminio e hidrógeno intercambiable.

La cobertura CM favoreció la acumulación de CO en el primer horizonte e indujo una considerable reducción del pH. En los

tratamientos BD y CM se favoreció el aumento de CO en la capa de 5 a 15 cm.

La mayor contribución al nitrógeno inorgánico fue la forma amoniacal en todas las coberturas y profundidades. Los tipos de cobertura indujeron contenidos diferentes dependiendo de la forma de nitrógeno, en el amonio fue BD>SN>CM, mientras que en el nitrato fue CM>SN>BD.

La CIC resultó ser un parámetro importante en la medición del efecto producido por las coberturas introducidas. La disminución del pH, y el aumento del CO en todos los tratamientos, llevó a una reducción de este parámetro en relación a los valores iniciales, más evidente en CM a nivel superficial.

Entre las dos coberturas introducidas y para las tres profundidades evaluadas, los contenidos más altos de S se produjeron en BD, mientras que CM favoreció los contenidos de P.

Ninguna de las dos coberturas evaluadas mejoró la calidad del suelo, más que la otra, ya que unas propiedades se ven favorecidas cuando el cultivo de cobertura es gramínea y otras cuando es leguminosa.

#### LITERATURA CITADA

1. Agbenin, J. y A. Tomilayo. 2005. The microbial biomass properties of a savanna soil under improved grass and legume pastures in northern Nigeria. *Ecosyst. Environ.* 109: 245-154.
2. Anderson, D.W. 1982. Soil respiration. *In*: Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.), *Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and biological properties.* ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA). pp. 831-871.
3. Anderson, J. y J. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF). Handbook of Methods.* C.A.B. International. 171 p.
4. Bravo, C., Z. Lozano, R.M. Hernández, L. Piñango y B. Moreno. 2004. Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro* 16: 163-172.
5. 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.
6. Carpenter, S.R. 1998. The need for large scale experiments to assess and predict the response of ecosystems to perturbation. *In*: *Success, limitations and frontiers in ecosystem science.* M. Pace y P. Groffman (eds.). Springer-Verlag, New York. pp. 287-312.
7. Chacón, P., D. López-Hernández y M. Lamotte. 1991. Le cycle de l'azote dans une savane à *Trachypogon* au centre du Venezuela. *Revue D'écologie et de Biologie du Sol* 28:67-75.
8. Evangelou, V. y R. Blevins. 1988. Effects of long-term tillage systems and nitrogen addition on potassium quantity-intensity relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1047-1054.
9. Guiffré, L., R. Fernández, A. Lupi, O. Heredia y C. Pascale. 2002. Efecto de diferentes técnicas de manejo de residuos de la cosecha forestal en algunas propiedades de un suelo Kandudult en el noreste argentino. *Chilean Journal of Agricultural Research* 62: 133-142.
10. 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.
11. Hernández, I. 1996. Dinámica del fósforo en una sabana de *Trachypogon* de los Llanos Altos Centrales. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela. 179 p.
12. Hernández, I. y D. López. 2002. Pérdida de nutrientes por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Rev. Biol. Trop.* 50: 1013-1019.
13. Lal, R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. II. Soil chemical properties.

- Soil Hill. Res. 42: 161-174.
14. Liebig, M.A., D.L., Tanaka y B.J. Wien-Hold. 2004. Tillage and cropping effects on soil quality in northern Great Plains. *Soil. Till. Res.* 78: 131-141.
15. Limousin, G. y D. Tessier. 2007. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. *Soil Till. Res.* 92: 167-174.
16. Lozano, Z., C. Bravo, F. Ovalles; R.M. Hernández; B. Moreno, L. Piñango y J.G. Villanueva. 2004. Selección del diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro* 16: 61-72.
17. Mármol, J.F. 1985. Concentraciones de nutrimentos minerales en el suelo y en los pastos nativos del Guárico. *Zootecnia Tropical* 1: 1-10.
18. Mc Clunt, A., L. De Freitas y W. Lott. 1959. Analyses of several Brazilian soil in relation to plant response to sulphur. *Soil Sci. Amer. Proc.* 23: 221-224.
19. Nyakatawa, E. Z., K. C. Reddy y K. R. Sistani. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical. *Soil Till. Res.* 58: 69-79.
20. Padrino, M. 2004. Dinámica de la descomposición de coberturas en un sistema conservacionista maíz-ganado del estado Guárico. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 53 p.
21. Pérez, M.J. y T.J. Smyth. 2005. Comparación del efecto de dos especies forrajeras sobre el pH de la rizosfera y disolución de rocas fosfóricas de diferente reactividad. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*: 22: 143-156.
22. Pérez, M.J. y T.J. Smyth. 2007. Eficiencia de algunas leguminosas en la utilización de fósforo proveniente de rocas fosfóricas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 24: 113-132.
23. Pérez, M.J., 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.
24. Pizarro, E.A., C.B. do Valle, G. Sélter-Grein, R. Schultze-Kraft y A.H. Zimmer. 1996. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical America-Savannas. In: Miles, Maass, do valle y Kumble (eds.). *Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement*. CIAT-Cali, Colombia/EMBRAPA-Campo Grande, Brasil. pp. 225-246.
25. Primavesi, A. 2006. Soil system management in the humid and subhumid tropic. In: Taylor y Francis (eds.). *Biological approaches to sustainable soil system*. CRC Press. pp. 15-26.
26. Sainju, U.M., B.P. Singh y W.F. Whitehead. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90: 511-518.
27. Silva, M. 2006. Efecto del uso de coberturas sobre las fracciones del fósforo asociadas a la materia orgánica en distintos agregados de un suelo del estado Guárico. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 53 p.
28. Tukey, J. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley, Reading Mass. 688 p.
29. Wedderburn, M.E. y J. Carter, 1999. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. *Soil Biol. Biochem.* 31: 455-461.
30. Zoughon, J. 2002. Cambio en las propiedades físicas y químicas de un suelo de sabana del estado Guárico, por efecto del sistema maíz (*Zea mays* L.) en siembra directa con barbechos mejorados-ganado ovino. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. 58 p.