

# Análisis del componente suelo en sistemas silvopastoriles establecidos y sistemas tradicionales en fincas ganaderas de piedemonte casanareño\*

*Analysis of the Soil Component in Established Silvopastoral Systems and Traditional Systems at Casanare Foothill Farms*

ANDRÉS PÁEZ MARTÍNEZ

Biólogo, PhD. Docente investigador, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

apaez@unisalle.edu.co

ÁLVARO MAURICIO BUSTAMANTE LOZANO

Físico, MSc. Docente investigador, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

abustamante@unisalle.edu.co

JOSÉ EDILSON ESPITIA BARRERA

Biólogo. Licenciado en Educación. Director del Museo de La Salle, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

jespitia@lasalle.edu.co

ESTRELLA CÁRDENAS CASTRO

Bióloga, MSc. Docente investigadora, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

ecardenas@unisalle.edu.co

## RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar física y químicamente el suelo antes del establecimiento de sistemas silvopastoriles y después de este en 5 fincas ganaderas del piedemonte casanareño. El laboreo de los suelos se realizó con arado y rastrillado, y, posteriormente, estos se fertilizaron con 257 kilogramo por hectárea (kg/ha) de cal dolomita y 428 kg/ha de abono fosforado. En el lote experimental de cada finca se sembraron 4 especies de pastos y 4 especies de árboles. En cada muestra de suelo se analizaron los siguientes aspectos: granulometría, acidez, aluminio intercambiable, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y elementos como

RECIBIDO: 11/03/2014. APROBADO: 10/05/2014

— Cómo citar este artículo: Páez Martínez, A., Bustamante Lozano, A. M., Espitia Barrera, J. E. y Cárdenas Castro, E. (2014). Análisis del componente suelo en sistemas silvopastoriles establecidos y sistemas tradicionales en fincas ganaderas de piedemonte casanareño. *Revista Ciencia Animal* (8), 7-19.

— \* Artículo producto de la investigación *Establecimiento y evaluación de modelos de manejo integrado reproductivo y nutricional con base en arreglos silvopastoriles en bovinos productores de carne para el piedemonte casanareño*, con el código MARD 2008H1574, fue financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y constaba de 2 proyectos: el primero, con código 2008H1574-3509, y el segundo, con código 2008H1574-3511.

8

calcio, magnesio, potasio, sodio, manganeso, hierro, zinc, cobre, boro, azufre y fósforo. Los suelos en el área de estudio son ácidos, con cantidades de hierro extremadamente altas, pobres en materia orgánica y micronutrientes (como son todos los suelos del escudo guyanés). En el lote experimental de las 5 fincas ganaderas se observó una leve disminución en la acidez y un leve aumento en los porcentajes de saturación de bases y de materia orgánica; posiblemente ocasionados por los fertilizantes adicionados. Aunque se observaron leves mejoras en los indicadores de fertilidad en el suelo de los lotes experimentales, es necesario hacer un tratamiento y seguimiento prolongado para establecer mejorías en los indicadores de fertilidad, las cuales se pueden aumentar mediante el uso de fertilizantes orgánicos en conjunto con el establecimiento de sistemas silvopastoriles.

**Palabras clave:** sistema silvopastoril, fertilidad del suelo, análisis químico, piedemonte casanareño.

## ABSTRACT

The aim of this study is to physically and chemically analyze soil before and after the establishment of silvopastoral systems in five cattle farms in the Casanare piedmont. Soil tillage with plow and rake was performed, and then soil was fertilized using 257 kg per hectare (kg/ha) of dolomite lime and 428 kg/ha of phosphorus fertilizer. In the experimental lot of each farm, four species of grasses and three species of trees were planted. In each soil sample the following aspects were analyzed: particle size distribution, acidity, exchangeable aluminum, organic matter, cation exchange capacity (CEC), and elements such as calcium, magnesium, potassium, sodium, manganese, iron, zinc, copper, boron, sulfur, and phosphorus. Soils in the study area are acidic, with extremely high amounts of iron, and poor in organic matter and micronutrients (such as all soils of the Guyana Shield). In the experimental lots of the five cattle farms, a slight decrease in acidity and a slight increase in the percentage of base saturation and organic matter were observed, possibly caused by the addition of fertilizers. Although slight improvements were observed in the indicators of soil fertility in the experimental lots, a prolonged treatment and monitoring are necessary to establish improvements in fertility indicators, which can be increased using organic fertilizers in conjunction with the establishment of silvopastoral systems.

**Keywords:** Silvopastoral systems, soil fertility, chemical analysis, Casanare piedmont.

## Introducción

En Colombia, la región de la Orinoquía está localizada entre el escudo de la Guayana, en el lado oriental de la cordillera Oriental, y abarca los departamentos de Arauca, Vichada, Casanare y Meta. En esta región predominan sedimentos cuaternarios sobre los cuales se han propagado tres tipos de paisajes: piedemonte,

llanuras aluviales inundables y altillanura. Los tipos dominantes de suelo son oxisoles, ultisoles y espodosoles, muy transformados, poco fértiles, ferrosos y ácidos. En esta región predomina el bioma de sabanas tropicales cubiertas de gramíneas de los géneros *Trachypogon*, *Andropogon*, *Axonopus*, *Paspalum* y *Leptocoryphium* (Malagón-Castro, 2003).

En la fracción de arcilla de estos suelos se encuentran variados minerales secundarios, los cuales se clasifican en silicatos y no silicatos. Los primeros incluyen caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita, alofán, entre otros, y existe gran variación en la plasticidad, la cohesión, la adhesión y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y otras propiedades. Los no filosilicatos incluyen cuarzo y otras formas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), óxidos e hidróxidos de hierro (como hematita y geotita), óxidos e hidróxidos de aluminio (como gibbsita y carbonato de calcio). Parte del material mineral de la arcilla de los suelos es cristalino, y otra parte, amorfo suelo, según Soil Survey Staff (1999).

En la fracción de arena y limo de estos suelos las partículas de arena son casi siempre fragmentos de roca, principalmente cuarzo, y además existen una gran variedad de otros minerales primarios. La composición mineralógica de estas fracciones depende del tipo de roca madre y el grado de meteorización. El limo está constituido por materiales heredados o transformados, pero no tiene carácter coloidal. Es una fracción donde las transformaciones son mayores y su composición mineralógica se parece a la de las arcillas. Son partículas monominerales donde hay un alto contenido de filosilicatos de transformación o neoformación de suelo de acuerdo con Soil Survey Staff (1999).

En cuanto a los microelementos o elementos menores de los suelos, son nutrientes esenciales que las plantas requieren en pequeñas cantidades. Los elementos hierro, manganeso, cobre, zinc, boro y molibdeno desempeñan un papel importante en procesos metabólicos y enzimáticos de las plantas (International Plant Nutrition Institute [IPNI], 2009; Fancelli, 2006). El magnesio activa la formación de la clorofila, sirve como activador enzimático y participa en el proceso fotosintético, y el hierro actúa como transportador de electrones en el proceso de fotosíntesis. Los criterios mediante los cuales se puede considerar un elemento como esencial para cualquier vegetal lo ha expresado Epstein (1972) mediante 2 premisas principales: a) un elemento es esencial si un vegetal no puede completar su ciclo de vida en ausencia de este, y b) un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta que es, en sí mismo, esencial para esta.

La capacidad que tienen los vegetales de obtener nutrientes esenciales del suelo es de gran importancia para determinar dónde pueden crecer. Aunque se conoce mucho sobre la nutrición mineral de plantas cultivadas, no se sabe casi nada sobre las especies silvestres. La mayor parte de los árboles y plantas nativas crecen en suelos poco fértiles, esas especies son buenas competidoras en su

10

medio natural donde el crecimiento es habitualmente lento. Las plantas responden a una aportación insuficiente de un elemento esencial, presentan unos síntomas de deficiencia característicos. Esos síntomas son apreciables a simple vista, e incluyen la disminución del crecimiento en las raíces, los tallos y las hojas (Chapin, 1987).

El pH del suelo está influenciado por la composición de los cationes de intercambio, la composición y la concentración de las sales solubles, y la presencia o ausencia de yeso y carbonatos de metales alcalinotérreos. Cuando el anión acompañante es carbonato ácido o carbonato, resulta un pH entre 8,5 y 11. Los suelos cuyo pH es inferior a 7,5 casi nunca contienen carbonatos de metales alcalinotérreos y si el pH es menor de 7, el suelo seguramente contendrá una proporción de hidrógeno de intercambio. El pH del suelo está directamente relacionado con el porcentaje de saturación de acidez (SA), ya que el aluminio intercambiable se precipita cuando el pH es superior a 5,5. Cuando el pH está por debajo de ese valor, el aluminio incrementa su solubilidad y, con ello, el riesgo de causar toxicidad en las raíces (Espinosa y Molina, 1999). Un pH del suelo inferior a 5 se considera muy ácido y afecta la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), reduciendo la disponibilidad de macronutrientes para el buen desarrollo

de las plantas. El pH óptimo del suelo debe estar entre 6 y 7, aunque muchos cultivos de origen tropical crecen bien en suelos de pH entre 5,5 y 6 (Espinosa y Molina 1999; Instituto Geográfico Agustín Codazzi IIGACI, 2006).

La acidez intercambiable está directamente relacionada con pH ácidos del suelo entre 5 y 5,3. Cuando el valor de acidez intercambiable es mayor a 0,5 cmol(+)/l, algunas plantas pueden presentar problemas moderados de crecimiento, y un contenido mayor a 1 cmol(+)/l se considera muy alto. El valor óptimo de acidez intercambiable debe ser inferior a 0,3 cmol(+)/l. Cada cultivo, variedad o cultivar tiene su grado de tolerancia a la acidez, lo cual depende de las características genéticas de la planta. La SA se calcula empleando la siguiente ecuación:  $\% SA = \text{Ac. Int} / \text{CICE} \times 100$ . Donde la capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE) representa la sumatoria de calcio, magnesio, potasio, aluminio e hidrógeno (Ca + Mg + K + Al + H). Es común aceptar que valores de SA mayores al 10% afectan negativamente el crecimiento de especies vegetales poco tolerantes a la presencia de aluminio, mientras que el valor de 60% se considera el máximo para especies tolerantes a la acidez del suelo. El valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10% y 25% (Espinosa y Molina, 1999).

El contenido de bases intercambiables (calcio, magnesio y potasio) definen, en gran parte, la fertilidad del suelo; en especial, los 2 primeros. Los suelos fértiles se caracterizan por altos contenidos de calcio y magnesio, mientras que los suelos muy ácidos generalmente presentan deficiencias de estos 2 elementos. Por lo anterior, entre más alto sea el contenido de calcio y magnesio, mayor es la fertilidad del suelo. Si un suelo presenta una sumatoria de sus bases intercambiables menor de 5 cmol(+)/l, su fertilidad se considera baja; si esta sumatoria está entre 5 y 12 cmol(+)/l, su fertilidad es media, y si esta sumatoria está por encima de 12 cmol(+)/l, su fertilidad es alta. El establecimiento de las relaciones catiónicas de los suelos es importante en el sentido de encontrar relaciones óptimas entre calcio, magnesio y potasio, o determinar si existe algún desequilibrio.

Por lo general, el antagonismo principal que se presenta está en la relación entre calcio o magnesio con respecto a potasio. En algunos casos, el contenido alto de un elemento podría resultar fitotóxico para la mayoría de las plantas, por ejemplo en el caso de la acidez intercambiable y el porcentaje de SA. Por otra parte, la alta concentración de un elemento puede afectar en forma negativa la absorción de otro, como es el caso de las relaciones antagonicas entre calcio, magnesio y potasio (Espinosa y Molina, 1999).

La CIC se define como intercambio iónico a los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, por lo que se establece un equilibrio entre ambas fases. Es un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas. Como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable, constituyen la reserva de nutrientes para las plantas. Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo. Para neutralizar las cargas, se adsorben iones, que se “pegan” a la superficie de las partículas. Quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo. Cuanto más superficie tenga el material y más desequilibrada se encuentre, más iones se fijarán. Según se intercambien cationes o aniones, se habla de CIC (es el más importante) o aniónico, respectivamente (Espinosa y Molina, 1999).

En el presente estudio se hace un análisis del componente estructural de los suelos en sistemas silvopastoriles que fueron establecidos en 5 fincas ganaderas del piedemonte casanareño con la finalidad de incrementar la productividad. El componente estructural de los suelos en los mencionados sistemas silvopastoriles es comparado con aquellos de sistemas

12

tradicionales en la misma región, en los cuales no se ha realizado intervención alguna. Los resultados y los análisis expuestos en el presente estudio aportan criterios de importancia en futuros procesos de mejora de suelos en el área de estudio con miras a incrementar la producción de pasturas con la consecuente mejora de la producción ganadera.

## Materiales y métodos

El programa de investigación *Establecimiento y evaluación de modelos de manejo integrado reproductivo y nutricional con base en arreglos silvopastoriles en bovinos productores de carne para el piedemonte casanareño*, con el código MARD 2008H1574, fue financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y constaba de 2 proyectos; el primero, con código 2008H1574-3509, y el segundo, con código 2008H1574-3511. Dentro de los objetivos del primero estaba la preparación del suelo y la siembra de las diferentes especies de pastos, y dentro de los objetivos del segundo proyecto estaba la toma y el análisis de suelos antes y después del establecimiento de los sistemas silvopastoriles.

Los suelos de los lotes experimentales se prepararon bajo la dirección de los investigadores del proyecto 2008H1574-3509, *Evaluación de un modelo de manejo nutrición-reproducción integrado al establecimiento de sistemas agroforestales, en el*

*piedemonte casanareño*; al suelo se le hizo arado y rastrillado y se le aplicó 257 kilogramos por hectárea (kg/ha) de cal dolomita y 428 kg/ha de abono fosforado.

Después de la preparación del suelo, se sembraron 4 especies de pastos y 3 especies de leguminosas arbóreas utilizando una sembradora de arroz. Los 4 tipos pastos y las respectivas cantidades de semilla utilizada para la siembra fueron: Mombasa: 10,5 kg/ha; Toledo: 14 kg/ha; Decumbens: 3,5 kg/ha; Llanero: 14 kg/ha. Los lotes tradicionales de cada finca estaban sembrados con *Brachiaria humidicola*. Adicionalmente, de acuerdo con el diseño establecido para las parcelas, en los lotes experimentales en cada finca se sembraron 3 especies de árboles: *Anadenanthera peregrina* (L.) (yopo): 20 unidades por finca; *Pithecellobium guachapele* (Kunth) (nauno): 20 unidades por finca, y *Acacia mangium* (Willd) (acacia): 40 unidades por finca.

Dentro de los objetivos del proyecto 2008H1574-3511, *Determinación del impacto ambiental de dos sistemas agroforestales de producción de recursos forrajeros y de las praderas tradicionales destinados al mantenimiento de bovinos productores de carne en el piedemonte casanareño*, estaba la toma de muestras de suelo y su posterior análisis; para esto, se tomaron 3 muestras de suelo en cada lote (lote experimental y lote control) en cada una de las 5 fincas ganaderas antes del

establecimiento de los sistemas silvopastoriles. Adicionalmente, se tomaron otras 3 muestras después de 24 meses en los mismos lugares del muestreo inicial. Las muestras se transportaron al Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), donde se determinaron, utilizando metodologías estandarizadas por este laboratorio, las características físicas y químicas, como granulometría, acidez, aluminio intercambiable, materia orgánica, CIC y elementos como calcio, magnesio, potasio,

sodio, manganeso, hierro, zinc, cobre, boro, azufre y fósforo. En este artículo se presentan los resultados de estos análisis del suelo antes de 24 meses del establecimiento de los sistemas silvopastoriles en el área de estudio y después de estos.

## Resultados y discusión

Se observan leves variaciones en los porcentajes del contenido de arena, limo y arcilla (tablas 1 y 2). Estas diferencias probablemente no son consecuencia de

Tabla 1. Características físicas del suelo antes del establecimiento del sistema silvopastoril en fincas ganaderas de Yopal y Aguazul (enero de 2009)

<i>Lote tradicional (L2) n = 3</i>				
<i>Finca</i>	<i>Profundidad (cm)</i>	<i>Porcentaje arena</i>	<i>Porcentaje limo</i>	<i>Porcentaje arcilla</i>
		<i><math>\bar{x} \pm \text{error estándar}</math> (<math>p = 0,05</math>)</i>	<i><math>\bar{x} \pm \text{error estándar}</math> (<math>p = 0,05</math>)</i>	<i><math>\bar{x} \pm \text{error estándar}</math> (<math>p = 0,05</math>)</i>
Berlín	0-20	29,50 ± 8,40	36,2 ± 8,70	30,8 ± 2,90
Campo Alegre	0-20	31,83 ± 12,25	27,5 ± 8,60	24,76 ± 7,23
Cartagena	0-20	35,50 ± 20,76	36,26 ± 10,20	28,26 ± 10,65
La Arenosa	0-20	29,20 ± 5,94	38,4 ± 9,81	32,4 ± 11,56
Mata de Pantano	0-20	31,80 ± 12,20	27,5 ± 8,60	24,77 ± 7,20
<i>Sitio del lote experimental (L1) n = 5</i>				
<i>Finca</i>	<i>Profundidad (cm)</i>	<i>Porcentaje arena</i>	<i>Porcentaje limo</i>	<i>Porcentaje arcilla</i>
		<i><math>\bar{x} \pm \text{error estándar}</math> (<math>p = 0,05</math>)</i>	<i><math>\bar{x} \pm \text{error estándar}</math> (<math>p = 0,05</math>)</i>	<i><math>\bar{x} \pm \text{error estándar}</math> (<math>p = 0,05</math>)</i>
Berlín	0-20	41,82 ± 8,21	34,52 ± 7,08	23,66 ± 3,82
Campo Alegre	0-20	58,44 ± 14,75	19,76 ± 6,21	21,74 ± 9,26
Cartagena	0-20	55,40 ± 7,90	25,3 ± 5,00	19,3 ± 3,30
La Arenosa	0-20	68,58 ± 15,36	19,36 ± 9,06	12,06 ± 6,34
Mata de Pantano	0-20	58,4 ± 14,70	19,7 ± 6,21	21,74 ± 9,20

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Características físicas de suelo a 24 meses del establecimiento del sistema silvopastoril en fincas ganaderas de Yopal y Aguazul (enero de 2011)

Finca	Profundidad (cm)	Lote tradicional (L2) n = 3		
		Porcentaje arena	Porcentaje limo	Porcentaje arcilla
		$\bar{x} \pm \text{error estándar}$ (p = 0,05)	$\bar{x} \pm \text{error estándar}$ (p = 0,05)	$\bar{x} \pm \text{error estándar}$ (p = 0,05)
Berlín	0-20	28,43 ± 19,77	42,50 ± 9,98	29,13 ± 10,43
Campo Alegre	0-20	47,26 ± 16,16	30,40 ± 9,77	22,33 ± 6,96
Cartagena	0-20	20,70 ± 7,29	45,93 ± 1,05	33,33 ± 7,29
La Arenosa	0-20	20,96 ± 3,11	46,53 ± 5,53	32,53 ± 6,91
Mata de Pantano	0-20	43,53 ± 4,99	39,8 ± 2,29	16,66 ± 3,37
Finca	Profundidad (cm)	Lote experimental (L1) n = 5		
		Porcentaje arena	Porcentaje limo	Porcentaje arcilla
		$\bar{x} \pm \text{error estándar}$ (p = 0,05)	$\bar{x} \pm \text{error estándar}$ (p = 0,05)	$\bar{x} \pm \text{error estándar}$ (p = 0,05)
Berlín	0-20	46,43 ± 5,19	36,96 ± 3,37	16,63 ± 1,93
Campo Alegre	0-20	41,83 ± 2,17	35,20 ± 2,07	23,00 ± 0,09
Cartagena	0-20	44,10 ± 3,87	36,46 ± 2,23	19,46 ± 2,26
La Arenosa	0-20	69,06 ± 15,12	20,50 ± 13,4	10,43 ± 1,93
Mata de Pantano	0-20	44,16 ± 11,61	36,36 ± 11,34	19,46 ± 4,08

Fuente: elaboración propia.

la intervención realizada ya que las características físicas del suelo difícilmente cambian en lapsos de tiempo cortos. En el periodo (24 meses) de duración de este estudio no es posible afirmar que la textura del suelo haya sufrido cambios significativos por la implantación de un sistema silvopastoril. Por lo anterior, resulta prematuro observar un cambio en esta variable en tan corto tiempo.

En las tablas 3 y 4 se observa que, después de 24 meses de la implantación de

los sistemas silvopastoriles, el contenido de materia orgánica sigue siendo bajo en los lotes experimentales, lo mismo que el pH, lo cual demuestra que las cantidades de cal dolomita y abono fosforado no fueron suficientes para causar un efecto significativo en el cambio de las condiciones químicas de estos suelos. Similares observaciones han sido reportadas en estudios de mejoramiento de suelos de la altillanura plana de los Llanos Orientales colombianos (Rincón-Castillo, 2004). Además, la acidez intercambiable,

Tabla 3. Características químicas del suelo antes del establecimiento del sistema silvopastoril en fincas ganaderas de Yopal y Aguazul (enero de 2009)

Finca	Profundidad (cm)	Lote tradicional (L2) n = 3 promedio ± error estándar (p = 0,05)							
		Materia orgánica		pH	Al (meq/100 g)	(%) SAI	Fe (ppm)	Mn (ppm)	P (ppm)
		% CO	% N total						
Berlín	0-20	0,75 ± 0,04	0,07 ± 0,01	4,50 ± 0,1	4,5 ± 0,6	90,9 ± 5,54	45,06 ± 3,20	17,33 ± 2,19	0,35 ± 0,36
Campo Alegre	0-20	1,31 ± 0,54	0,12 ± 0,04	4,63 ± 0,28	1,9 ± 0,57	46,33 ± 31,17	118 ± 6,18	9,96 ± 2,24	4,03 ± 2,34
Cartagena	0-20	0,98 ± 0,13	0,09 ± 0,01	4,86 ± 0,10	2,26 ± 0,73	42,46 ± 8,51	158 ± 21,77	24,53 ± 16,54	19,23 ± 8,94
La Arenosa	0-20	0,73 ± 0,12	0,07 ± 0,01	4,93 ± 0,23	2,23 ± 0,10	46,66 ± 12,46	76,33 ± 1,96	13,63 ± 7,06	14,4 ± 9,73
Mata de Pantano	0-20	1,32 ± 0,54	0,12 ± 0,04	4,6 ± 0,29	1,9 ± 0,57	46,33 ± 31,7	118 ± 6,19	9,97 ± 2,25	4,03 ± 2,4
Finca	Profundidad (cm)	Sitio del lote experimental (L1) n = 5 promedio ± error estándar (p = 0,05)							
		Materia orgánica		pH	Al (meq/100 g)	(%) SAI	Fe (ppm)	Mn (ppm)	P (ppm)
		% CO	% N total						
Berlín	0-20	0,66 ± 0,08	0,06 ± 0,00	4,58 ± 0,11	3,24 ± 0,36	90,34 ± 5,45	88,74 ± 19,93	8,64 ± 5,02	0,21 ± 0,26
Campo Alegre	0-20	1,296 ± 0,32	0,12 ± 0,03	4,78 ± 0,13	1,92 ± 0,73	43,42 ± 7,95	126,8 ± 30,22	8,8 ± 2,45	12,94 ± 16,2
Cartagena	0-20	0,8 ± 0,1	0,07 ± 0,01	4,9 ± 0,1	1,8 ± 0,4	50,0 ± 9,8	142,8 ± 22,2	14,0 ± 6,7	8,3 ± 3,3
La Arenosa	0-20	0,60 ± 0,33	0,05 ± 0,03	4,94 ± 0,14	2,04 ± 0,90	84,4 ± 3,58	101,2 ± 11,98	3,96 ± 2,55	26,04 ± 22
Mata de Pantano	0-20	1,296 ± 0,32	0,12 ± 0,03	4,78 ± 0,13	1,9 ± 0,73	43,42 ± 7,95	126,8 ± 30,22	8,8 ± 2,45	12,94 ± 16,2

CO: carbono orgánico; Al: aluminio intercambiable; SAI: saturación de acidez intercambiable.

Fuente: elaboración propia.

la saturación de bases y los contenidos de hierro, magnesio y fósforo tampoco varían significativamente entre los lotes experimentales y los lotes tradicionales. No obstante, 24 meses posteriores a la implantación del sistema silvopastoril,

en los lotes experimentales se observa una leve mejoría en las condiciones del pH (figura 1) y un aumento en fósforo y magnesio en algunos lotes experimentales, lo que puede ser efecto del tratamiento inicial. Es probable que con el

Tabla 4. Valores promedio de características químicas del suelo a 24 meses del establecimiento del sistema silvopastoril en fincas ganaderas de Yopal y Aguazul (enero de 2011)

Finca	Profundidad (cm)	Lote tradicional (L2) n = 3 Promedio ± error estándar (p = 0,05)							
		Materia orgánica		pH	Al (meq/100 g)	(%) SAI	Fe (ppm)	Mn (ppm)	P (ppm)
		% CO	% N total						
Berlín	0-20	1,1 ± 0,33	0,18 ± 0,04	4,7 ± 0,16	3,03 ± 1,46	71,26 ± 13,3	123,03 ± 57,6	19,96 ± 12,7	2,9 ± 1,4
Campo Alegre	0-20	1,86 ± 0,55	0,26 ± 0,05	4,7 ± 0,10	2,2 ± 1,24	38 ± 11,9	187,66 ± 39,9	31,76 ± 23,2	7,03 ± 5,3
Cartagena	0-20	1,6 ± 0,37	0,11 ± 0,08	4,9 ± 0,10	2,13 ± 0,23	41,86 ± 9,7	220,33 ± 74,9	59,5 ± 24	5,76 ± 1,8
La Arenosa	0-20	1 ± 0,16	0,15 ± 0,02	4,8 ± 0,10	2,40 ± 0,66	53,1 ± 11,3	112,33 ± 48,9	16,66 ± 8,4	14,96 ± 15
Mata de Pantano	0-20	1,36 ± 0,05	0,15 ± 0,08	5,0 ± 0,05	0,87 ± 0,11	28,26 ± 9,2	164 ± 18,6	23,066 ± 13,6	4,96 ± 1,4
Finca	Profundidad (cm)	Lote experimental (L1) n = 5 Promedio ± error estándar (p = 0,05)							
		Materia orgánica		pH	Al (meq/100 g)	(%) SAI	Fe (ppm)	Mn (ppm)	P (ppm)
		% CO	% N total						
Berlín	0-20	0,76 ± 0,24	0,12 ± 0,04	4,8 ± 0,14	1,66 ± 0,42	55,6 ± 17,05	106,43 ± 35,6	6,66 ± 1,77	2,83 ± 0,47
Campo Alegre	0-20	2 ± 0,24	0,17 ± 0,04	5,2 ± 0,09	0,48 ± 0,29	7,73 ± 6,49	193,66 ± 16,7	60,46 ± 51,1	5,16 ± 2,17
Cartagena	0-20	1,6 ± 0,28	0,26 ± 0,15	5,1 ± 0,05	0,97 ± 0,13	21,33 ± 1,59	192,33 ± 9,9	13,23 ± 3,7	19,8 ± 10,4
La Arenosa	0-20	1,00 ± 0,23	0,14 ± 0,02	5,0 ± 0,00	0,73 ± 0,21	33,16 ± 4,93	145,66 ± 17,5	6,56 ± 0,8	24,86 ± 15,2
Mata de Pantano	0-20	1,83 ± 0,51	0,21 ± 0,01	5,1 ± 0,23	0,9 ± 0,61	25,93 ± 24,75	61,4 ± 52,7	13,66 ± 3,4	17,16 ± 24,14

CO: carbono orgánico; Al: aluminio intercambiable; SAI: saturación de acidez intercambiable.

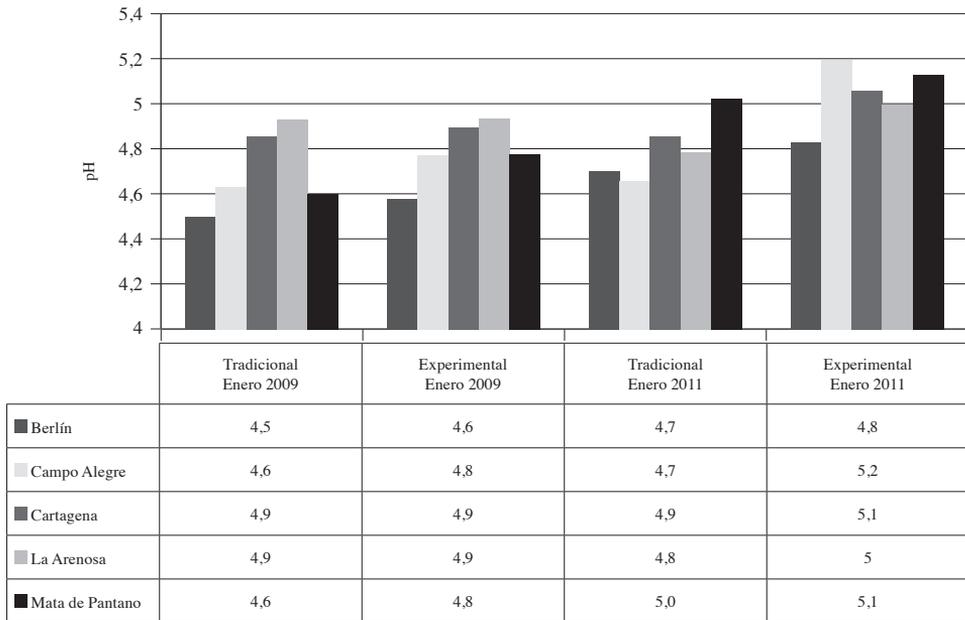
Fuente: elaboración propia.

tiempo las características se mantengan en estas condiciones debido a la implementación de los sistemas; sin embargo, es necesario analizar este aspecto en el tiempo.

## Conclusiones

Los suelos en el área de estudio son ácidos, con niveles de hierro extremadamente altos y pobres en materia or-

Figura 1. Efecto del establecimiento de sistemas silvopastoriles sobre el pH del suelo



Fuente: elaboración propia.

gánica como son los suelos del Escudo Guyanés. En el lote experimental de las 5 fincas ganaderas, se observó una leve disminución en la acidez probablemente como consecuencia de los fertilizantes adicionados en la preparación del suelo. El mejoramiento de algunas variables en los suelos, como el contenido de materia orgánica y el porcentaje de saturación de bases, podría evidenciarse con el transcurrir del tiempo y como consecuencia de la disminución de la acidez, lo cual está de acorde con estudios anteriores, como los realizados por Rincón-Castillo (2004).

Con la finalidad de elevar el pH en estos suelos, necesitan ser tratados con una mayor cantidad de cal dolomita como lo recomiendan Espinosa y Molina (1999) y, por consiguiente, es necesario realizar un seguimiento prolongado a los análisis químicos de los suelos del área con el fin de establecer con certeza la evolución de los indicadores de fertilidad. Los suelos de la Orinoquía colombiana, por sus características físico-químicas, son poco aprovechables para la agricultura y la ganadería intensiva. Estos suelos requieren intervenciones intensivas de mejoramiento de la fertilidad con la fi-

alidad de darles un aprovechamiento óptimo que permita el mantenimiento de una ganadería sostenible en todas las épocas del año.

## Agradecimientos

Especiales agradecimientos al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a la Universidad de La Salle y al Comité Departamental de Ganaderos de Casanare por la financiación del proyecto *Determinación del impacto ambiental de dos sistemas silvopastoriles de producción de recursos forrajeros y de praderas tradicionales destinados al mantenimiento de bovinos productores de carne en el piedemonte casanareño 2008MARD-3511*.

A los propietarios y administradores de las fincas que hicieron parte del programa de investigación: Rodrigo Prieto y Fredy Barragán, de la Finca Cartagena; Rafael Riberos y José Díaz, de la Finca Berlín; Norberto Márquez y Pedro Saaavedra, de la Finca Campo Alegre; Alfredo Gutiérrez Méndez y Duma Moreno, de la Finca La Arenosa, y a la Universidad de La Salle y Javier Hernando Díaz, de la Finca Matadepantano; quienes participaron en la siembra y el cuidado de praderas experimentales del programa de investigación.

## Referencias

- Chapin, F. S. (1987). Adaptations and physiological responses of wild plants to nutrient stress. En H. W. Gabelman y B. C. Loughman (Eds.), *Genetic aspects of plants mineral nutrition* (pp. 15-25). Boston: Martinus Nijhoff.
- Epstein, E. (1972). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspective* (pp. 325-344). New York: Wiley John and Sons.
- Espinosa, J. y Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos* (1ª ed.). Quito: International Plant Nutrition Institute.
- Fancelli, A. (2006). Micronutrientes en la fisiología de las plantas. En M. Vázquez (Ed.), *Micronutrientes en la agricultura* (pp. 11-27). Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1999). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación y uso*. Bogotá: IGAC-subdirección de Agrología, Canal Ramírez Antares.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (6ª ed.). Bogotá: IGAC-subdirección de Agrología, Imprenta Nacional de Colombia.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (2009). *Nutrient stewardship framework for developing and delivering fertilizer best management practices*. Paris: International Fertilizer Industry Association.

Malangón-Castro, D. (2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos: énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, XXVII (104), 319-341.

Rincón-Castillo, A. (2004). Rehabilitación de pasturas y producción animal en *Bra-*

*chiaria decumbens* en la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia. *Pasturas Tropicales*, 26, 2-12.

Soil Survey Staff. (1999). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys* (2<sup>nd</sup> ed.). Washington: United States Department of Agriculture (USDA).

