

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Forage production and animal response in soils in the Cesar valley under a recovery process

Producción de forraje y respuesta animal en suelos del valle del Cesar en proceso de recuperación

Belisario Roncallo F.¹, José Murillo S.¹, Gustavo Rodríguez¹, Ruth Rebeca Bonilla², María Fernanda Garrido²

ABSTRACT

The 90% of potential agricultural soils in Cesar (Colombia) are affected by varying degrees of impairment, negatively impacting livestock production, which is one of the most important economic activities in the region. The aim of the study was to contribute to the recovery of degraded grasslands, to progress in rescuing the productive capacity of the affected areas and to improve the sustainability and competitiveness of beef production in this region, by implementing practices in sustainable land management. In assessing weight gains, a completely randomized design was used with repeated measurements over time and the obtained data was subjected to analysis of variance. Sustainable practices were used consisting of appropriate tillage, green manure (*Vigna unguiculata*), establishment of vegetation with grasses and legumes (*Bothriochloa pertusa*, *Leucaena leucocephala* and *Clitoria ternatea*) and rotational grazing. We performed a comparative evaluation of feed production and weight gains in calves. The results revealed an increase in dry matter production per unit area and weight gain/animal/day which increased ($P \leq 0.05$) by 44.2% and 46.3%, respectively where sustainable practices were applied compared to the control; the highest ($P \leq 0.05$) weight gain / ha was seen in the experimental treatment (230.5 kg ha⁻¹) in relation to the control (145.7 kg ha⁻¹).

Keywords: cover crops, degraded grasslands, green manure, calves

RESUMEN

El 90% de los suelos con potencial agropecuario en el departamento del Cesar (Colombia) están afectados por diversos grados de deterioro, impactando de manera negativa la producción ganadera, la cual es una de las actividades económicas más importantes de la región. El objetivo del estudio fue contribuir con la recuperación de las praderas degradadas, avanzar en el rescate de la capacidad productiva de las áreas afectadas y en el mejoramiento de la sostenibilidad y competitividad de la producción de carne bovina en esta región, mediante la implementación de prácticas sostenibles en el manejo de los suelos. En la evaluación de las ganancias de peso se aplicó un diseño completamente al azar con medidas repetidas en el tiempo y la información obtenida se sometió a análisis de varianza. Se aplicaron prácticas sostenibles consistentes en labranza apropiada, incorporación de abonos verdes (*Vigna unguiculata*), establecimiento de cobertura vegetal con gramíneas y leguminosas asociadas (*Bothriochloa pertusa*, *Leucaena leucocephala* y *Clitoria ternatea*) y rotación de potreros. Se realizó una evaluación comparativa de la producción de forraje y de las ganancias de peso con terneros de levante. Los resultados revelaron un aumento de la producción de materia seca por unidad de área y de las ganancias de peso/animal/día, las cuales fueron superiores ($P \leq 0,05$) en 44,2% y 46,3%, respectivamente, donde se aplicaron prácticas sostenibles comparadas con el testigo; se obtuvo mayor ($P \leq 0,05$) ganancia de peso/ha en el tratamiento experimental (230,5 kg ha⁻¹) en relación con el testigo (145,7 kg ha⁻¹).

Palabras clave: cultivos de coberturas, recuperación de praderas, abonos verdes, terneros

INTRODUCCIÓN

Se ha considerado que el 90% de los suelos con mayor potencial agrícola del departamento del Cesar, han sufrido un proceso de deterioro en sus características físicas, químicas y biológicas, por lo cual está afectada su capacidad productiva y el potencial de producción de los principales sistemas agropecuarios establecidos en la región, con perjuicios directos sobre el ingreso de los productores.

Fecha de recepción: 02/03/2012
Fecha de aceptación: 29/06/2012

¹ Estación Experimental Motilonia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica. Agustín Codazzi (Colombia).

² Laboratorio de Microbiología de Suelos, Centro de Biotecnología y Bioindustria, Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica. Mosquera (Colombia).

En la solución del problema se ha planteado la conveniencia de implementar prácticas integrales de manejo del suelo como estrategias de mejoramiento, recuperación o mantenimiento de sus propiedades y de su capacidad productiva.

La compactación es una de las más importantes limitaciones físicas del suelo en las actividades ganaderas y agrícolas, la cual a través del tiempo y con la persistencia de sus causas, puede alcanzar capas más profundas cuando no se toman acciones correctivas; por esta razón, se señala que procesos bióticos y abióticos como las enmiendas orgánicas y los tratamientos físicos del suelo, son métodos efectivos para recuperar esta propiedad (Boivin *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2006).

Los impactos negativos de la compactación consisten en una alteración de la porosidad, que ocasiona la reducción en la saturación de la conductividad hidráulica y la permeabilidad al aire (Boivin *et al.*, 2006).

Las modificaciones producidas por la compactación pueden generar procesos de pérdida de cobertura vegetal y a su vez desencadenar erosión; también altera el hábitat del suelo y reduce la actividad biológica de la flora y la fauna (Brussaard y Van Faassen, 1994; Whalley *et al.*, 1995; Nevens y Reheul, 2003; Boivin *et al.*, 2006). Como resultado final, se genera pérdida de la capacidad productiva del suelo con implicaciones negativas sobre el ambiente (Soane y Van Ouwerkerk, 1995).

El suelo, el medio ambiente y la productividad se benefician cuando el potencial del suelo se administra de manera sostenible; el buen manejo del suelo produce cultivos y animales que son más saludables, menos susceptibles a enfermedades y más productivos (Sullivan, 2007), con aumento en los ingresos y mejoramiento del nivel de vida de los productores (Soto, 2008).

Manejar la compactación en el suelo, se puede alcanzar mediante la aplicación adecuada de una o varias técnicas como la adición de materia orgánica en forma de abonos verdes, el control del tráfico de maquinaria agrícola y pastoreo excesivo, métodos de labranza de separación, selección de una rotación de cultivos y plantas de pastura que presenten un profundo y fuerte desarrollo radicular el cual sea capaz de penetrar y separar partículas del suelo compactado (Neven y Reheul, 2003).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de la aplicación de un conjunto de prácticas sostenibles en suelos deteriorados sobre la producción de forraje y las ganancias de peso en terneros de levante en el Valle del Cesar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización: El experimento se desarrolló en la finca Dominó, localizada al suroeste de la cabecera municipal de Valledupar, a 18 km en la carretera que conduce a Bosconia, con promedio de precipitación anual de 900 mm, temperatura media anual de 29 °C y humedad relativa de 68%.

Características físicas

Las propiedades físicas determinadas fueron: textura, densidad aparente, porosidad e infiltración en dos niveles de profundidad (0 a 26 y 26 a 60 cm).

La textura se determinó por el método del hidrómetro; las densidades aparentes fueron obtenidas por el método del anillo de volumen conocido (63,7 cm³). Las pruebas de infiltración se realizaron con anillos infiltrómetros, con 3 repeticiones en cada sitio.

A los resultados de campo se aplicaron análisis de regresión para obtener las ecuaciones de infiltraciones acumuladas y a partir de éstas se estimaron las velocidades de infiltración básicas.

Las porosidades se obtuvieron mediante la fórmula que involucra las densidades aparentes y reales; para estimar la densidad real se tomó el promedio de la densidad predominante de la zona, la cual se ha determinado en el valor de 2,60 g cm³.

Selección del sistema de labranza

La selección del sistema de labranza apropiada se realizó mediante el diagnóstico de las propiedades del suelo. Las Tablas 1 y 2 describen los criterios que se tuvieron en cuenta para seleccionar el sistema de labranza apropiado a las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Murillo, 2002; Castro y Amézquita, 1991; Bonilla y Murillo, 1998).

Tabla 1. Rango crítico de las propiedades físicas de suelos con limitaciones para el desarrollo de los cultivos debido a compactación

Propiedad física	Rangos críticos para el desarrollo de cultivos		
	Arenosos	Francos	Arcillosos
Densidad aparente (g/cm ³)	> 1,8	> 1,6	> 1,5
Porosidad (%)	< 31	< 38	< 42
Infiltración (mm/hora)	< 63	< 20	< 5

*Castro y Amézquita, (1991)

Características químicas

Se determinaron en dos niveles de profundidad (0 a 26 y 26 a 60 cm) utilizando los métodos descritos en el Manual No. 47 del Programa de Suelos del ICA (1989).

Tabla 2. Criterios de selección del sistema de labranza según propiedades del suelo

Propiedad del suelo	Labranza profunda			Labranza mínima			Labranza cero		
	Textura								
	Pesada	Media	Liviana	Pesada	Media	Liviana	Pesada	Media	Liviana
Densidad aparente (g cm ³)	> 1,5	> 1,6	> 1,8	1,3-1,5	1,4-1,6	1,6-1,8	< 1,3	< 1,4	<1,6
Porosidad (%)	< 42	< 3,8	< 3,2	42-50	38-46	32-40	> 50	> 46	> 40
Infiltración (mm h ⁻¹)	< 5	< 20	< 63	5 - 10	10 - 20	20 - 63	>10	> 20	> 63
Materia orgánica	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Media	Alta	Alta	Alta

*Castro y Amézquita, (1991).

Para la determinación de materia orgánica se utilizó el método Walkley-Black (1934), la determinación de nitrógeno se hizo por la técnica de Kjeldhal (USDA, 1996) y elementos menores por el método de extracción de Olsen modificado (USDA, 1996); la capacidad de intercambio catiónico y la conductividad eléctrica se hicieron de acuerdo a la NTC 5298 y NTC 5596, respectivamente (ICONTEC, 2008).

Características microbiológicas

Se determinaron por recuento en placa de diluciones seriadas de suelo, según los protocolos del Laboratorio de Microbiología de Suelos de Corpoica (2010), para conteo de bacterias, hongos y actinomicetos.

Establecimiento de prácticas sostenibles

Del área total destinada a la evaluación, 12 ha, se seleccionaron 6 ha para el tratamiento testigo, consistente en el sistema de manejo tradicional predominante en la región, con el pastoreo de *Bothriochloa pertusa* en áreas degradadas sin aplicación de correctivos en el suelo; en las otras 6 ha, se implementó el tratamiento experimental, consistente en la aplicación de prácticas sostenibles, la cual se ejecutó en dos fases sucesivas, de la siguiente manera: En la primera fase se realizó un estudio de las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Con base en la información obtenida se determinó el tipo de labranza, la profundidad de la labor, equipo a utilizar, recomendaciones de enmiendas orgánicas e inorgánicas a aplicar y la confirmación de las especies a sembrar.

La decisión tomada consistió en aplicar la labranza con cincel subsolador a 60 cm de profundidad, en surcos separados a 70 cm; como enmienda orgánica, se realizó la siembra de frijol capizuna (*Vigna unguiculata* L. Walp), previa inoculación con cepas nativas de *Rhizobium* y *Azotobacter* a 70 cm entre surcos y a chorrillo, siendo incorporada su biomasa al suelo en dos cosechas consecutivas con un pase de rastra, al iniciar la formación de vainas.

La segunda fase tuvo como propósito establecer las especies para generar estabilidad en los avances alcanzados en la recuperación del suelo, por lo cual se sembraron *Clitoria ternatea*, *Leucaena leucocephala* y *Cynodon nlemfuensis*. En el caso de *Leucaena leucocephala* se utilizaron plantas provenientes de semillas que fueron inoculadas con *Rhizobium* sp., las cuales se trasplantaron al sitio definitivo al inicio de las lluvias en una densidad de siembra de 4 m entre surcos y 1 m entre plantas.

Entre los surcos de *Leucaena leucocephala* se sembró la gramínea *C. nlemfuensis* asociada con la leguminosa *C. ternatea*. La siembra de la gramínea se realizó en surcos con distancias de 1,0 y 0,50 m entre plantas y separada a 1,0 m de *Leucaena leucocephala*. La leguminosa *Clitoria ternatea* se sembró al voleo dentro de los surcos de la gramínea, utilizando una densidad de siembra de 5 kg ha⁻¹.

Producción de materia seca

Se estimó el peso seco según metodología de t'Mannetje (1978). La producción de materia seca de las gramíneas y la Campanita (*Clitoria ternatea*) se obtuvo pesando el forraje contenido en marcos de 1 m², tomándose submuestras de 250 g/marco, las cuales se introdujeron en estufa durante 48 horas a temperatura de 65 °C (t'Mannetje, 1963; Toledo y Schultze-Kraft, 1982).

En la *Leucaena leucocephala*, se tomó el 20% de los surcos, se contó el número de plantas altas y bajas y se tomaron 10 plantas altas y 10 bajas, a las cuales se determinó su producción de materia seca; la producción por planta se extrapoló a la unidad de área.

Valor nutritivo del forraje

El contenido de proteína se determinó por el método de Kjeldahl (AOAC, 1995) y la fibra detergente neutra por el método modificado de Golding *et al.* (1985).

Evaluación de la respuesta animal

Se utilizó un área de 12 ha; el área asignada para cada tratamiento (6 ha) fue subdividida en 12 potreros de 0,5

ha cada una, donde se estableció un sistema rotacional de pastoreo, con 5 d de ocupación y 55 de descanso en época de sequía, mientras que en el periodo de lluvia se realizó ocupación de 3 d y 33 de descanso. En los tiempos de rotación y descanso de los potreros se consideró que los suelos están en proceso de recuperación y su utilización debe ser conservadora; así mismo, se tuvo en cuenta la capacidad de rebrote de la *Leucaena leucocephala* y la recomendación de pastoreo con baja carga animal.

En la estimación de la respuesta animal, se seleccionaron 8 terneros de levante por tratamiento con un peso promedio de 130 kg de peso vivo inicial, homogéneos en sus características raciales, condición corporal y edad. Los animales se sometieron al mismo manejo general, se pesaron cada 30 d, previo ayuno de 12 h, durante un periodo de 240 d.

Diseño experimental

La información de ganancia de peso de los terneros se sometió a un análisis de varianza considerando un diseño completamente al azar con observaciones repetidas en el tiempo; las medias se compararon aplicando la prueba de DMS con una probabilidad del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis físico inicial del suelo

El análisis inicial determinó que el valor promedio de densidad aparente se encontró por encima de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ en los horizontes evaluados, el promedio de la porosidad es menor de 42%, la infiltración inferior de 5 mm h^{-1} y bajos contenidos de materia orgánica (< de 1,5%), según los análisis químicos (Tabla 3), indicando en su conjunto, un estado crítico de compactación del suelo según Castro y Amézquita (1991) (Tabla 1).

El diagnóstico determinó que éste suelo manifiesta la afectación característica de degradación, lo cual se evidenció con una observación visual del paisaje, donde se resalta la presencia de áreas con escasa vegetación o sin cobertura vegetal.

De acuerdo con los resultados anteriores, se consideró que la tecnología apropiada para enfrentar esta problemática es la aplicación de labranza profunda complementada con la incorporación de abonos verdes, generada por Corpoica (Bonilla y Murillo, 1998) (Tabla 2).

Análisis químico inicial del suelo

Los resultados de las muestras de suelos para análisis químico tomadas a profundidades de 0-26 y 26-60 cm

(Tabla 4), registran textura franco arcillosa con pH neutro. Los contenidos de materia orgánica, azufre, saturación de sodio, hierro, boro, manganeso y cinc son bajos; medios los contenidos de fósforo, sodio, suma de bases y cobre; altos los contenidos de calcio, magnesio y potasio. La conductividad eléctrica ubica estos suelos como no salinos.

Tabla 3. Análisis físico inicial del suelo en los tratamientos. Finca Dominó

Tratamientos	Densidad aparente (g cm^{-3})*		Porosidad (%)*		Infiltrac. (mm h^{-1})*
	0-26cm	26-60cm	0-26cm	26-60cm	
Testigo	1,70	1,80	34,60	30,80	0,52
Prácticas sostenibles	1,68	1,75	33,28	29,92	0,50

* Promedio de tres repeticiones

² Promedios con la misma letra en la columna no difieren estadísticamente según DMS en un nivel de significancia del 5%

Entre los horizontes 0-26 y 26-60 cm de profundidad no se encontraron diferencias significativas en los valores de pH, Ca, Mg, K, Na, (CICE, PSI), CE, P, S, Fe, B, Cu, Mn y Zn; sin embargo, se determinó mayor contenido de materia orgánica en el perfil de 0-26 cm de profundidad en relación con 26 – 60 cm, en ambos lotes; estos resultados indican que a medida que se profundiza en el perfil del suelo se disminuye la materia orgánica.

Tabla 4. Análisis químico inicial del suelo. Finca Dominó

Elementos	Testigo		Prácticas sostenibles	
	0-26 cm	0-26 cm	0-26 cm	0-26 cm
Textura	FA	A	FA	A
pH	6,21	6,96	6,28	8,02
Materia orgánica (%)	2,1	0,53	1,72	0,22
Fósforo (mg kg^{-1})	23,9	10,03	18,5	54,4
Azufre (mg kg^{-1})	0,73	4,19	5,14	12,0
Calcio (cmol kg^{-1})	9,38	10,6	8,5	11,5
Magnesio (cmol kg^{-1})	1,96	2,9	2,84	3,29
Potasio (cmol kg^{-1})	0,81	0,68	0,75	0,65
Sodio (cmol kg^{-1})	0,32	0,51	0,42	2,0
CICE (cmol kg^{-1})	12,74	14,69	12,51	17,44
Conductividad eléctrica (mmhos cm^{-1})	0,85	0,50	0,89	1,51
Saturación de sodio (%)	2,57	3,47	3,36	11,47
Hierro (mg kg^{-1})	34,2	14,2	30,0	15,2
Boro (mg kg^{-1})	0,03	0,03	0,20	0,03
Cobre (mg kg^{-1})	2,67	0,97	1,99	0,97
Manganeso (mg kg^{-1})	2,0	0,82	1,68	0,96
Cinc (mg kg^{-1})	1,72	0,49	1,6	0,37

Análisis microbiológico inicial del suelo

Los análisis microbiológicos de las muestras evaluadas demuestran que en general, las poblaciones de bacterias estuvieron dos unidades logarítmicas por encima de los actinomicetos y cuatro unidades por encima de los hongos. Estos resultados pueden estar asociados con las características del suelo, las cuales

favorecen el crecimiento de los microorganismos de mayor adaptación a las condiciones de pH y de humedad del terreno. En particular, la fisiología de las bacterias permite que estos microorganismos se desarrollen mejor en condiciones edafoclimáticas que permitan una adecuada multiplicación, mientras que algunos hongos y actinomicetos no tienen la capacidad de establecerse y mucho menos, multiplicarse y mantenerse (Tabla 5).

Tabla 5. Población microbiana inicial del suelo (ufc cm³)

Tratamientos	Bacterias	Hongos	Actinomicetos
Población Inicial	7,60	3,00	5,00

Los suelos tienen una inherente calidad relacionada y referida a sus características químicas, físicas y biológicas. Las propiedades biológicas del suelo pueden reflejar los cambios debidos al ambiente, evidenciando el efecto de determinadas prácticas de manejo sobre el estado de salud del suelo, es por eso que estas propiedades pueden ser empleadas como “bioindicadores”. Varios autores señalan que las propiedades microbiológicas de los suelos podrían reflejar diferencias entre prácticas de manejo apropiadas con fines de preservar la calidad de los agroecosistemas en el tiempo (Bending y Lincoln, 2007; Parkhurst *et al.*, 2002; Alkorta *et al.*, 2004; Breno *et al.*, 2009; Pérez *et al.*, 2010).

Producción de materia seca

En la estimación de la producción de forraje, predominó la presencia de *Bothriochloa pertusa* (95%) a la de *Cynodon nlemfuensis* (5%), observándose que las condiciones del suelo y la presentación atípica de bajas precipitaciones, favorecieron el establecimiento del *B. pertusa* con respecto al *C. nlemfuensis*.

Los resultados revelan mayor ($P \leq 0,05$) producción de materia seca aportada por la gramínea *B. pertusa* en el tratamiento con aplicación de prácticas sostenibles (2.378 kg ha⁻¹) en relación con el testigo (1656 kg ha⁻¹); esta diferencia en la producción de forraje (722 kg ha⁻¹ de MS), representa una cantidad superior equivalente al 44,2% y adicionalmente se obtuvo una oferta de 1.050 kg ha⁻¹ de MS de *L. leucephala* y 71 kg ha⁻¹ de MS de *C. ternatea* (Tabla 6).

El promedio de producción de materia seca de la gramínea en ambos tratamientos estuvo influenciado por el manejo rotacional de pastoreo establecido en el experimento y a la baja carga animal utilizada (Tabla 6).

Los valores de producción de materia seca registrados por Roncallo *et al.* (2009) en monocultivo de *B. pertusa*

Tabla 6. Producción de materia seca en la pastura con la aplicación de prácticas sostenibles del suelo.

Pastura	Producción gramínea	Producción <i>Leucaena leucephala</i>	Total
(kg MS/ha) ¹			
Testigo	1656 b	-	-
Prácticas sostenibles	2378 a	1050	3428

² Promedios con la misma letra en la columna no difieren estadísticamente según DMS en un nivel de significancia del 5%

(2,0 t ha⁻¹) y en arreglo silvopastoriles (3,6 t ha⁻¹) en suelos sin afectación de compactación, superan a los obtenidos en el presente estudio; sin embargo, se enmarcan en los resultados reportados por Cuadrado *et al.*, (1996), con rendimiento en la época de máxima precipitación, 0,54 a 2,7 t ha⁻¹ de MS, en cortes realizados con frecuencia de 3 a 12 semanas; así mismo, en mínima precipitación la producción de materia seca fue inferior a 0,26 t ha⁻¹.

Los rendimientos de producción de materia seca obtenidos, presentan la tendencia reportada por Mahecha *et al.* (2001) en el Valle del Cauca en suelos sin afectación de sus características físicas y químicas, quienes registraron los valores de 3,83 t ha⁻¹ de MS por corte en pasto estrella (*C. nlemfuensis*) y 989 t ha⁻¹ de MS en *L. leucocephala*.

Las informaciones registradas con las especies utilizadas como indicadoras, nos permiten inferir que existe una respuesta positiva del suelo para producir forraje, derivado de las aplicaciones de las prácticas sostenibles y expresadas con producciones razonables de las gramíneas y las leguminosas.

Composición botánica

La composición botánica en el testigo durante la rotación estuvo conformada por el predominio de *B. pertusa* (95,1%), sobre *Stylosanthes* spp. (0,005%) y las malezas (4,93%); entre tanto, en las áreas establecidas con la aplicación de prácticas sostenibles, durante la rotación, se caracterizó por la presencia de *B. pertusa* (64,5%), *C. nlemfuensis* (3,39%), *L. leucocephala* (28,48%), *C. ternatea* (1,92%) y malezas (1,70%), siendo la proporción de gramíneas: leguminosas de 69,1:30,9 (Figura 1).

Composición química del forraje

El contenido de proteína cruda y fibra detergente neutra de los diferentes componentes forrajeros predominantes en las praderas, indica una oferta forrajera de mayor calidad nutricional en el arreglo silvopastoril en relación con el testigo, en ambas condiciones climáticas (sequía y lluvia). Los resultados revelan la presentación de pequeñas variaciones en los forrajes en estos indicadores en las estaciones de sequía y lluvia, y no se reflejó de

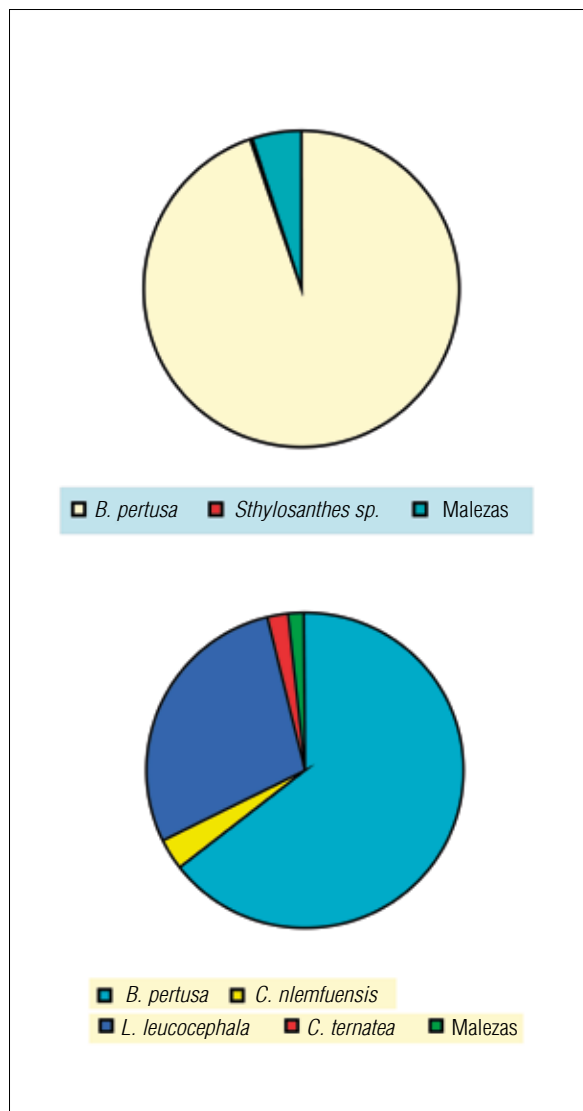


Figura 1. Composición botánica de las praderas testigo y con aplicación de prácticas sostenibles

manera considerable en la composición química de la gramínea predominante (*B. pertusa*) si no en la variable producción de materia seca; esta respuesta en la calidad de la gramínea sumada a la contribución de las leguminosas (*Leucaena leucocephala* y *Clitoria ternatea*) mejoran la oferta cualitativa de forraje en los tratamientos donde se aplicaron las prácticas sostenibles, en ambas estaciones (Tabla 7), siendo un efecto asociado a las especies sembradas.

Cuadrado *et al.* (1996), en suelos de mayor fertilidad, registraron contenidos de proteína cruda en *B. pertusa* con la misma tendencia del presente estudio, que oscilaron de 5,4 a 11,3%, en cortes efectuados de 3 a 12 semanas de edad en la época de máxima precipitación y de 5,3 a 8,5%, en las mismas edades de corte, en mínima precipitación; entre tanto, Roncallo *et al.* (2009), reportaron contenidos

de proteína cruda desde 3,7% en monocultivo hasta 7,7%, asociado a *L. leucocephala*.

En las especies *L. leucocephala*, *C. ternatea* y *B. pertusa* establecidas en los suelos donde se aplicaron las prácticas sostenibles se observó un menor contenido de FDN en relación con el testigo (*B. pertusa*); se ha determinado que existe una correlación negativa entre el consumo animal en pastoreo y el contenido de FDN en los forrajes; por lo tanto, se infiere que los animales del grupo testigo presentaron un menor consumo de materia seca, lo cual pudo contribuir con las menores ganancias de peso obtenidas (Tabla 7).

Tabla 7. Contenido de proteína cruda (PC) y fibra detergente neutra (FDN) en los forrajes

Especie forrajera	PC	FDN
	%	
<i>B. pertusa</i> . Testigo mínima precipitación	7,90	61,00
<i>B. pertusa</i> . Prácticas sostenibles mínima precipitación	9,60	59,60
<i>B. pertusa</i> . Testigo máxima precipitación	7,00	63,90
<i>B. pertusa</i> . Práctica sostenible máxima precipitación	7,00	61,60
<i>L. leucocephala</i> . Práctica sostenible mínima precipitación	18,80	41,60
<i>L. leucocephala</i> . Práctica sostenible máxima precipitación	20,10	30,80
<i>Clitoria ternatea</i> . Práctica sostenible mínima precipitación	14,90	51,80
<i>Clitoria ternatea</i> . Práctica sostenible máxima precipitación	17,90	51,50

Ganancia de peso en terneros de levante

En la variable ganancia de peso, los resultados revelan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos.

Las ganancias de peso de los terneros, obtenidas en la pradera establecida en los suelos en recuperación (659 g/animal/d) fue mayor ($P \leq 0,05$) a la presentada por el grupo testigo (450 g/animal/d), la cual es equivalente a un incremento de ganancia de peso de 46,3% del grupo experimental con respecto al testigo; este resultado indica que la tasa más rápida de crecimiento derivada de una pradera capaz de persistir productiva en un suelo en proceso de recuperación puede conducir a un menor tiempo del ciclo de ceba de los animales.

También se puede apreciar una mayor ganancia de peso por unidad de área (ha) ($P \leq 0,05$), con 230,5 kg ha⁻¹ para el tratamiento de pradera en recuperación, frente a un testigo sin intervención de manejo con 145,7 kg ha⁻¹ (Tabla 8).

En el tratamiento donde se aplicaron las prácticas sostenibles, la ganancia de peso en el periodo evaluado (160 kg/animal), presenta un mayor incremento en comparación con el testigo (109 kg/animal); este efecto puede atribuirse a las prácticas sostenibles aplicadas, con una alta responsabilidad de los forrajes de cobertura establecidos en un arreglo silvopastoril, que puede reflejarse en el beneficio generado en la actividad ganadera.

Tabla 8. Ganancias de peso de terneros en pradera establecida en suelos deteriorados y en proceso de recuperación

Tratamientos	Ganancia de peso (g/animal/día)	Ganancia de peso (kg/periodo) ¹	Ganancia de peso (kg ha ⁻¹)
Testigo	450 b	109 b	145,70 b
Prácticas sostenibles	659 a ²	160 a	230,50 a

¹ La ganancia total es el promedio del grupo en un ciclo de 240 días

² Promedios con la misma letra en la columna no difieren estadísticamente según DMS en un nivel de significancia del 5%

La misma tendencia en la ganancia de peso fue obtenida por Chamorro (2002), quien reportó mayores ganancias en pasturas de *Bothriochloa pertusa* y *Leucaena leucocephala* con respecto al monocultivo de *Bothriochloa pertusa*. En Cuba, la respuesta en ganancia de peso de terneros de levante en potreros de *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum* cv Likoni, estuvo influenciada por el genotipo de los animales y se obtuvieron ganancias diarias por animal de 0,691; 0,472; 0,363 y 0,370, en F1 Holstein x Cebú, Siboney mestizo, Siboney y Mambí, respectivamente (Simón *et al.*, 2009).

En esta misma localidad, en sistemas asociados de *Leucaena leucocephala* con *Panicum maximum* se reportan ganancias de peso vivo de 500 a 600 g/animal/d en novillos jóvenes de ceba y 800 kg de carne/ha/año (Iglesias *et al.*, 2006).

Las tendencias en las ganancias de peso de los novillos en estos experimentos desarrollados en suelos sin afectación de sus propiedades físicas y químicas, indican, que en

el presente trabajo, ha sido positiva la aplicación de las prácticas sostenibles en suelos deteriorados, lo que se expresa en una mejor respuesta animal.

CONCLUSIONES

Existe una respuesta positiva del suelo para producir forraje, derivado de las aplicaciones de las prácticas sostenibles, expresado con un aumento de la producción de materia seca de la gramínea, equivalente a 44,2% con respecto al testigo.

El establecimiento de gramíneas (*Bothriochloa pertusa*) y leguminosas (*Leucaena leucocephala* y *Clitoria ternatea*), generó un incremento en la producción de forraje en términos cuantitativos y cualitativos (aumento en la oferta de proteína).

En el proceso de recuperación del suelo se obtuvo una mayor ganancia de peso de los terneros de levante, equivalente a 46,3%, en relación con el testigo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al doctor Jorge Saade, propietario de la finca donde se desarrolló la investigación de igual forma a los auxiliares de técnico de la Estación Experimental de Motilonia, señores: Luis García, Edelberto Maestre, Angel Martínez y Julio Ramos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkorta I, Hernández-Allica J, Becerril JM, Amezcua I, Albizu I, Garbisu C. 2004. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Rev Environ Sci Biotechnol* 3:71-90.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. 1995. Official methods of analysis. 15a ed. Washington DC.
- Bending G, Lincoln SD. 2007. Fungicide impacts on microbial communities in soils with contrasting management histories. *Chemospher* 69:82-88.
- Boivin P, Schaffer B, Temgoua E, Gratier M, Steinman G. 2006. Assessment of soil compaction using soil shrinkage modelling: Experimental data and perspectives. *Soil Till Res* 88:65-79.
- Bonilla R, Murillo J. 1998. Desarrollo de sistemas de manejo para la recuperación de suelos compactados de los departamentos de la Guajira, Cesar y Magdalena. En: Memorias Encuentro nacional de labranza de conservación. Villavicencio. pp 195-216.
- Breno P, Onã da Silva F, Nahas E. 2009. Microbial alterations of the soil influenced by induced compaction. *Rev Bras Ciênc Solo* 33(5):1207-1213.
- Brussaard L, Van Faassen HG. 1994. Effects of compaction on soil biota and soil biological processes. En: Soane BD, Van Ouwerkerk C, editores. *Soil compaction in crop production*. Amsterdam: Elsevier. pp. 215-235.
- Castro F, Amézquita CE. 1991. Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. *Suelos Ecuat* 21(1):21-28.
- Corpoica. 2010. Protocolo para el recuento de microorganismos del suelo mediante la técnica de recuento en placa. Laboratorio de Microbiología de Suelos. Mosquera, Colombia.
- Cuadrado H, Torregrosa L, Ballester J. 1996. Producción y composición química del pasto Colosoana (*Bothriochloa pertusa*) en diferentes épocas y edades de rebrotes. Bogotá: Corpoica.
- Chamorro D. 2002. Importancia de la proteína en la nutrición de rumiantes con énfasis en la utilización de proteínas de especies arbóreas. En: Memorias del Seminario- Taller Internacional sobre Manejo de La Proteína en Producción de Ganado Bovino. Bogotá: Corpoica. pp. 16.
- Golding EJ, Carter MF, Moore JE. 1985. Modification of the neutral detergent fiber procedure for hay. *J Dairy Sci* 68:2732-2736.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 1989. El Análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de Asistencia Técnica No. 47. Bogotá.
- Intotec, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2008a. NTC 5298 - Calidad de suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. Bogotá.

- Icontec, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2008b. NTC 5596 - Calidad de suelo. Determinación de la conductividad Eléctrica. Bogotá.
- Iglesias J, Simón L, Lamela L, Hernández D, Hernández I, Milera M, Castillo E, Sánchez T. 2006. Sistemas agroforestales en Cuba: algunos aspectos de la producción animal. *Pastos y forrajes* 29(3):217-236.
- Mahecha L, Duran CV, Rosales M, Molona CH. 2001. Grazing, browsing time and milk production of lucerna cows in a silvopastoral system in different seasons of the year. En: *International Symposium on Silvopastoral Systems y II Congress on Agroforestry and Livestock Production in Latin America*. San José.
- Murillo, J. 2002. Propiedades físicas del suelo y relación con los sistemas de labranza. En: *Memorias Foro Tecnológico Estrategias de Organización, Comercialización y Tecnologías para Mejorar la Competitividad del Sistema de Producción del Algodón en el Cesar y Guajira*. Bogotá: FFA; Conalgodon; ICA; Corpoica. pp. 27-36.
- Nevens F, Reheul D. 2003. The consequences of wheel-induced soil compaction and subsoiling for silage maize on a sandy loam soil in Belgium. *Soil Till Res* 70:175-184.
- Pankhurst C, Kirkby C, Hawke B, Harch B. 2002. Impact of a change in tillage and crop residue management practice on soil chemical and microbiological properties in a cereal-producing red duplex soil in NSW, Australia. *Biol Fertil Soils* 35(3):189-196.
- Pérez C, Huidobro J, Conforto C, Arzero J, March G, Merlies J, Vargas S. 2010. Impacto de los sistemas de labranza sobre indicadores biológicos de calidad de suelo. En: *XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Rosario, Argentina,
- Roncallo B, Barros J, Bonilla R, Murillo J, Del Toro R. 2009. Evaluación de arreglos agrosilvopastoriles en explotaciones ganaderas de la microrregión Bajo Magdalena. *Rev Corpoica* 10(1):60-69.
- Simón L, Hernández K, López O. 2009. Comportamiento productivo de machos Holstein X Cebú en silvopastoreo (*Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum* cv Likoni). *Pastos y forrajes* 32(2):1-1
- Soane BD, Van Ouwerkerk C. 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil Till Res* 35:5-22.
- Soto, F. 2008. Políticas públicas y la nueva situación en los precios internacionales de los alimentos. Programa Dinámicas Territoriales Rurales. Santiago: Rimisp.
- Sullivan, P. 2007. El manejo sostenible de los suelos. En: *Attra*, www.attra.ncat.org/espanol/pdf/suelos.pdf; consulta: junio de 2012.
- Toledo JM, Schultze-Kraft R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: Toledo JM, editor. *Manual para la evaluación agronómica*; Red Internacional de Evaluación de pastos tropicales. Cali, Colombia: CIAT. pp. 21-110.
- T'Mannetje L. 1978. Measuring quantity of grassland vegetation. En: T'Mannetje, L (ed). *Measuring quantity of grassland vegetation and animal production*. Bulletin No. 52. Berkshire, UK: Hurley. pp. 63-90.
- T'Mannetje L, Haydock KP. 1963. The dry weight – rank method for the botanical analysis of pasture. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:268-275.
- USDA. 1996. Soil survey laboratory methods manual. *Soil Survey Investigations*. Report No. 42. Versión 3. Washington DC: Department of Agriculture.
- Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263.
- Whalley WR, Dumitru E, Dexter AR. 1995. Biological effects of soil compaction. *Soil Till Res* 35:53-68.
- Zhang S, Grip, H, Lovdahl L. 2006. Effect of soil compaction on hydraulic properties of two loess soils in China. *Soil Till Res* 90:117-125.