

PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO DE SABANA LUEGO DE TRES CICLOS DE MANEJO CONSERVACIONISTA CEREAL-GANADO CON CULTIVOS DE COBERTURA

Zenaida Lozano P.¹, Rosa Mary Hernández², Carlos Bravo², Mavelys Delgado¹

¹Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela. email: lozanoz@agr.ucv.ve. ²Centro de Agroecología Tropical, Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto del tipo cobertura y la fuente de fertilización fosfórica en un sistema maíz en siembra directa - ganado bovino sobre las propiedades químicas del suelo se instaló un ensayo en un Typic Plinthustults del estado Guárico, bajo un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 2 x 4 (cobertura x fertilización) con tres repeticiones. Las coberturas fueron: *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM) y los tipos de fertilización: **Control**: sin fertilización, **BRF**: dosis baja de P como roca fosfórica (25% P₂O₅ + inoculación con micorriza), **ARF**: dosis alta de fósforo (100 % P₂O₅ como roca fosfórica) y **ARF+FD**: dosis alta de fósforo (50 % Roca fosfórica + 50% Fosfato diamónico). En cada tratamiento se tomaron muestras de suelo a tres profundidades: 0-5, 5-15 y 15-30 cm. Luego de tres ciclos completos maíz-ganado, se evaluó: pH, materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) disponibles. En la mayoría de los parámetros evaluados se presentaron diferencias estadísticas por cobertura y fertilización, con excepción de MO. El efecto sobre los nutrientes estuvo relacionado con las variaciones en el pH, a las diferencias en la extracción de nutrimentos o el aporte de biomasa en cada cobertura.

PALABRAS CLAVES: *Brachiaria dictyoneura*, Barbecho mejorado, *Centrosema macrocarpum*, sabana bien drenada, siembra directa.

INTRODUCCION

Las sabanas ocupan unas 29 x 10⁶ ha del total de tierras en Venezuela, de éstas un 52% corresponden a las sabanas bien drenadas (Ramia, 1967). Esta región se caracteriza por su uso agropecuario con pastos nativos de baja calidad y bajo valor nutritivo; por ello se han desarrollado sistemas de producción de cultivos limpios mecanizados (maíz, sorgo) utilizando los restos de cosecha para la alimentación animal en la época seca y sistemas de producción ganadera de doble propósito (leche, carne), representando el ganado de la zona el 11,1% del rebaño bovino nacional (Briceño, 2002). La baja productividad de estos sistemas se debe a las fluctuaciones climáticas, la baja fertilidad natural y degradación de los suelos, la baja calidad de los recursos forrajeros nativos, y al manejo inadecuado tanto de la vegetación nativa como de las pasturas introducidas. Las mayorías de las alternativas para aumentar la productividad están relacionadas con la agricultura conservacionista, fundamentada 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 la utilización de los barbechos mejorados como suplemento para la alimentación 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 relación con los sistemas convencionales, debido a la presencia de residuos en superficie y a la colocación de fertilizantes. Siendo de especial importancia el estudio del fósforo (P); dado su bajo contenido en los suelos de sabana y a su baja movilidad en el suelo (Lozano *et al.*, 2009). En este trabajo se pretende evaluar el efecto del tipo de cobertura y la fuente de fertilización fosfórica sobre las propiedades químicas de un suelo ubicado en las sabanas bien drenadas del estado Guárico bajo manejo de siembra directa de maíz y posterior pastoreo con ganado bovino.

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° 25' LN y 65° 25' LO, entre 80-120 msnm). La zona presenta un clima 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 °C (Bravo *et al.*, 2001). Se evaluó el efecto del tipo cobertura y la fuente de fertilización fosfórica en un sistema maíz en siembra directa - ganado bovino sobre las propiedades químicas de un suelo clasificado como Typic Plinthustults. Se usó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 2 x 4 (cobertura x fertilización), con tres repeticiones. Las coberturas fueron: *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM) y los tipos de fertilización: **Control**: sin fertilización, **BRF**: dosis baja de P como roca fosfórica (25% P₂O₅ +inoculación con micorriza), **ARF**: dosis alta de fósforo (100 % P₂O₅ como roca fosfórica) y **ARF+FD**: dosis alta de fósforo (50 % Roca fosfórica + 50% Fosfato diamónico).

Las coberturas se sembraron en el año 2002 en parcelas de 75 m por 350 m por cada cultivo de cobertura, se realizó una preparación convencional del terreno (dos pases cruzados de rastra), se aplicó roca fosfórica a razón de 300 kg.ha⁻¹, incorporada con un pase de rastra. Se usó 4 kg.ha⁻¹ de semillas de BD y 3 kg.ha⁻¹ de semillas de CM y se dejaron establecer completamente entre 2002 y 2004. A partir del año 2005 se sembró anualmente maíz en siembra directa, usando las coberturas (BD y 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 aplicó una dosis básica para el maíz de 150 kg.ha⁻¹ N – 150 kg.ha⁻¹ P₂O₅ – 100 kg.ha⁻¹ K₂O. Los tratamientos de fertilización se establecieron en parcelas de 900 m² (15 m por 60 m) cada repetición. Al término de la cosecha del maíz en cada ciclo el pastoreo fue intensivo, con la introducción en cada parcela de un rebaño de ganado bovino equivalente a 2 ua.ha⁻¹, consumiendo *ad libitum* la biomasa disponible proveniente de los residuos de cosecha del maíz y el rebrote de las coberturas. Para la selección de las dimensiones, orientación de las parcelas, número de muestras y profundidades de muestreo, antes de la instalación del ensayo se realizó un estudio de variabilidad espacial de suelos (Hernández *et al.*, 2007).

Para evaluar el efecto de los cultivos de cobertura y los tipos de fertilización sobre las propiedades químicas del suelo se realizó un muestreo al final del tercer ciclo consecutivo cereal-ganado (febrero de 2008). 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 5 cm, 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. Las muestras colectadas fueron previamente secadas al aire y tamizadas por 2 mm. Se determinó en cada muestra: **pH** en relación suelo: agua 1:1, **Materia orgánica** por combustión húmeda de Walkley

y Black con las modificaciones de Heanes (1984); **Nitrógeno inorgánico** (amoniaco + 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_3) y determinación colorimétrica por el método colorimétrico del molibdato – 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 Bremner, 1972).

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. Se destaca que la reacción del suelo es fuertemente ácida a todas las profundidades (valores de 4,75 a 5,01), con baja capacidad de retención de nutrientes evidenciada en una capacidad de intercambio catiónico entre 1,81 y 3,06 $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, debido a la textura gruesa de las capas consideradas, bajos contenidos de materia orgánica (1,04 a 1,33 %) lo cual es característico de suelos de las sabanas orientales. Los macronutrientes nitrógeno (14,30 a 20,36 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), fósforo (8,67 a 11,30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), potasio (19,12 a 41,95 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), calcio (29,74 a 57,73 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) y magnesio (32,58 a 39,94 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) son bajos, especialmente el fósforo y el calcio. En los micronutrientes cobre (0,33 a 0,47 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), zinc (0,72 a 1,31 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) y manganeso (1,11 a 5,03 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) también se presentan en valores bajos, no obstante el hierro (25,90 a 30,52 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) presenta valores medios, posiblemente debido al material parental del suelo. Con excepción del magnesio y los microelementos hierro, cobre y zinc, los mayores valores de los elementos se presentan a nivel superficial y disminuyen a medida que se profundiza el perfil. Los bajos contenidos de nutrientes 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. Para el desarrollo de cualquier cultivo se 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 nutrientes.

Luego de tres años consecutivos bajo el manejo 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 pero no con el tipo de fertilización. A todas las profundidades los mayores valores de pH se presentaron en la cobertura BD, significativamente superior a CM. 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 consiguieron mayores valores de pH en la capa superficial y con la cobertura de gramínea (BD) y el menor 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 la leguminosa 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 un flujo de H^+ a través de las raíces hacia la rizósfera para mantener la electroneutralidad de la célula, tal y como lo señalan Lozano *et al.* (2010).

La **MO** no presentó diferencias estadísticas entre tipo de cobertura o fuente de fertilización, con mayores valores a nivel superficial y va disminuyendo con la profundidad. La mayor acumulación de MO a nivel superficial en todos los tratamientos (0 a 5 cm) coincide con los

resultados reportados DeMaría *et al.* (1999) quienes lo asocian a la presencia de residuos en superficie en los sistemas de labranza conservacionista.

Cuadro 1. 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 en cada tipo de cobertura.

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

Control: sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P₂O₅ como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P₂O₅ como roca fosfórica + 50% como fosfato diámonico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P₂O₅ como roca fosfórica + inoculación con micorrizas). ¹⁾ Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas entre tipo de fertilización en una misma cobertura y profundidad (Tukey, P<0,05).

Con relación a las fuentes 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. Estas diferencias son debidas al tipo, profundidad y descomposición diferencial de las raíces de los dos tipos de cobertura, tal y como lo señala Padrino (2005).

En el contenido de N inorgánico ($N\text{-NO}_3 + N\text{-NH}_4$) se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipo de cobertura y fuente de fertilización. 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 (0 a 5 cm), los valores de N son bajos ($< 38 \text{ mg.kg}^{-1}$). En la primera y última capa los mayores valores de N se presentaron en la cobertura BD, mientras que en la segunda capa (5 a 15 cm) fue en la cobertura 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.

Con relación al P disponible, en el Cuadro 1 se puede apreciar que se presentaron diferencias estadísticas atribuibles al tipo de cobertura pero no con la fuente de fertilización, posiblemente debido a la absorción de gran parte del P aplicado al cultivo en todos los tipos de fertilización, ya que los valores son bajos en todos los casos. Los contenidos de P fueron mayores en la capa superficial (0 a 5 cm) y disminuyó 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).

El contenido de S presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) atribuidas a la cobertura, la fuente de fertilización aplicada, con valores similares a las tres profundidades consideradas. Los contenidos de sulfato en el suelo bajo estudio oscilan entre valores de 1,9 y 83,1 mg kg^{-1} , clasificados como bajos para los tratamientos BRF+M y Control en la cobertura CM a todas las profundidades y alto para el resto de los tratamientos. Los contenidos son más altos en BD, especialmente en BRF+M a todas las profundidades. A todas las profundidades los contenidos de S tuvieron la siguiente tendencia $BD > CM$.

CONCLUSIONES

En la mayoría de los parámetros evaluados se presentaron diferencias estadísticas por cobertura y fertilización, con excepción de MO. El efecto sobre los nutrientes estuvo relacionado con las variaciones en el pH, a las diferencias en la extracción de nutrimentos o el aporte de biomasa en cada cobertura. Algunas propiedades del suelo se ven favorecidas cuando el cultivo de cobertura es una gramínea y otras cuando es una leguminosa. La cobertura CM produjo incrementos en la MO; mientras que BD produjo aumentos en el pH e incremento en los contenidos de P y S.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J.; 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; 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.
- 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; 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. O. Briceño, J.G. Villanueva, C. Bravo, R.M. Hernández, B. Moreno, 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.
- Lozano, Z., A. Mogollón, R.M. Hernández, C. Bravo, A. Ojeda, A. Torres, C. Rivero, M. Toro.** 2010. Cambio en las propiedades químicas de un suelo de sabana por la introducción de pasturas mejoradas. *Bioagro* 22:135-144.
- 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.
- Ramia, M.** 1967. Tipos de sabanas en los Llanos de Venezuela. *Bol. Soc. Venezolana Cienc. Nat.* 112:264-288.
- Watanabe, F y S. Olsen.** 1965. Test of acid ascorbic methods for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29:677 - 678.
- 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.
- Tabatabai, M. y J. Bremner.** 1972. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soils profiles. *Agron. J.* 64: 40 - 44.
- Nelson, D. W.; 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.* 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA). pp. 961-1010.
- 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.