

# COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO CON DIFERENTE SISTEMA SILVOPASTORIL EN LA LLANURA NORTE DE NAYARIT

J. Bugarín<sup>✉</sup>, J. I. Bojórquez, C. Lemus, R. M. Murray, A. Hernández, H. Ontiveros y J. Aguirre

**ABSTRACT.** A silvopastoral system was established on a haplic (eutric, cromic) Cambisol in the northern coastal plain of Nayarit. The application of silvopastoral system for ovine production was evaluated and its impact on soil properties. Treatments were *Leucaena leucocephala*+*Brachiaria brizantha* (T1), *L. glauca*+*B. brizantha* (T2), *L. leucocephala*+*Clitoria ternatea*+*B. brizantha* (T3), *L. glauca*+*C. ternatea*+*B. brizantha* (T4) and *B. brizantha* (T5), arranged in randomized blocks with four repetitions of 256 m<sup>2</sup> each. The experiment was settled in October, 2007 with irrigation and without fertilizers, according to the season. The soil was characterized at the beginning and its physicochemical properties were determined. In the upper 20 cm, bulk density was 1.33 Mg.m<sup>-3</sup>, moisture 12.83 %, pH 6.3 and low organic matter content (1.68 %). Five evaluations were performed for bulk density, pH and organic matter content; samples were taken with vegetation cover and without it, regarding the treatments. The main results indicate a bulk density increment and no statistical differences among treatments when finishing the evaluation; pH increased towards more neutral values and also organic matter content, in which arboreous and herbaceous leguminous were mostly employed, as well as pasture (LGCB treatment); arboreous leguminous disappeared at the end of the experiment, so that it had a negative influence on the results. The use of silvopastoral systems is recommended as a mechanism to decrease soil degradation, considering the characteristics of the species to be established and the land.

**Key words:** agrosilvopastoral systems, legumes, soil chemico-physical properties, soil compaction, soil improvement

**RESUMEN.** Se estableció un sistema silvopastoral en un suelo Cambisol, háplico (éutrico, crómico) en la llanura costera norte de Nayarit. Se evaluó el uso de los sistemas silvopastoriles para la producción ovina y su influencia sobre las propiedades del suelo. Los tratamientos fueron *Leucaena leucocephala*+*Brachiaria brizantha* (LLB), *L. glauca*+*B. brizantha* (LGB), *L. leucocephala*+*Clitoria ternatea*+*B. brizantha* (LLCB), *L. glauca*+*C. ternatea*+*B. brizantha* (LGCB) y *B. brizantha* (BB), distribuidos en bloques al azar, con cuatro repeticiones de 256 m<sup>2</sup> cada uno. El establecimiento fue en octubre del 2007, por la época se utilizó riego y sin fertilización. Inicialmente se caracterizó al suelo y se midieron las propiedades físico-químicas. La densidad de volumen en los primeros 20 cm fue de 1.33 Mg.m<sup>-3</sup>, 12.83 % W (humedad del suelo), pH de 6.3 y bajo contenido de materia orgánica (1.68 %). Se realizaron cinco evaluaciones para la densidad de volumen, el pH y la materia orgánica; las muestras se tomaron bajo cobertura vegetal y sin ella, teniendo en cuenta los tratamientos. Los principales resultados indican un aumento en la densidad de volumen, sin existir diferencias estadísticas entre tratamientos al final de la evaluación; se apreció un incremento del pH hacia valores más neutros y, de igual forma, en el contenido de materia orgánica, donde se utilizaron principalmente las leguminosas arbórea y herbácea, y el pasto (LGCB); la arbórea desapareció al final del experimento, lo que influyó negativamente en los resultados. Se recomienda el uso de sistemas silvopastoriles como mecanismo para reducir la degradación del suelo, considerando las características de las especies a establecer y el terreno.

**Palabras clave:** sistemas agrosilvopascícolas, leguminosas, propiedades físico-químicas suelo, compactación del suelo, mejora de suelos

## INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo en la zona de Centroamérica y el Caribe tuvo un aumento de 24.8 % en el período de 1945-1990 (1), debido a un uso inadecuado, lo cual disminuye la productividad y aumenta la pérdida gradual en su fertilidad (2).

El estado de Nayarit, México, de vocación agropecuaria y forestal, no es la excepción, pues los suelos de la llanura costera presentan problemas de compactación, mal drenaje y baja fertilidad, debido a una

Ms.C. J. Bugarín, Profesor-Investigador Titular, Dr. J. I. Bojórquez, Director de Fortalecimiento de Investigaciones, Dr. C. Lemus, Profesor-Investigador Titular Adscrito, Ms.C. R. M. Murray, Especialista, H. Ontiveros, Estudiante de posgrado CBAP y Dr. J. Aguirre, Profesor-Investigador Titular, adscritos a la Universidad Autónoma de Nayarit, México; Dr.C. A. Hernández, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ jobugarin7@hotmail.com

producción agrícola intensiva durante más de 30 años (3). Hay grandes problemas por las pérdidas de materia orgánica del suelo; una parte considerable del carbono orgánico (C) perdido puede restaurarse a través de la conversión de tierras marginales a terrenos de uso restaurativo, la adopción de cultivos de conservación, la incorporación de residuos de cosecha, el reciclado de nutrientes, incluso el uso de abonos verdes y estiércoles, y otros sistemas de mejoramiento sustentable del suelo y recursos hídricos.

El manejo y la conservación de la fertilidad del suelo en clima tropical es crítico para un ambiente sostenible, lo que hace necesaria una selección apropiada de indicadores de calidad del suelo, como el contenido de materia orgánica, mejorar la acidez y eficiencia del uso del nitrógeno para una mayor respuesta al cambio, mejor producción de biomasa, clara discriminación entre los sistemas de manejo y restauración ambiental para un reflejo en la variabilidad de terrenos durante las estaciones (4, 5).

Es por ello que los sistemas pastoriles, agropastoriles y agrosilvopastoriles representan una importante alternativa de recuperación de esas áreas degradadas, al obtener alta producción de biomasa y maximizar el fenómeno de la fotosíntesis y, por tanto, la capacidad de almacenar el carbono ocioso del aire en medios estables, como la materia orgánica del suelo que se convierte en una alternativa real para la regulación ambiental. La franja tropical es precisamente donde se encuentran las mayores ventajas naturales para abordar esta línea de desarrollo (6, 7, 8, 9).

Los suelos con pastos establecidos desempeñan un papel trascendental por la cobertura de la superficie, ya que pueden retener y reducir la emisión de carbono a la atmósfera. Los sistemas silvopastoriles (SSP) del trópico tienen gran potencial para contribuir a la disminución del calentamiento global, debido a que la combinación de las plantas del tipo  $C_3$  y  $C_4$  que actúan como un sumidero eficaz, favorecen de esta forma al mejoramiento de la atmósfera (10).

Los sistemas de producción ganaderos con pastos introducidos en asociación con leguminosas arbóreas presentan ventajas económicas, al aumentar los niveles de producción animal con reducida dependencia de los insumos externos, y ecológicas con una mejor persistencia de las praderas, al disminuir la utilización de fertilizantes nitrogenados y contribuir con el secuestro de carbono del suelo (7, 10). Por su parte, el rumiante en estos sistemas mejora la calidad y cantidad de su dieta, lo cual representa una de las vías para reducir la emisión de  $CH_4$  (11, 12) y no representa competencia con el humano por granos, cereales y biocombustibles (13, 14).

Las proporciones medias del secuestro de C en la tierra, a través de la adopción de prácticas de manejo adecuado, varían de 50 a 1000  $kg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$  (15). Hasta el momento no hay un programa de conservación y mejoramiento de los suelos, solo se conoce que existen

algunas alternativas para revertir el proceso de degradación por la vía del laboreo mínimo, subsoleo, rotación de cultivos y la incorporación de materia orgánica al suelo. Sin embargo, estas acciones no están estudiadas y no hay infraestructura para su operación e implican un costo productivo adicional al cultivo.

La conversión de los bosques y los cambios de los sistemas agroforestales modifican física y químicamente las propiedades biológicas del suelo, debido a los cambios en la cantidad y calidad del carbono orgánico que ingresa y en ocasiones sale, lo que influye en la dirección y magnitud de los cambios en la captura de carbono en el suelo. Cuando la tierra es cultivada, la descomposición se refuerza, porque la perturbación o el cultivo físicamente fragmenta y redistribuye los residuos; de esta forma, el C de la tierra se oxida rápidamente a  $CO_2$  y es perdido a la atmósfera (10).

Los sistemas de producción, donde se establecen diferentes estratos de plantas forrajeras y maderables para la alimentación animal, están teniendo gran aceptación y se consideran amigables. Los sistemas silvopastoriles son difíciles de clasificar, existen una gran diversidad de ellos y cada uno tiene características propias, lo cual diversifica su producción (2, 13). Otros beneficios que trae implícito el uso de árboles son la reducción de la erosión y el mejoramiento de la fertilidad del suelo, lo cual hace que estos sistemas se presenten como una opción para mitigar los efectos de la degradación del suelo (16).

En el trópico se necesitan alternativas forrajeras, que permitan enfrentar el período de sequía, utilizar su alta producción de biomasa y fijación de carbono, donde la asociación de especies (leguminosas y pastos) se combinan para crear un ambiente favorable a la producción pecuaria, sustentable con los recursos naturales y la biodiversidad; por esta razón, se estudian en un sistema silvopastoril dos especies de leguminosas arbóreas *Leucaena leucocephala* y *Leucaena glauca*, para identificar sus diferencias, ya que es una fuente de proteína barata, con alta tolerancia a suelos distintos, producen altos rendimientos de biomasa en condiciones de sequía y están disponibles a cualquier productor (17, 18). Así también la inclusión de la leguminosa herbácea *Clitoria ternatea* y el pasto *Brachiaria brizantha* evaluó diferentes estratos vegetales, contrastando las diferentes combinaciones y proporciones entre ellos, para valorar el impacto a nivel del suelo.

El objetivo de este trabajo fue determinar los cambios más frecuentes en las propiedades del suelo, en particular la densidad de volumen, por efecto del sistema silvopastoril con las diferentes asociaciones de las leguminosas arbóreas, la herbácea y el pasto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en octubre del 2007, en el ejido El Tamarindo, municipio de Rosamorada, Nayarit, con una temperatura media anual de 23.08°C,

radiación global máxima de 916.2 w/m<sup>2</sup>, humedad relativa igual a 68.97 %, velocidad del viento: 0.81 km.h<sup>-1</sup> y precipitación pluvial anual de 1,500 mm, de los cuales el 95 % se registra desde julio a septiembre. Los meses más calurosos son de junio a agosto (3, 19).

Las investigaciones se realizaron en un terreno representado por un suelo con perfil de tipo ABC y las siguientes características: color pardo a rojizo, sin lixiviación, con estructura de bloques sub-angulares en la superficie, compacto y poco poroso en la parte superior del perfil, clasificado como Cambisol, háplico, éutrico, crómico (20). La textura franco arcillosa; el pH de 6.3 en los primeros 20 cm, aumentando a 6.7 a más profundidad (45 cm); un contenido bajo de materia orgánica de 1.68 % en la superficie (0-20 cm), disminuyendo a más profundidad; la densidad de volumen (DV) fue de 1.33 Mg.m<sup>-3</sup> con 12.83 % W (humedad del suelo) en los primeros 20 cm.

Los tratamientos evaluados fueron: *Leucaena leucocephala*+*Brachiaria brizantha* (T1); *L. glauca*+*B. brizantha* (T2), *L. leucocephala*+*Clitoria ternatea*+*B. brizantha* (T3); *L. glauca*+*C. ternatea*+*B. brizantha* (T4); y *B. brizantha* (T5), distribuidos en bloques al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento de 16x16 m (256 m<sup>2</sup>) cada uno.

La distancia entre arbóreas en los tratamientos 1 y 2 fue de 1 m, con una franja intermedia de 4 m con tres surcos de gramínea a 1 m entre ellos. En el caso de los tratamientos 3 y 4, se sembró entre los surcos 1-2 y 2-3 la leguminosa herbácea (*Clitoria ternatea*); el espacio entre parcelas fue de 4 m.

Para identificar la caracterización del terreno, se realizó un corte vertical de un perfil de suelo, para exhibir los horizontes genéticos que lo integran y la parte del material subyacente relativamente inalterado a una profundidad de 1.20 m, tomándose muestras para su clasificación.

La caracterización de la textura se realizó al inicio del experimento por el método de Bouyoucos (21). Para el desarrollo experimental se realizaron cinco muestreos en diferente época, de los cuales los primeros cuatro consideraron la profundidad de 0 a 20 cm en las siguientes variables:

- ↳ densidad de volumen: se calculó con el método de cilindros en campo
- ↳ humedad: se calculó con el método gravimétrico (21)
- ↳ pH: se midió por potenciometría con una relación suelo:agua de 1:2.5 (20)
- ↳ conductividad eléctrica (CE): se determinó en dS.m<sup>-1</sup> por la técnica convencional (21)
- ↳ materia orgánica del suelo: se evaluó a través del contenido de carbono orgánico por el método Walkley & Black (21)
- ↳ muestreo no. 5: se realizó a dos profundidades (2-7 y 10-15 cm) en dos variantes (bajo cobertura y sin cobertura vegetal).

Para las variables densidad de volumen, pH, materia orgánica y CE, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 5x2x2, donde el primer factor

son los tratamientos, el segundo la cobertura y el tercero la profundidad.

En todas las variables entre tratamientos, la diferencia entre medias fue con la prueba de Tuckey a un nivel de significancia P<0.05, utilizándose el paquete estadístico SAS (22).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo presentó un pH de 6.3 a 7.1, siendo más bajo en la parte superior. La textura fue variada, de franco a franco-arcillosa, sin síntomas de cutanes a través del perfil completo, pero muy pobre en materia orgánica (Tabla I). No hubo síntomas de carbonato de calcio en el perfil completo.

**Tabla I. Características iniciales del sitio experimental**

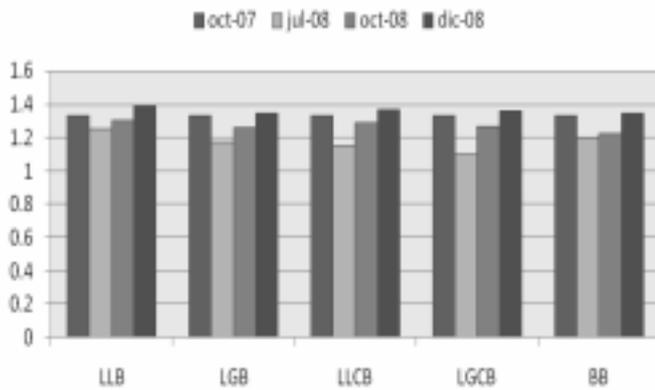
Profundidad (cm)	W (%)	DV (Mg.m <sup>-3</sup> )	pH	Textura	MO (%)
0-20	12.8	1.33	6.3	Franco arcilloso	1.68
20-45	24.8	1.39	6.7	Franco	1.63
45-55	27.1	1.51	6.9	Franco arcillo limoso	1.57
55-85	36.2	1.39	7.1	Franco	ND
85-110	39.9	1.30	6.8	Franco arenoso	ND
110-130	37.0	1.14	ND	Franco	ND

W %, porcentaje de humedad; DV, densidad de volumen; MO (%), porcentaje de materia orgánica; ND, no determinado

El valor de DV es relativamente alto (1.33 Mg.m<sup>-3</sup>), acorde a la presencia de bloques sub-angulares pequeños y medios, que predominan en los horizontes superiores, cercanos a la superficie, lo cual refleja el uso intensivo al que ha estado sometido el suelo por años. Fue notorio un piso de arado en la parte superior del horizonte B, así como la destrucción de la estructura, los cuales provocan que la velocidad de infiltración del agua en el horizonte A sea muy lenta (comprobado por los encharcamientos del sitio en el temporal de lluvias siguiente y la pérdida de materiales experimentales). Además, resultados similares se evaluaron en un estudio en las propiedades del suelo, donde se confirmó que estas cambian por el tipo de uso y manejo inadecuado; un cultivo intensivo provoca la degradación de las propiedades físico-químicas, la disminución en la velocidad de infiltración y, por consiguiente, una disminución en la fertilidad (23, 24, 25).

El contenido de materia orgánica es de 1.68 % (Tabla I), lo que evidencia el uso intenso al que el suelo ha estado sometido por muchos años, sin la incorporación de hojarasca o algún cultivo de cobertura, que supliera los nutrientes extraídos por la agricultura; similar a lo planteado, en una evaluación de la dinámica en la fertilidad del suelo, realizada en dos fincas ganaderas de Villa Clara, Cuba, se revelaron notables decrementos de los contenidos de materia orgánica (2.63 a 1.53 %), así como incrementos de la acidez actual (5.7 a 4.4 %), en el transcurso de 15 años bajo un monocultivo intensivo (24).

Para la DV al inicio de la evaluación (Figura 1), en la capa de 0-20 cm se presentó un valor de 1.33 Mg.m<sup>-3</sup>. Sin embargo, a partir del segundo muestreo se apreció una variación en los valores; los tratamientos que sobresalieron en el segundo muestreo fueron el LLCB (*L. leucocephala*+*C. ternatea*+*B. brizantha*) y LGCB (*L. glauca*+*C. ternatea*+*B. brizantha*), donde se apreció una disminución de 0.15 y 0.20 Mg.m<sup>-3</sup>, respectivamente. Estos resultados pueden ser atribuidos a la no mecanización y al efecto benéfico de la alta cobertura vegetal que presentaron estos tratamientos (26).



LLB, *L. leucocephala*+*B. brizantha*. LGB, *L. glauca*+*B. brizantha*. LLCB, *L. leucocephala*+*C. ternatea*+*B. brizantha*. LGCB, *L. glauca*+*C. ternatea*+*B. brizantha* y BB, *B. brizantha*

**Figura 1. Comportamiento de la densidad aparente a 14 meses de establecido el sistema silvopastoril**

Referente al tercer muestreo, se observa un ligero incremento de los valores de la DV; sin embargo, los más bajos se obtuvieron en los tratamientos LGB (*L. glauca*+*B. brizantha*) y BB (*B. brizantha*). A pesar del incremento en los valores de DV, estos resultan más bajos que el valor inicial cuando se comenzó el experimento. Las cifras superiores se apreciaron en los tratamientos LLB, LLCB y LGCB, las cuales manifestaron una mayor preferencia y consumo de los borregos, especie que tiene un efecto sobre la DV del suelo, la cual se modificó por el pisoteo de los ovinos durante el pastoreo (27).

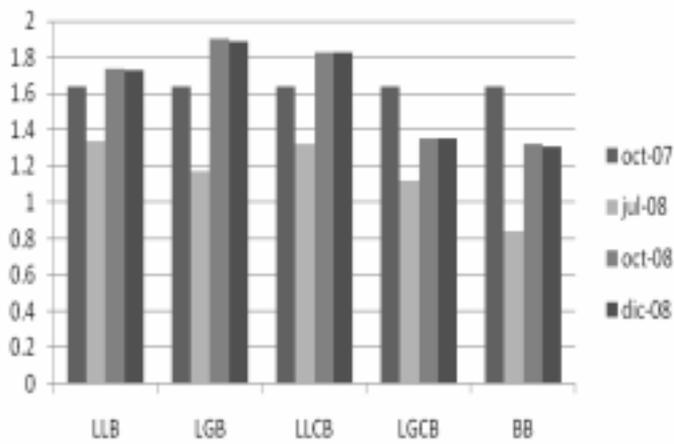
Para el muestreo no. 4 (Tabla II), se estimó un incremento general en todas las características evaluadas para determinar la DV, sin encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos, en la cobertura y profundidad. Sin embargo, la máxima compactación ocurre en la porción del suelo húmedo, en niveles de entre 10 y 13 %, lo cual es atribuible al efecto del pisoteo de los borregos por el tránsito animal (2.5 UGM.ha<sup>-1</sup>) que deforman la superficie del suelo. En el estudio se condujo un pastoreo en la época lluviosa (agosto-septiembre), con una precipitación de 600 mm en este período. La pérdida de la estructura del suelo y la compactación ocurren por el tránsito constante de los ovinos; por consiguiente, se obtuvo un decremento en la producción (28), ya que cuando el suelo es sometido a una determinada presión, ocasiona una reducción en su volumen y, como consecuencia, trae un aumento en DV (24), por lo que se observa una ligera disminución del 1 % en el tratamiento LLCB, que podría estar influido por la triple asociación de leguminosas y el pasto. Respecto a la disminución conseguida en BB, podría ser proveniente por la mínima preferencia y baja tasa de consumo de los animales observada durante los tres pastoreos planeados, dándose de esta manera un remanente de biomasa, que al no ser ingerido por el ovino generó una acumulación de hojarasca en la capa superior del suelo.

Los resultados para la evolución de la materia orgánica (MO) en el sistema silvopastoril se observan en la Figura 2. Los valores obtenidos en la caracterización inicial son contrapuestos en los siguientes muestreos, apreciándose una baja en el contenido de MO en todos los tratamientos durante la segunda evaluación, el testigo (*B. brizantha*) fue el más disminuido; a partir del tercer muestreo los tratamientos LGB y LLCB presentan aumento, valores que se mantienen hasta el final del período experimental, el menor valor fue para el monocultivo. Se presentó un incremento en el contenido de MO influido quizás por la cantidad de hojarasca y las deyecciones de los animales, las cuales representan la principal entrada de nutrientes al sistema, influyendo así en el contenido de MO y el cambio en el perfil del suelo.

**Tabla II. Comportamiento de DV a 14 meses de establecidos los tratamientos**

Cobertura	Profundidad (cm.)	Tratamientos					Promedio	
		LLB	LGB	LLCB	LGCB	BB	Cobertura	Profundidad
BCV	02-07	1.36 <sup>A</sup>	1.35 <sup>A</sup>	1.39 <sup>A</sup>	1.36 <sup>A</sup>	1.36 <sup>A</sup>	1.36 <sup>A</sup>	1.37 <sup>A</sup>
	10-15	±.05	±.01	±.08	±.06	±.11		
	02-07	1.41 <sup>A</sup>	1.36 <sup>A</sup>	1.32 <sup>A</sup>	1.37 <sup>A</sup>	1.33 <sup>A</sup>		
SCV	02-07	±.01	±.03	±.05	±.14	±.09	1.38 <sup>A</sup>	1.38 <sup>A</sup>
	10-15	1.38 <sup>A</sup>	1.38 <sup>A</sup>	1.45 <sup>A</sup>	1.36 <sup>A</sup>	1.32 <sup>A</sup>		
	02-07	1.41 <sup>A</sup>	1.41 <sup>A</sup>	1.34 <sup>A</sup>	1.37 <sup>A</sup>	1.39 <sup>A</sup>		
Promedio tratamiento		±.04	±.02	±.07	±.07	±.09		
		1.39 <sup>A</sup>	1.38 <sup>A</sup>	1.38 <sup>A</sup>	1.37 <sup>A</sup>	1.35 <sup>A</sup>		

LLB, *L. leucocephala*+*B. brizantha*. LGB, *L. glauca*+*B. brizantha*. LLCB, *L. leucocephala*+*B. brizantha*. LGCB, *L. glauca*+*B. brizantha*. BB, *B. brizantha*. BCV, bajo cobertura vegetal. SCV, sin cobertura vegetal±desviación estándar



LLB, *L. leucocephala*+*B. brizantha*. LGB, *L. glauca*+*B. brizantha*. LLCB, *L. leucocephala*+*B. brizantha*. LGCB, *L. glauca*+*B. brizantha*. BB, *B. brizantha*

**Figura 2. Dinámica en el contenido de MO a 14 meses de establecido el sistema silvopastoril**

Estos resultados son similares a los informados en las evaluaciones de la fertilidad del suelo en sistemas silvopastoriles, bosques y campos dedicados a la agricultura (29), donde encontraron que la fertilidad del suelo, cantidad de materia orgánica y estructura de los agregados fue más alta en sistemas que incluyen árboles, influida principalmente por la cantidad de hojarasca y penetración que hacen las raíces hacia las partes más profundas del suelo. De igual manera otros investigadores (30), al evaluar el efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica, encontraron que la asociación de árboles y gramíneas incrementó los niveles de materia orgánica y la diversidad de organismos, beneficiando la fertilidad del suelo y, por consiguiente, la producción de biomasa. El uso del suelo en la ganadería a base de monocultivos por más de 20 años presentó una disminución en el contenido de MO del 0.7 al 1 %, principalmente debido al manejo deficiente y la no utilización de árboles en la producción; después de tres años de una diversificación en el sistema de producción y manejo de especies arbóreas forrajeras, se apreció un incremento de 0.25 % en el contenido de materia orgánica del suelo (31).

Los sistemas agroforestales pueden mantener las propiedades físicas del suelo a través del mantenimiento de MO y los efectos de las raíces de los árboles, así como la descomposición del mantillo y podas del árbol, que contribuyen al mantenimiento de la fertilidad del suelo (32). Lo anterior coincide con algunos resultados obtenidos, a pesar de una disminución en los valores iniciales, los cuales se incrementaron hasta situarse en niveles superiores a 1.8 % en los tratamientos donde se estableció la asociación gramínea-leguminosa. Los índices alcanzados en LGCB estuvieron influidos por la desaparición de las especies leguminosas, las cuales no soportaron el encharcamiento por largo periodo (33); en el experimento se presentó una precipitación pluvial de 1550 mm, valores

anormales en comparación con años anteriores. A finales de octubre del 2008 se recibió cerca del 40 % de la precipitación total (3), la cual influyó en la sobresaturación del suelo y, como consecuencia, se perdió una cantidad significativa de materiales evaluados.

En la Tabla III se aprecia la información entre tratamientos y cobertura a diferente profundidad de muestreo, siendo LGB y LLCB los tratamientos de mayor incremento, seguido por LLB y finalmente LGCB y BB, que presentaron los valores inferiores, lo cual está acorde con lo que influye en un sistema silvopastoril (29), donde ocurren procesos naturales relacionados con el efecto acumulativo del estiércol animal y aporte de biomasa de las leguminosas y gramíneas, que se manifiestan en un alto grado de actividad biológica, con gran presencia de macro-organismos que perforan galerías en todas direcciones y, en esta acción, segregan una mucosa que da firmeza a las paredes de estas, mejoran la circulación del agua y el aire. La producción de hojarasca, junto con el aporte de N a través de la fijación biológica, podría acelerar el proceso de reciclaje de nutrimentos en los pastizales de gramíneas puras (34).

**Tabla III. Comparación del incremento de MO a 14 meses de establecido el sistema silvopastoril**

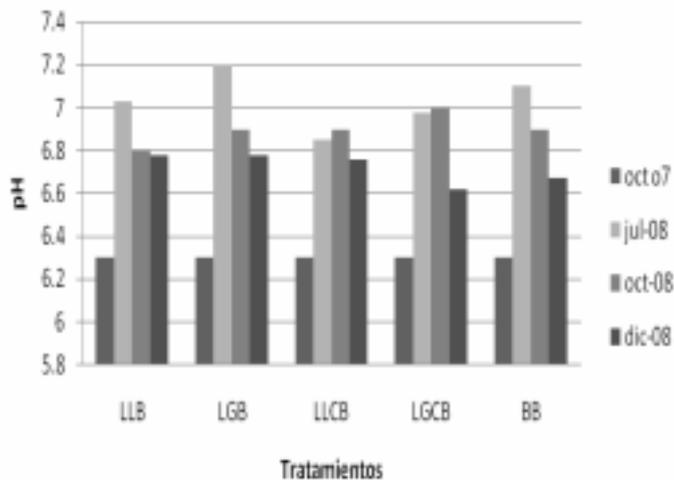
Cobertura vegetal	Profundidad (cm)	Tratamientos				
		LLB	LGB	LLCB	LGCB	BB
BCV	02-07	1.85 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>	1.95 <sup>a</sup>	1.35 <sup>b</sup>	1.40 <sup>b</sup>
	±	0.70	0.08	0.17	0.19	0.11
	10-15	1.53 <sup>b</sup>	2.29 <sup>a</sup>	1.53 <sup>b</sup>	1.43 <sup>b</sup>	1.38 <sup>b</sup>
	±	0.70	0.04	0.26	0.45	0.22
SCV	02-07	1.89 <sup>a</sup>	1.72 <sup>a</sup>	1.78 <sup>a</sup>	1.30 <sup>b</sup>	1.20 <sup>b</sup>
	±	0.70	0.13	0.19	0.05	0.09
	10-15	1.68 <sup>b</sup>	1.56 <sup>c</sup>	1.92 <sup>a</sup>	1.34 <sup>d</sup>	1.27 <sup>d</sup>
	±	0.35	0.04	0.30	0.45	0.22

BCV, bajo cobertura vegetal. SCV, sin cobertura vegetal±desviación estándar

Los árboles pueden jugar un papel importante en la restauración ecológica (35); en estudios realizados en Panamá se muestra que la integración de árboles en las pasturas mejora la calidad del forraje y aumenta el contenido de fósforo y nitrógeno del suelo, en comparación con las praderas de monocultivos (36).

El comportamiento del pH se aprecia en la Figura 3; este valor es muy variable en relación con la época del año y los valores iniciales se contraponen con los siguientes muestreos. Se apreció un aumento mayor en los tratamientos LGB y BB hacia valores más neutros; durante el tercer monitoreo se observó un decrecimiento en todos los tratamientos, siendo LGCB el más alto, situándose en 7.0. Finalmente a 14 meses del establecimiento del sistema, los valores sufren nuevamente una disminución y LGCB alcanzó los valores más bajos (6.6); en LLB y LGB se apreciaron los valores mayormente neutros con niveles superiores a 6.7. La variación del pH podría atribuirse a la incorporación de especies forrajeras de

alta producción de biomasa, que en consecuencia aumentan el contenido de MO y disminuyen el pH del suelo.



LLB, *L. leucocephala*+*B. brizantha*. LGB, *L. glauca*+*B. brizantha*. LLCB, *L. leucocephala*+*B. brizantha*. LGCB, *L. glauca*+*B. brizantha*. BB, *B. brizantha*

**Figura 3. Comportamiento de pH en tres diferentes muestreos en un sistema silvopastoril**

En una evaluación de un sistema silvopastoril con *L. leucocephala* (24), se reportaron valores de pH más altos en la época de menor precipitación pluvial, similar a lo ocurrido en este trabajo; también se apreció un incremento en todos los tratamientos hacia valores más neutros, influido en parte por el incremento del contenido de MO, la cual modifica el pH hacia valores más ácidos (37).

Estos resultados son similares a los reportados anteriormente (31), los que al evaluar un suelo durante un período de tres años apreciaron un incremento en los valores del pH de 0.1 y 0.2 unidades porcentuales, mediante el uso de biofertilizantes y reciclaje de los nutrientes, lo cual evidencia los beneficios de la incorpo-

ración de especies y la eficiente utilización de los recursos de cada lugar. Una variación en el nivel del pH de un suelo se relaciona con la productividad (31); estas investigaciones evaluaron tres fincas ganaderas cubanas, donde se apreció una reducción en la productividad, la cual se relacionó con la modificación del pH, el cual sufrió una acidificación de 0.4 a 0.9 unidades porcentuales, después de 20 años de uso en la producción ganadera a base de praderas de monocultivos de gramíneas.

En la Tabla IV se presentan los datos obtenidos en la dinámica del pH durante 14 meses de establecido el sistema silvopastoril, en relación con la cobertura y profundidad, donde se aprecian diferencias estadísticas únicamente en la variante sin cobertura vegetal, ya que se ha determinado que la presencia de árboles en las praderas aumenta la presencia de MO y mejora el microclima, lo cual favorece la actividad de la macro y micro fauna, y como resultado se obtiene mayor mineralización, movilización y disponibilidad de algunos nutrientes en el suelo (24, 37, 38, 39).

Se concluye que los sistemas silvopastoriles, principalmente los que presentan alta densidad de especies forrajeras, modifican ágilmente la DV, el pH y a un corto plazo la MO presente en el suelo. La variación en la magnitud de esos cambios está influida por la edad del sistema, las especies implantadas y el manejo del sistema; los cambios más característicos se aprecian en sistemas que tienen más tiempo de establecidos.

## REFERENCIAS

1. Oldeman, L. R.; Engelen, V. Van y J. Pulles. The extent of human induced soil degradation. En: World Map of the Status of Human-induced Soil Erosion: An Explanatory Note, 2nd ed., L. R. Oldeman, R. Hakkeling and W. Sombroek, eds. Wageningen, Netherlands: International Soil Reference and Information Centre, annex 5. 1990. Disponible en: <<http://www.isric.org/isric/webdocs/Docs/ExplanNote.pdf>>

**Tabla IV. Dinámica del pH a 14 meses de establecido el sistema silvopastoril**

Cobertura	Profundidad (cm)	Tratamientos					Promedio	
		LLB	LGB	LLCB	LGCB	BB	Cobertura	Profundidad
BCV	02-07	6.7 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	6.6 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.6 <sup>b</sup>	6.7 <sup>a</sup>
		±.17	±.25	±.05	±.01	±.20		
	10-15	6.8 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>	6.6 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>		
SCV	02-07	6.7 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>				
		±.30	±.15	±.17	±1.0	±.35		
	10-15	6.8 <sup>a</sup>	7.0 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>		
	±.15	±.05	±.25	±.11	±.11			
EE		0.05	0.07	0.04	0.03	0.06		

BCV, bajo cobertura vegetal; SCV, sin cobertura vegetal; ± desviación estándar

2. Crespo, G. y Rodríguez, I. El reciclaje de los nutrientes en el sistema suelo-pasto-animal. En: Simposio Internacional «Extensionismo, transferencias de tecnologías, aspectos socioeconómicos y desarrollo agrario sostenible Agrodesarollo'09». (II: 2009, 26-28 mayo: Varadero) [en línea] Memorias. Matanzas: Estación Experimental "Indio Hatuey". 2009, p. 170. ISBN 978-959-16-1036-2 [Consultado: julio de 2009] Disponible en: <[http://agrodesarollo09.ihatuey.cu/memorias/memorias/MEMORIAS\\_Agrodesarollo'09.pdf](http://agrodesarollo09.ihatuey.cu/memorias/memorias/MEMORIAS_Agrodesarollo'09.pdf)>.
3. Bojórquez, I.; Hernández, A.; García, D.; Nájera, O.; Flores, F.; Madueño, A. y Bugarín, R. Características de los suelos de las barras paralelas, playas y dunas de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 2008, vol. 29, no. 1, p. 37-42.
4. Gil-Stores, F.; Trasar-Cepeda, C.; Leiros, C. y Seoane, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biol. Biochem.*, 2005, vol. 37, p. 877-887.
5. Epstein, H. E.; Lauenroth, W. K. y Burke, I. C. Effects of temperature and soil texture on ANPP in the US Great Plains. *Ecology*, 2007, vol. 78, no. 8, p. 2628-2631.
6. Molina, C. H. y Uribe, F. Experiencia de producción limpia de ganaderías en pastoreo. III Seminario Internacional sobre competitividad en carne y leche. Cooperativa lechera de Antioquia. Colanta, Medellín. Colombia. 2002, p. 333-354.
7. Ruiz, T. E.; Castillo, E.; Alonso, J. y Febles, G. Factores del manejo para estabilizar la producción de biomasa con leguminosas en el trópico. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 2006, vol. 10, no. 1, p. 3-20.
8. Funes-Monzote, F.; Hernández, A.; Bello, R. y Álvarez, A. Fertilidad del suelo a largo plazo en sistemas biointensivos. *LEISA. Revista de Agroecología*, 2008, vol. 24, no. 2, p. 9-12.
9. Funes-Monzote, F. Agricultura con futuro: la alternativa agroecológica para Cuba. Matanzas: Estación Experimental Indio Hatuey. 2009, 176 p. ISBN 978-959-7138-02-0.
10. Ruiz, T. E. y Febles, G. Factores que influyen en la producción de biomasa durante el manejo del sistema silvopastoril. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. (CD-ROM) 2005.
11. Ibrahim, M. y Mannelje, L. T. Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixtures in the humid tropics of Costa Rica. *Tropical Grasslands*, 1998, vol. 32, p. 96-104.
12. Beauchemin, K. A. y McGinn, S. M. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *J. Anim. Sci.*, 2005, vol. 83, p. 653-661.
13. Cambra-López, M.; García, R. P.; Estelles, F. y Torres, A. Estimaciones de las emisiones de los rumiantes en España: El factor de conversión de metano. *Arch. Zootec.*, 2008, vol. 57, p. 89-101.
14. Pedraza, O. M. R. Bagazo rico en proteína (Bagarip). Alimento animal obtenido por fermentación en estado sólido. *Rev. Prod. Anim.* 2000, vol. 12, p. 45-51.
15. Lal, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, vol. 123, no. 1-2, p. 1-22.
16. Montagnini, F. y Nair, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry System*, 2004, vol. 61-62, no. 1-3, p. 281-295.
17. Sánchez, A. Evaluación agronómica de la *Leucaena leucocephala* (Lam.) en un ambiente de bosque seco tropical. VII Cong. Venez. Zootecnia, Maturín. Pi. NR 21. 1993.
18. Faria-Marmol, J. y Morillo, D. *Leucaena*: cultivo y utilización en la ganadería bovina tropical. Maracaibo: Ediciones Astro Data. 1997, 152p.
19. SPP. Monografía de Compostela, Nayarit: Síntesis geográfica de Nayarit. Edit. Reckard impresores S.A. México, D.F. 1-15. 1981.
20. FAO. World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication. [online] World Soil Resource Reports no. 103. ISSN 0532-0488. Rome. 2006, 150 p. ISBN 92-5-105511-4 [Consultado: 13 de marzo de 2009] Disponible en: [www.fao.org/fileadmin/templates/nr/images/resources/pdf.../wsrr103e.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/images/resources/pdf.../wsrr103e.pdf).
21. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. 2002, 31/dic.
22. Statistical Analysis System (SAS). User's Guide. SAS Institute and Company. Cary (North Caroline). 2003.
23. Morell, P. F. y Hernández, J. A. Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos Ferralíticos Rojos lixiviados por la influencia antrópica y su respuesta agroproductiva al mejoramiento. En: Congreso Científico del INCA (XV: 2006, nov. 7-10: San José de las Lajas). Memorias [CD-Rom] La Habana: INCA, 2006. ISBN: 959-7023-36-9.
24. DI, H.; Cameron, K.; Milne, J.; Drewry, J.; Smith, N.; Hendry, T.; Moore, S. y Reijnen, B. A mechanical hoof for simulating animal treading under controlled conditions. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2001, vol. 44, no. 1, p. 111-116. [http://pdfserve.informaworld.com/406349\\_919958719.pdf](http://pdfserve.informaworld.com/406349_919958719.pdf)
25. Hernández, A.; Morales, M.; Morell, F.; Borges, Y.; Funes, F.; Marentes, F.; Vargas, D.; Ríos, H. y Caballero, A. Cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de provincia Habana por la influencia antropogénica e indicadores de su degradación. En: Simposio Internacional "Extensionismo, transferencias de tecnologías, aspectos socioeconómicos y desarrollo agrario sostenible" Agrodesarollo'09 (II: 2009, mayo 26-28: Varadero) Memorias. [CD-Rom] Matanzas: Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", 2009. ISBN 978-959-16-1036-2.
26. González, P. J.; Ramírez, J.; Vieito, L. E. y Clavel, N. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en agroecosistemas ganaderos de la provincia de Villa Clara. Resultados preliminares. En: Foro Latinoamericano de pastos y forrajes (I: 2001, 17-19 oct: San José de las Lajas). Memorias [CD-ROM]. La Habana: Instituto de Ciencia Animal, 2001.
27. Razz, R. y Clavero, T. Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*. *Rev. Fac. Agron. Luz*, 2006, vol. 23, p. 326-331.

28. Drewry, J. J. y Paton, R. J. Effects of cattle treading and natural amelioration on soil physical properties and pasture under dairy farming in Southland, New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2000, vol. 43, no. 3, p. 377–386. [Consultado: 10 febrero de 2008] Disponible en: <http://www3.royalsociety.org.nz/media/publications-journals-nzja-2000-037.pdf>.
29. CAST. Environmental impacts of livestock on US grazing lands. Issue Paper [on line] 2002, no. 22, p. 1-16. [Consultado: 10 marzo de 2009] Disponible en: [http://oregonstate.edu/dept/range/sites/default/files/I\\_Impacts\\_of\\_Livestock\\_on\\_U\\_S\\_Grazing\\_Lands.pdf](http://oregonstate.edu/dept/range/sites/default/files/I_Impacts_of_Livestock_on_U_S_Grazing_Lands.pdf).
30. Cairo, P.; Vargas, S.; Díaz, B.; Nodal, E.; Torres, P.; Jiménez, R.; Dávila, A.; Rodríguez, O. y Rodríguez, A. Influencia del manejo de los suelos Pardos Sialíticos sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas bajo condiciones de producción ganadera y agrícola. En: Memorias II Taller Nacional de fertilidad de los suelos de la ganadería. Departamento de Pastos y Forrajes. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 2008.
31. Hernández, C. M.; Sánchez, C. S. y Simón, G. L. Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica. II Taller Nacional sobre fertilidad de los suelos de la ganadería. CD. ROM. 2008, 5 p.
32. Baños, R.; Echeverría, J.; Arzola, J.; Ramírez, J. y Vieito, E. Comportamiento de la fertilidad del suelo en tres ecosistemas ganaderos. En: Memorias II Taller Nacional de fertilidad de los suelos de la ganadería. Departamento de Pastos y Forrajes. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 2008.
33. Krishnamurthy, L. y Ávila, M. Agroforestería básica. México, D. F. PNUMA/ORPALC. 1999, 340 p. Serie textos básicos para la formación ambiental no. 3.
34. Paretas, J. y López, M. Regionalización de gramíneas, leguminosas y árboles multipropósito. En: Milera, M. C., Ed. Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos. Guatemala: Editorial Universitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006, p. 37-62. ISBN: 959-16-0209-X.
35. Sánchez, C. S.; Crespo, L. G.; Hernández, C. M. y García, O. Y. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Trop.*, 2008, vol. 26, no. 3, p. 269-273.
36. Szott, L.; Ibrahim, M. y Beer, J. The hamburger connection hangover: cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba: CATIE. 2000, 71 p. Serie Técnica. Informe Técnico (CATIE) no. 313.
37. Bolívar, V. D. Contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Tesis magister scientiae. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 116 p. [Consultada: 15 diciembre de 2008] Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0421E/A0421E.PDF>
38. Mahecha, L. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 2002, vol. 15, no. 2, p. 226-231.
39. Sánchez, S.; Crespo, G. J.; Hernández, M. y García, Y. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. En: Memorias Agrodesarrollo'09, Varadero, Matanzas, Cuba. 2009, p. 121.

Recibido: 11 de diciembre de 2008

Aceptado: 26 de febrero de 2010