



SISTEMAS INTEGRADOS:

**AGRICOLA - GANADERO - FORESTAL, PARA EL
DESARROLLO DE LA ORINOQUIA COLOMBIANA**

26214
3 cop



2621A
3 ca

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

30 SET. 2013

62679

MANUAL TÉCNICO

SISTEMAS INTEGRADOS: AGRÍCOLA – GANADERO – FORESTAL, PARA EL DESARROLLO DE LA ORINOQUIA COLOMBIANA

Convenio MADR-Corpoica-CIAT. 2011-2012



Autores

Álvaro Rincón Castillo¹ - Hernando Flórez Díaz²

¹IA, PhD, Investigador de Corpoica C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta, Colombia.
²MVZ, MSc, PhD, Investigador de Corpoica C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta, Colombia.

Villavicencio, Meta, 2013

Rincón Castillo, Álvaro; Flórez Díaz, Hernando / Manual técnico: Sistemas integrados: agrícola – ganadero – forestal, para el desarrollo de la Orinoquia colombiana. Villavicencio (Colombia): CORPOICA, 2013. 112 p.

Palabras clave: GANADERÍA, CULTIVOS, SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES, ALIMENTACION DE LOS ANIMALES, BIENESTAR ANIMAL, ORINOQUÍA (REGIÓN), COLOMBIA



Esta publicación es el producto de varios trabajos de investigación y su impresión es posible gracias a los proyectos: *Evaluación y desarrollo de materiales forrajeros para integrarlos a sistemas de producción de la Orinoquia* y *Aprender para innovar: compartir conocimientos y fortalecer capacidades para la vinculación tecnológica de la Altillanura*, financiados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Convenio MADR-Corpoica-CIAT.

EQUIPO COLABORADOR, INVESTIGADORES Y PERSONAL DE APOYO

I.A. MSc. Samuel Caicedo G.; I.A. PhD. José Eurípides Baquero P;
I.A. MSc. Otoniel Pérez López; Z. MSc. Guillermo Bueno Guzmán;
Z. MSc. Óscar Pardo Barbosa; MVZ. Oscar Cerinza; I.A. Eduardo Rojas;
A. T. Carlos Toro

PROPIETARIOS DE FINCAS

Alberto Durán. Finca Santana, Puerto López, Meta
Jorge Lozano. Finca la Gloria, Puerto López, Meta
Alfonso Castro. Finca Andremoni, Puerto López, Meta.



© Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica
CI, La Libertad, Villavicencio, Meta. Colombia

ISBN: 978-958-740-152-3
CA: C04307
CUI: 1447
Manual técnico No. 17
Edición: César Augusto Jaramillo S., Investigador de Transferencia de Tecnología.
Corpoica C.I. La Libertad.
Fotografías: Álvaro Rincón C.
César Augusto Jaramillo S. (Carátula)
Primera edición: Julio de 2013.
Tiraje: 1000 ejemplares

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@corpoica.org.co
www.corpoica.org.co

Impreso en Colombia
Printed in Colombia

La presente publicación ha sido elaborada con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de los investigadores y en ningún caso debe considerarse que refleja los puntos de vista del MADR.

PRESENTACIÓN

La utilización de los sistemas integrados, con sus tres componentes: agrícola – ganadero y forestal, se constituye en la mejor alternativa para que la ganadería colombiana pueda llegar a ser competitiva en los mercados externos e internos con productos de carne y leche de buena calidad. Lo cual no es posible lograrlo en las actuales circunstancias con indicadores de productividad tan bajos como la capacidad de carga inferior a un animal/ha, producción de carne menor a 500 g/an/día, y una productividad de carne de 180 kg/ha/año; la producción de leche menor a cuatro litros/vaca/día, que representa una productividad inferior a 1000 litros/ha/lactancia.

En esta publicación, se presenta en forma detallada las recomendaciones sobre las diferentes prácticas para el establecimiento y manejo de los sistemas agrosilvopastoriles. En el primer capítulo, se hace una descripción del establecimiento y manejo de la asociación maíz-pastos, donde se incluye los aspectos relacionados con las condiciones de clima, preparación de suelos, aplicación de enmiendas y fertilizantes, siembra, manejo del cultivo, cosecha y manejo del pastoreo. El segundo capítulo, hace referencia al uso de los cultivos como estrategia de alimentación de bovinos durante la época seca, mediante diferentes alternativas de cultivos – pastos para la elaboración de ensilajes. En el tercer capítulo, se presentan los efectos de los sistemas agrosilvopastoriles en las propiedades químicas y físicas de los suelos, con estudios de tres años en la evolución de la concentración de minerales y el efecto en la compactación en los suelos; se presenta el caso de una finca de la Altillanura plana, donde por un período de cinco años se realizó la rotación de cultivos para luego establecer pastos. En el cuarto capítulo, se dan las recomendaciones para el establecimiento de un banco de proteína arborizado que contribuirá a una mejor alimentación y al bienestar animal.

La investigación realizada por Corpoica, desde la década de los noventa y la validación realizada en fincas de productores en sistemas agrosilvopastoriles,

son la base para la entrega de esta tecnología que beneficia a los diferentes sistemas ganaderos desarrollados en la Orinoquia colombiana. Con la que se ha demostrado que la capacidad de carga se puede aumentar a más de 2 an/ha, la productividad de carne se puede llevar a un promedio de 550 kg/ha /año; en tanto, la leche puede incrementarse a 2700 litros/ha/lactancia, que representa un aumento, en los dos productos, cerca al 200%.

Es un documento que da cuenta de los resultados de algunas de las investigaciones realizadas en el subsector pecuario de la Altillanura colombiana, que ha sido posible gracias a los recursos de cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, dentro del marco del convenio MADR-Corpoica-CIAT, formulado para buscar la cooperación técnica y científica para el desarrollo sostenible y competitivo de la Orinoquia colombiana.

RUBÉN ALFREDO VALENCIA RAMÍREZ
Director de C.I. La Libertad
Corpoica

BIBLIOTECA

Compra

Copia

Procesado por: **Corpoica**

Fecha: **30 SET. 2013**

CONTENIDO

Presentación	3
Introducción	7
CAPÍTULO 1.	
Establecimiento y manejo de la asociación maíz-pastos para la producción de carne bovina	10
Establecimiento de la asociación maíz-pastos	11
• Condiciones de clima	11
• Preparación de suelos	14
• Aplicación de enmiendas	15
• Siembra	19
• Fertilización	22
• Control de plagas	22
Desarrollo de la asociación maíz-pastos	23
Producción de forraje y de carne bovina en las praderas renovadas con maíz	29
• Producción de forraje	29
• Calidad nutritiva del forraje	32
• Producción de carne bovina	34
• Beneficios económicos.	39
Rentabilidad del establecimiento o renovación de praderas con el cultivo de maíz	41
Conclusiones	42
Bibliografía	43
CAPÍTULO 2.	
Uso de cultivos como estrategia de alimentación de bovinos durante la época seca	45
Alternativas para el establecimiento y manejo de forrajes de cosecha	48
• Renovación de praderas con maíz o sorgo forrajero	49

LIBRO DE INVESTIGACIÓN
DE COLOMBIA

• Renovación de praderas con maíz o sorgo forrajero más la soya forrajera	52
• Rotación de maíz o sorgo forrajero con soya forrajera y posterior siembra de pastos	54
Cosecha de cultivos y almacenamiento en silos	56
• Calidad nutritiva del ensilaje de maíz más soya forrajera	57
• Establecimiento de pastos	59
• Producción animal	60
• Beneficios económicos	61
Establecimiento o renovación de praderas con la asociación soya-pastos	62
• Cosecha de la asociación soya-pastos	66
• Calidad nutritiva de la mezcla gramínea-leguminosa	68
Conclusiones	68
Bibliografía	69
CAPÍTULO 3.	
Sistemas agropastoriles y sus efectos en las propiedades químicas y físicas de los suelos	70
Aplicación de enmiendas y fertilizantes	72
Cambios en la concentración de minerales en el suelo bajo sistemas agropastoriles	73
Concentración de minerales en el grano y la soca de maíz	81
Extracción de minerales por el maíz y los pastos hasta la cosecha del grano	82
Extracción de minerales en la fase de pastoreo	84
Cambios en las condiciones físicas de los suelos bajo sistemas agropastoriles	86
• Piedemonte llanero	86
• Altillanura bien drenada	89
Estudio de caso	90
Cambios en la fertilidad de los suelos durante cinco años en rotación de cultivos y cuatro años de pastoreo	90
Conclusiones	99
Bibliografía	99
CAPÍTULO 4.	
Bancos de proteína arborizados en sistemas agrosilvopastoriles	101
Conclusiones	110
Bibliografía	110

INTRODUCCIÓN

La población ganadera en Colombia es aproximadamente de 27 millones de vacunos, que se explotan en 39 millones de hectáreas de pasturas y rastrojos, equivalentes al 77% de la superficie nacional agropecuaria (CCI-MADR, 2010), con una carga animal de 0,7 an/ha. En el departamento del Meta, en 4,6 millones de hectáreas (86% del área total del departamento) se tiene una población de 1.7 millones de cabezas, lo que representa una carga animal de 0,36 cabezas/ha (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural del Meta, 2011), como consecuencia de la baja disponibilidad de forraje de buena calidad en los pastos nativos y de la degradación de las praderas introducidas, constituidas principalmente por el *Brachiaria decumbens*, ocasionada por varios factores como la falta de fertilización en el establecimiento y mantenimiento, y la presencia de plagas y sobrepastoreo, lo cual ha hecho que la productividad de carne bovina sea de 150 kg/ha/año (Rincón, 2006).

El uso de pastos en la producción de ganado bovino es la forma más económica de alimentación, cuando son bien manejados y utilizados, respetando las características fisiológicas y las exigencias de clima y de fertilidad del suelo. Sin embargo, el escenario de las pasturas en el mundo es diferente, porque gran parte de estas áreas se encuentran degradadas (Menezes y Silveira, 2004). La problemática de la degradación de las praderas está generalizada en las sabanas de América tropical, que tienen una extensión de 250 millones de hectáreas, incluyendo a los Llanos de Colombia y Venezuela, y los Cerrados del Brasil (Kerridge, 2001; Rippstein *et al.*, 2001); este proceso de deterioro ya supera el 60% de esta área. En los Llanos colombianos se estima que de las 1.800.000 ha en pastos introducidos, 1.000.000 ha se encuentran en proceso de degradación, por lo que se están dejando de producir 154.000 toneladas de carne al año, que equivalen a 342.000 novillos con un peso de 450 kg/animal.

Ante las perspectivas de desarrollo económico basado en los tratados de libre comercio, Colombia tiene la oportunidad de participar de una forma más

activa en el mercado mundial de carne bovina (Conpes, 2010); por lo tanto, se debe mejorar la productividad animal mediante el mejoramiento genético y el manejo sanitario de los bovinos, junto con la utilización tecnificada de las pasturas y de suplementos forrajeros que permitan aumentar los rendimientos de carne y leche de buena calidad.

La Altillanura plana, desde hace más de diez años, ha sido escenario de un importante desarrollo agroindustrial, que con el esfuerzo del gobierno y de empresarios del campo se espera convertir en una importante zona productora de alimentos para el país, en la que la carne bovina se constituye en uno de los productos con más ventajas comparativas de producción, para en corto tiempo contribuir a los mercados internos con carne de buena calidad y posteriormente participar en el mercado de exportación, bajo un sistema de explotación agrosilvopastoril en el que la rentabilidad, el mejoramiento y la conservación de los recursos naturales contribuirán a la competitividad de la ganadería de esta región.

En la Altillanura plana (3.500.000 ha) y en las terrazas altas del Piedemonte (300.000 ha), la asociación maíz-pastos es una buena alternativa para el establecimiento de praderas y para mejorar aquellas que ya se establecieron y se encuentran degradadas. Este sistema trae beneficios al suelo, porque se mejora su fertilidad; al pasto, porque se obtienen mayores producciones de biomasa de mejor calidad, y al productor, porque con la cosecha del cultivo cubre en gran medida los costos de la renovación de la pradera (Valencia *et al.*, 1999; Vilela *et al.*, 2003); y gracias a la disponibilidad de mejores pastos, la productividad ganadera es mayor en un tiempo más corto.

Para el establecimiento de sistemas agrosilvopastoriles se cuenta con cultivos adaptados a las condiciones agroecológicas de la Altillanura, como maíz, sorgo, arroz y soya, y pastos con alto potencial de producción de forraje, como son el Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha*), Pasto Mulato II (Híbrido de *Brachiaria*) y algunas variedades de *Panicum maximum* como el Mombaça y el Tanzania, los cuales pueden ser asociados con leguminosas forrajeras como el Kudzú (*Pueraria phaseoloides*), Maquenque (*Desmodium ovalifolium*) o el capica (*Stylosanthes capitata*). Las especies forestales recomendadas para estos sistemas son: *Acacia mangium*, *Gmelina arborea*, *Eucalipto pellita* y especies nativas como Yopo (*Anadenanthera peregrina*) y Cañafistol, que han pasado por un proceso de selección durante varios años, con atributos importantes de rápido establecimiento en condiciones de suelos

La integración del componente arbóreo a los sistemas ganaderos en la Orinoquia colombiana se constituye en una práctica necesaria para beneficio del suelo, el aire, el bovino y el productor. En el suelo, porque por intermedio del reciclaje de

nutrientes contribuye a mejorar su fertilidad; al aire, porque mediante la toma de gas carbónico para la fabricación de madera contribuye a la disminución en la contaminación ambiental; al bovino, porque le brinda comodidad al ofrecer el sombrío indispensable, especialmente en el trópico bajo; y al productor, porque obtiene una mejor productividad de carne o leche, y además, cumple con los requerimientos de las buenas prácticas ganaderas.

Las tecnologías en sistemas agrosilvopastoriles contribuyen al desarrollo de una ganadería más productiva, con base en un sistema de alimentación bajo pastoreo con forrajes de mayor producción, de biomasa de mejor calidad nutritiva y permite la producción y uso de forrajes conservados para la alimentación de los bovinos en la época seca. El conocimiento de la integración del sistema suelo – planta – animal, esencial para el manejo del sistema ganadero, con aspectos que tienen que ver con la evolución de la concentración de minerales en suelos y pastos, conducirán a una actividad sostenible y a la reducción en la degradación de praderas y de pérdidas en la rentabilidad de la empresa ganadera en la región.

CAPÍTULO 1.

ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ - PASTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE BOVINA

*Álvaro Rincón Castillo*¹

La siembra de los cultivos asociados de maíz y pastos, con el fin de establecer o renovar praderas, es una demostración de los beneficios que ofrece la integración de la agricultura y la ganadería para la obtención de productos competitivos para beneficio de los productores, las empresas comercializadoras y los consumidores. Las recomendaciones tecnológicas que se presentan en esta publicación han sido probadas con éxito en fincas de productores de la Altillanura y del Piedemonte llanero durante los últimos 10 años, por lo tanto son opciones validadas para que el productor las adopte.

Los productos que se obtienen en la integración de cultivos, por una parte está la cosecha del maíz, que puede ser con corte de toda la planta para obtener forraje ensilado a la edad de 80 días, o grano de maíz, el cual es cosechado cuatro meses después de la siembra. Cualquiera que sea el destino que se le dé al maíz en su cosecha, también se obtienen pastos con alta disponibilidad de forraje para los bovinos. En los últimos años, también se ha utilizado el sorgo o la soya como cultivos asociados con los pastos, con buenos resultados, especialmente para su utilización como forrajes conservados en silos para la alimentación animal en la época seca o como suplemento alimenticio en cualquier época del año.

Brasil es el país que más adelantos tiene en el desarrollo de sistemas agropastoriles en la América tropical; estos sistemas se realizan en el Cerrado brasileiro con el propósito de recuperar la productividad de las pasturas degradadas en áreas mecanizables y de restablecer las condiciones del suelo en sistemas de cultivos

¹ I.A. PhD. Investigador de Corpoica C.I. La Libertad. arincon@corpoica.org.co

anuales. Se fundamenta en la producción asociada de cultivos de granos como maíz, sorgo, mijo, arroz y soya, con especies forrajeras tropicales especialmente del género *Brachiaria*. Las tecnologías adoptadas por los productores, denominadas “sistema Barreirao” y “sistema Santa Fe”, además de mejorar la productividad animal en la finca, mejoran las condiciones químicas y físicas de los suelos, favorecen el enraizamiento profundo de las forrajeras, una mejor cobertura y una menor degradación de los suelos, la reducción del ritmo de deforestación de nuevas áreas especialmente en la Amazonia, de la erosión de las cuencas de los ríos, y la disminución del uso de productos químicos para el control de malezas y plagas, (Kluthcouski *et al.*, 1999; Kluthcouski y Aidar, 2003).

El establecimiento y recuperación de praderas con cultivos como el maíz y las rotaciones de los cultivos de maíz y soya han demostrado la gran viabilidad biológica y económica para la región, por los altos rendimientos obtenidos y el mejoramiento de las condiciones químicas de los suelos, a las cuales han contribuido las enmiendas aplicadas con cal y el uso racional de fertilizantes. Los trabajos realizados en Colombia en sistemas agropastoriles se basan en el sistema arroz-pastos y maíz-pastos, con trabajos realizados en algunas fincas de la Altillanura y en los Centros de Investigación (Sanz *et al.*, 1999; Corpoica, 2002; Corpoica, 2003). El éxito de los resultados obtenidos permitió validar y ajustar esta tecnología en áreas comerciales de fincas de productores. Durante los tres últimos años se han sembrado más de 10.000 ha de maíz en la Altillanura colombiana, con un rendimiento promedio de 4 t/ha. Las experiencias en estas fincas han demostrado que a nivel comercial se pueden obtener hasta 6 t/ha de grano.

Establecimiento de la asociación maíz-pastos

Condiciones de clima

El establecimiento de la asociación maíz-pastos se realiza en forma simultánea, preferiblemente a comienzo de lluvias, en los meses de marzo y abril. De esta forma, no se presentan contratiempos en las diferentes actividades, como la preparación de suelos y la siembra. Actividades tardías para el establecimiento de los cultivos, realizadas en los meses lluviosos de mayo, junio y julio, ocasionan una alta pérdida de suelo por erosión y el arrastre de fertilizantes y semillas por escorrentía. Además, por la alta humedad del suelo en esta época, las malezas se constituyen en un problema que tiene que controlarse para evitar competencia con los cultivos. Además de la pérdida de insumos, se aumentan los costos de mano de obra y maquinaria por retrasos en las siembras, afectando negativamente la rentabilidad y la sostenibilidad de los sistemas integrados.

La otra época propicia para realizar las siembras es en el “veranillo” de agosto, porque las lluvias disminuyen a un promedio de 300 mm en el Piedemonte y en la Altillanura. En la Altillanura es necesario instalar más estaciones

meteorológicas para conocer con mayor precisión el comportamiento del clima en esta extensa región. Al parecer, el comportamiento de las lluvias en algunos sitios es diferente a como aparece registrado en la poca información conocida, como lo sucedido en la finca Santana, donde se ha hecho seguimiento a la precipitación durante los últimos 10 años, encontrando un promedio total de 3.500 mm, lo cual no concuerda con la información que tradicionalmente se ha tenido, de menos de 2.500 mm anuales (Figura 1). La precipitación que se presenta del Piedemonte llanero corresponde a la estación meteorológica del Corpoica La Libertad, donde la precipitación total se acerca a 3.000 mm; sin embargo, se han encontrado en otros sitios del Piedemonte llanero lluvias que superan los 5.000 mm.

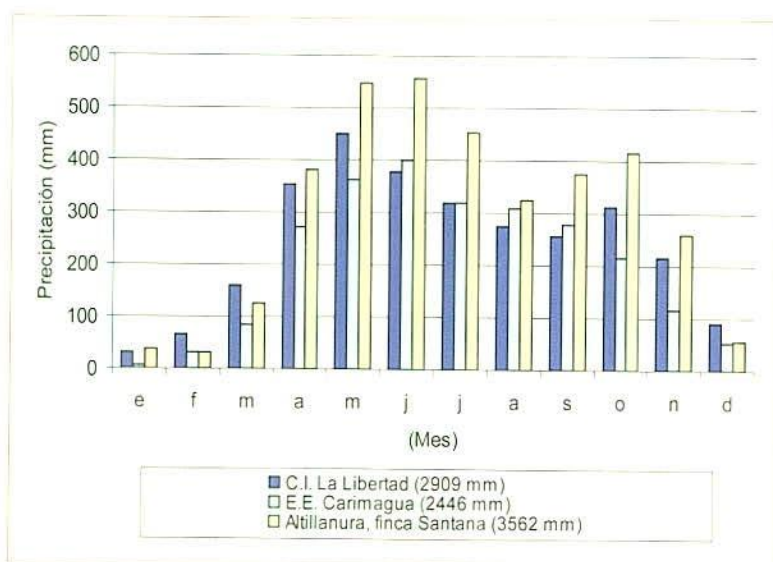


Figura 1. Precipitación en el Piedemonte llanero (C.I. La Libertad, promedio de los últimos 32 años) y en la Altillanura (E.E. Carimagua y finca Santana, en Puerto López, Meta, promedio de los últimos 10 años).

El comportamiento de las lluvias, particularmente en la Altillanura, ha tenido una gran variación en los últimos años (Figura 2). Desde el año 2005 hasta el 2009 se presentó un promedio de 4.600 mm, siendo el año 2006 el más lluvioso con 5.500 mm. En estos años se registraron como los meses más lluviosos: mayo, junio y julio, con valores que estuvieron entre 800 y 1.000 mm, cuando tradicionalmente no han superado los 400 mm.

En los años 2010 y 2011, las lluvias han disminuido a un total de 2.400 y 2.300 mm, respectivamente, que corresponde a la información que tradicionalmente se ha tenido sobre la precipitación en esta región; sin embargo, la curva anual del

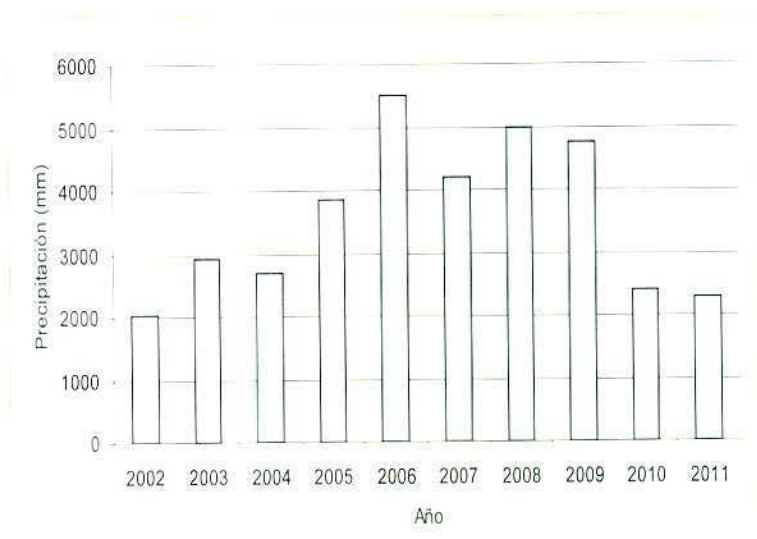


Figura 2. Precipitación anual total en la Altillanura durante los últimos 10 años. Finca Santana, en Puerto López, Meta.

comportamiento de lluvias ha cambiado (Figura 3), principalmente en octubre, que ha sido el mes más lluvioso en el segundo semestre; pero, en estos dos últimos años las lluvias en este mes han estado en aproximadamente 150 mm. Las siembras de maíz para ensilaje realizadas en septiembre presentaron baja producción de biomasa por estrés hídrico en los primeros 45 días de desarrollo

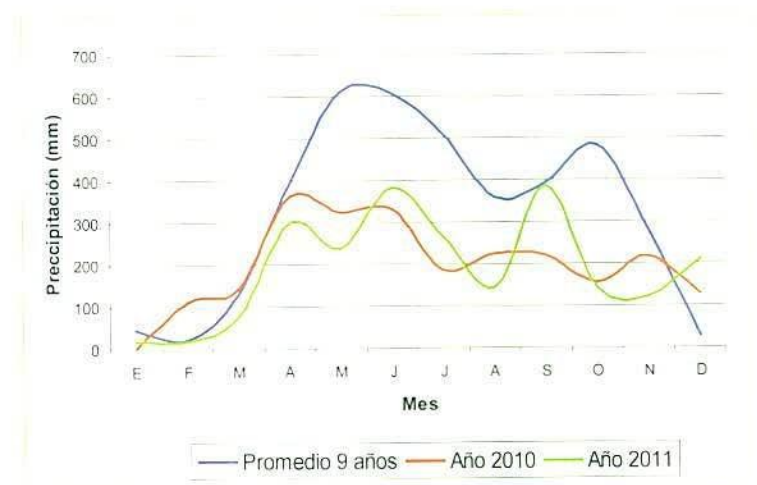


Figura 3. Precipitación de los últimos nueve años, comparada con la de los años 2010 y 2011 en la Altillanura plana, Finca Santana, en Puerto López, Meta.

del cultivo, que es cuando más requieren agua para cumplir con sus procesos fisiológicos. Por consiguiente, bajo las actuales circunstancias de cambios en la precipitación en la Altillanura, se corre el riesgo de perder la inversión cuando las siembras se realizan después de agosto.

Preparación de suelos

La preparación de suelos para el establecimiento de la asociación maíz-pastos se recomienda iniciarla a finales de las lluvias del año anterior (noviembre, diciembre), a la cual se le ha denominado *preparación temprana*. Esto es importante, especialmente en la Altillanura, para hacer control de las hormigas, cuya alta población en la mayoría de las fincas puede afectar el establecimiento de los cultivos, especialmente el pasto. Otro beneficio que tiene la preparación temprana es el ahorro de tiempo para iniciar las siembras oportunamente en abril.

Para lograr una mejor acción de los implementos agrícolas, antes de iniciar la labranza es necesario disminuir la biomasa presente en el terreno, con un pastoreo realizado con un alto número de animales o mediante el corte con guadaña o con desbrozadora. Posteriormente se hace un pase de rastra para reducir la cobertura del pasto y brindar mejores condiciones para la acción de los cincelos, los cuales deben trabajar a una profundidad mínima de 25 cm (Figura 4). El número de pases de cada implemento puede variar de acuerdo



Figura 4. Labranza vertical con cincel rígido para el establecimiento de la asociación maíz-pastos.

con la cantidad de biomasa presente en el área antes de la labranza y con la textura del suelo. Suelos con mayor contenido de arcilla generalmente exigen una mayor intensidad de la labranza.

Otro aspecto a tener en cuenta es la compactación por pisoteo del ganado o por condiciones físicas naturales de los suelos de esta región, demostrada por la alta densidad aparente, encontrada entre 0 y 10 cm y entre 10 y 20 cm de profundidad (Tabla 1). Se ha considerado, en oxisoles, un valor adecuado de 1,3 g/cc de densidad aparente para el buen desarrollo de las raíces; sin embargo, en los suelos de la Altillanura ha estado entre 1,5 y 1,7 g/cc, y en el Piedemonte este valor ha estado entre 1,4 y 1,5 g/cc. En consecuencia, la concentración de poros donde se almacena agua y oxígeno es baja, lo cual influye negativamente en el desarrollo de las raíces de las plantas.

Tabla 1. Características físicas de los suelos, a dos profundidades antes de la preparación de suelos en fincas de la Altillanura plana y en el C.I. La Libertad, en el Piedemonte llanero

Finca	Densidad aparente (g/cc)	Densidad real (g/cc)	Porosidad (%)	Densidad aparente (g/cc)	Densidad real (g/cc)	Porosidad (%)
	Profundidad de 0 a 10 cm			Profundidad de 10 a 20 cm		
Altillanura:						
Andremoni	1,5	2,6	42	1,6	2,7	41
Mata mata	1,5	2,7	44	1,6	2,7	41
Taluma	1,6	2,7	41	1,7	2,7	37
Pradera	1,6	2,6	38	1,7	2,7	37
Piedemonte:						
C. I. La Libertad	1,4	2,6	48	1,5	2,6	44

Aplicación de enmiendas

La aplicación de enmiendas es una de las actividades más importantes para lograr un buen desarrollo de las plantas y altas producciones; esto es de especial importancia en cultivos para los que se requiere reducir la toxicidad de aluminio (Al), que afecta el desarrollo de las raíces. En la Tabla 2 se pueden apreciar las concentraciones de minerales en un suelo de la terraza alta del Piedemonte y en tres suelos de la Altillanura plana con bajas concentraciones de bases intercambiables y alta concentración de Al, condiciones bajo las cuales los pastos introducidos y la sabana nativa se pueden desarrollar y producir forraje por su capacidad para tolerar una alta saturación de Al. Para la siembra de cultivos como el maíz es necesaria la aplicación de cal dolomítica para mejorar las condiciones del suelo, que permitan reducir la saturación de Al y mejorar la saturación de bases a más del 60% (Gomes *et al.*, 2001).

Tabla 2. Características químicas iniciales de tres suelos en el Piedemonte llanero y en la Altillanura plana

Indicador	Piedemonte Terraza alta	Altillanura plana		
	<i>B. decumbens</i> degradado	<i>B. decumbens</i> degradado	<i>B. humidicola</i> degradado	Sabana nativa
Textura	FA	FArA	FArA	A
pH	4.5	4.9	4.7	4.8
Materia orgánica (%)	2.3	2.5	2	1.1
Fósforo (Mg/Kg)	2.1	2.5	1.5	7.1
Acidez interc. I (cmol/Kg)	2.6	1.8	2.3	2.5
Aluminio (cmol/Kg)	2.1	1.5	1.9	2.1
Calcio (cmol/Kg)	0.47	0.6	0.5	0.4
Magnesio (cmol/Kg)	0.15	0.18	0.15	0.12
Potasio (cmol/Kg)	0.10	0.07	0.06	0.05
Sodio (cmol/Kg)	0.12	0.07	0.06	0.06
CIC (cmol/Kg)	3.34	2.65	3.01	3.08
Azufre (Mg/Kg)	3.0	1.0	1.0	0.6
Hierro (Mg/Kg)	126	65	47	88
Boro (Mg/Kg)	0.2	0.14	0.28	0.16
Cobre (Mg/Kg)	0.83	0.35	0.1	0.55
Manganeso (Mg/Kg)	2.8	1.05	4.4	1.45
Zinc (Mg/Kg)	0.53	0.50	0.28	0.35
Saturación de Al (%)	64	57	63	68
Saturación de bases (%)	25	35	26	20

El propósito de la aplicación de cal en suelos ácidos es el de reducir la saturación de Al, pues su toxicidad es el factor que más limita el crecimiento de las plantas en estos suelos fuertemente ácidos, con un pH menor de 5,5. El hidrógeno (H^+) solamente es tóxico a un pH menor de 4,2 (Potash and Phosphate Institute, 1997). Para que la cal reaccione, debe ser bien incorporada y el suelo húmedo, de lo contrario su efecto no será el esperado, pues las reacciones de neutralización no se producen. El efecto final del encalado es la reducción de la acidez, al convertir el exceso de H^+ en agua al unirse con los OH^- producidos en las reacciones del CO_3^- de la cal con el agua del suelo. El incremento del pH permite la precipitación del Al^{+++} como $AlOH^+$, que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma el efecto tóxico del Al^{+++} en las plantas y la principal fuente de iones H^+ . También se libera calcio (Ca^+), el cual sirve como nutriente a la planta (Inpofos, 1995).

Un factor importante en el encalado de los suelos es el grado de fineza o tamaño de las partículas de la cal. Esto se debe a que la velocidad de reacción de la cal en el suelo depende de la superficie del material en contacto con el suelo. Mientras más fino es el material, tiene más superficie de contacto y reacciona más rápido;

esto es de mayor importancia en la cal dolomítica, que tiene que ser molida para su utilización, en cambio el óxido de calcio (cal viva) o el hidróxido de calcio (cal apagada), por naturaleza, son de partículas muy finas (Inpofos, 1995). La cal se mueve muy poco en el suelo, debido a que el ion CO_3 se disipa como CO_2 después de las reacciones, por lo tanto, los efectos benéficos del encalado solo ocurren en el sitio de aplicación. Aplicaciones superficiales sin incorporación, como sucede en praderas ya establecidas, no están cumpliendo ninguna función, ocasionando pérdidas por escorrentía y económicas al productor.

La cantidad de la enmienda se debe calcular de acuerdo con los resultados del análisis químico de los suelos y con las exigencias del cultivo en suelos ácidos. Para el cálculo de la cal a aplicar se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Cal (t/ha)} = \frac{(\text{saturación de bases deseada} - \text{saturación de bases del suelo}) \times \text{CIC}}{\text{Poder de neutralización de la cal}}$$

La saturación de bases deseada depende del cultivo, y para el caso del maíz es de 60%. La saturación de bases del suelo es aquella calculada con base en el análisis de suelos. El CIC es la capacidad de intercambio catiónico y el poder de neutralización de la cal dolomítica se ha asumido en 80%.

Otro aspecto importante a tener en cuenta para determinar las cantidades de cal dolomítica a aplicar, es la concentración de Ca y Mg en el suelo, necesarios como nutrientes para los cultivos. En los suelos de la Orinoquia, la concentración de Ca es baja (Tabla 3), por lo tanto, debe aplicarse una mayor cantidad de enmienda para que la disponibilidad de este mineral en el suelo se aproxime a 2 cmol/kg. De acuerdo con esto, la cantidad de cal dolomítica a aplicar ha estado cerca de las 2 t/ha, sin embargo, para mejorar las reservas en el suelo las cantidades deben fluctuar entre 2 y 3 t/ha.

Tabla 3. Cal dolomítica requerida para llevar las concentraciones de calcio a 2 cm/kg en el suelo, para los requerimientos del maíz

Pradera	Ca en el suelo (cmol/Kg)	Ca en el suelo (kg/ha)	Ca requerido (kg/ha) ¹	Ca a aplicar (kg/ha)	Cal a aplicar (kg/ha)
<i>B. decumbens</i> degradado (Piedemonte)	0,60	240	800	560	1.867
<i>B. decumbens</i> degradado (Altillanura)	0,50	200	800	600	2.000
<i>B. humidicola</i> degradado (Altillanura)	0,47	188	800	612	2.040
Sabana nativa (Altillanura)	0,40	160	800	640	2.133

¹ Dos cmol/Kg de Ca equivalen a 800 kg/ha de Ca.

Cuando se realiza una labranza temprana, la aplicación de las enmiendas se puede hacer en marzo, al inicio de las lluvias; pero si la labranza se realiza a comienzo de las lluvias, esta actividad se puede retrasar el tiempo que demore

la preparación de suelos. Su distribución debe ser uniforme sobre toda el área, aplicada con una encaladora (Figura 5), para evitar desuniformidad en el desarrollo del maíz; se ha visto que cuando se presentan fallas en la aplicación de las enmiendas, el cultivo presenta lento crecimiento, escaso vigor y puede ser dominado por el pasto, que en la mayoría de los casos, no es afectado por la alta saturación de Al (CIAT, 1986; Rao, *et al.*, 1998; Salinas, 1989).



Figura 5. Aplicación de la enmiendas con encaladora.

Cuando se establecen cultivos-pastos, además de la cal dolomítica como enmienda, se recomienda la aplicación de una fuente fosfórica como la roca fosfórica o escorias Thomas y una fuente de azufre (elemento muy deficiente en los suelos de la Orinoquia), como el yeso agrícola (Tabla 4). Estos insumos se mezclan y se aplican con una encaladora y luego se incorporan con un pase de rastra (Figura 6).

Tabla 4. Principales enmiendas utilizadas en la asociación maíz-pastos y su respectiva concentración de minerales

Enmienda	Concentración del mineral
Cal dolomítica	22% a 30% de calcio, 7% a 10% de magnesio
Roca fosfórica	20% a 30% de calcio, 6% a 11% de fósforo
Escorias Thomas	34% de calcio, 4% de fósforo
Yeso agrícola	17% a 20% de calcio, 14% a 18% de azufre

Las cantidades a aplicar pueden variar entre dos a tres t/ha de cal dolomítica, 0,5 a una t/ha de roca fosfórica o escorias Thomas y entre 0,3 y 0,4 t/ha de yeso agrícola.



Figura 6. Incorporación de las enmiendas con rastra.

Siembra

Entre los 45 y 60 días después de aplicadas las enmiendas se hace un pase de pulidor para dejar el terreno en condiciones adecuadas para la siembra. Para el establecimiento de la asociación maíz-pastos a partir de sabana nativa, se han utilizado híbridos desarrollados para condiciones de suelos ácidos como Corpoica H-108. Sin embargo, el rendimiento de los híbridos comerciales sembrados en sabana nativa no ha superado las 3,5 t/ha de grano ni las 20 t/ha de ensilaje (Rincón, 2011). La alternativa para obtener mejores producciones de los cultivos en suelos de sabana nativa es sembrar un cultivo de mayor rusticidad y mejor adaptación a condiciones de suelos ácidos, como el arroz secano, con lo cual se logra una mejoría en la fertilidad del suelo para el posterior establecimiento de la asociación maíz-pastos y la obtención de mayores rendimientos. En suelos que han estado en ganadería con praderas que requieren ser recuperadas o renovadas, se han obtenido buenas producciones de grano o de forraje de maíz con los híbridos comerciales de maíz, demostrando mejores condiciones de fertilidad del suelo por efecto de los pastos introducidos.

Para el establecimiento de la asociación maíz-pastos, la siembra se hace en forma simultánea, sin embargo, ante la falta de máquinas sembradoras de maíz-pastos como las que existieron cuando se desarrolló la asociación arroz-pastos, primero se hace la siembra de los pastos con sembradora, en surcos o mediante una encladora (Figura 7A y 7B), mezclando previamente las semillas con 200 a 300 kg/ha de abono fosfórico (Escorias Thomas o roca fosfórica) para lograr una mejor distribución en el lote. La siembra del pasto también se puede hacer al voleo con máquina o en forma manual.



Figura 7. Siembra de los pastos con máquina en surcos (7A) y con encaladora (7B).

Las especies forrajeras que se pueden establecer con estos sistemas son *Brachiaria brizantha* cv. Toledo y cv. Marandú, *B. decumbens* cv. Amargo y *B. distyoneura* cv. Llanero. En suelos a los cuales se les ha mejorado su fertilidad con la rotación de cultivos como la soya y el maíz, se puede utilizar el híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato II y las variedades de *Panicum* Tanzania, Mombaça. Para mejorar la calidad del forraje se recomienda la siembra de leguminosas como el *Pueraria phaseoloides* cv. Kudzú, *Stylosanthes capitata* cv. Capica, *Arachis pintoi* cv. Maní forrajero o *Desmodium ovalifolium* cv. Maquenque. Las densidades de siembra de las especies forrajeras deben ser de 5 a 6 kg/ha de semilla de gramínea, con 30% de germinación y 90% de pureza, y de 3 a 4 kg/ha de semilla de leguminosa con 70% de germinación y 90% de pureza. En el caso del maní forrajero, la densidad de siembra es de 8 kg/ha y la del Maquenque es de 0,5 kg/ha (Tabla 5).

Tabla 5 Densidad de siembra de gramíneas y leguminosas forrajeras para su establecimiento en asociación con maíz

	Especie forrajera	Densidad de siembra (kg/ha)
Gramíneas:	<i>Brachiaria decumbens</i>	3
	<i>Brachiaria distyoneura</i> cv. Llanero	4
	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Toledo	6
	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandú	6
	Híbrido de <i>Brachiaria</i> cv. Mulato II (peletizada)	12
	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombasa	3
Leguminosas:	<i>Desmodium ovalifolium</i> cv. Maquenque	0,5
	<i>Stylosanthes capitata</i> cv. Capica	3
	<i>Pueraria phaseoloides</i> cv. Kudzú	4
	<i>Arachis pintoi</i> cv. Maní forrajero	8

Una vez terminada la siembra del pasto se siembra el maíz en surcos separados a 80 cm, con 5 a 6 plantas por metro lineal, cuya densidad de siembra varía

entre 20 y 25 kg/ha (Tabla 6), de acuerdo con el tamaño de la semilla. Al destinar el cultivo de maíz para ensilaje se pueden tener más plantas por hectárea, disminuyendo la distancia entre surcos a 70 cm. No es posible hacer siembra de los surcos a menor distancia, porque en el momento de la cosecha del forraje se pierden plantas (la máquina no las alcanza a recoger).

Tabla 6 Distancias de siembra y población de maíz

Distancia entre surcos (cm)	Plantas/metro lineal	Población (Plantas/ha)
80	5	62.500
80	6	75.000
70	5	71.428
70	6	85.714

La cosechadora en surcos está diseñada para una distancia entre surcos mínima de 70 cm. La siembra se hace con una máquina sembradora-abonadora (Figura 8), la cual deposita la semilla a una profundidad promedio de 3 cm, y el fertilizante de establecimiento (fósforo + potasio + zinc) va en el mismo surco del maíz, a una profundidad promedio de 5 cm. Es posible primero sembrar el maíz y luego el pasto, pero por las lluvias que pueden caer después de realizada la siembra del maíz se retrasa por algunos días la siembra del pasto, ocasionado dificultades porque el maíz germina muy rápido y puede ser afectado por la máquina para la siembra del pasto.

En áreas pequeñas en las que no se dispone de maquinaria para la siembra de los cultivos (menos de 5 ha), las labores de siembra del pasto se puede realizar al voleo en forma manual, y el maíz puede ser sembrado y fertilizado en forma tradicional "a chuzo".



Figura 8. Siembra y fertilización del maíz en surcos separados a 80 cm.

Fertilización

Los fertilizantes a aplicar se calculan de acuerdo con el análisis químico de los suelos y con las exigencias del cultivo de maíz. Estos fertilizantes se aplican solamente al cultivo del maíz en forma localizada; los pastos aprovecharán posteriormente la fertilización residual que el maíz no utiliza. En los suelos ácidos de la Altillanura estas cantidades han variado entre 70 y 90 kg/ha de P_2O_5 , 60 y 120 kg/ha de K_2O y entre 100 y 150 kg/ha de nitrógeno (N). Las fuentes utilizadas tradicionalmente han sido el fosfato diamónico, cloruro de potasio y urea, respectivamente. Para que el cultivo tenga disponibilidad inmediata de magnesio (Mg) y azufre (S) se recomienda aplicar en la siembra 100 kg/ha de Kieserita o sulfato de magnesio. Como fuente de microelementos (B, Cu, Zn) se han utilizado entre 20 y 30 kg/ha de Borozinco (Tabla 7).

Tabla 7. Ejemplo de una fertilización aplicada al maíz en la Altillanura plana

Mineral	Cantidad (Kg/ha)	Fuente	Cantidad (Kg/ha)
Fósforo	40	Fosfato diamónico (DAP)	200
Potasio	75	Cloruro de potasio	150
Nitrógeno	128	Urea, (DAP)	200
Magnesio	14	Kieserita	100
Azufre	20	Kieserita	
Zinc	0,45	Borozinco	30
Boro	0,75	Borozinco	
Cobre	0,15	Borozinco	

Un cultivo de maíz que produce 4.000 kg/ha de grano requiere alrededor de 100 kg/ha de N, 18 kg/ha de P, y 68 kg/ha de K (Sánchez, 1976). La extracción de N y K se aproxima a las cantidades aplicadas, sin embargo, las diferencias entre la extracción y aplicación del P es amplia, porque del P aplicado, la planta de maíz solo absorbe entre el 15 y el 20%, debido a la alta fijación de este nutriente en los suelos ácidos. El sistema radical del maíz es capaz de absorber nutrimentos a través de toda la vida de la planta, pero la absorción declina durante la última parte del ciclo, que corresponde al llenado del grano (Laffite, 2002).

Teniendo en cuenta las necesidades de nutrimentos para el desarrollo inicial de las raíces y luego en la acumulación en la planta antes de la floración, el fósforo, los microelementos y la mitad del potasio se aplica en el momento de la siembra del maíz; posteriormente, a los 15 días se fertiliza con el 50% de la urea y el otro 50% del cloruro de potasio, y finalmente, 35 días después de la siembra se aplica el 50% restante de la urea.

Control de plagas

Las plagas que se presentan en la asociación maíz-pastos son las que tradicionalmente atacan al cultivo de maíz, porque no se ha visto que las plantas de pasto

sean afectadas por alguna plaga en el establecimiento en asocio con el cultivo de maíz. Estas plagas se presentan con mayor incidencia durante el segundo semestre, las cuales pueden ser controladas mediante un programa oportuno fundamentado en un control integrado por el control biológico, el control químico con inhibidores de quitina y por medio de trampas para atraer adultos.

Para el control de *Diatrea* sp. se deben hacer liberaciones de *Trichogramma pretiosum*, y para el control del gusano cogollero, liberaciones de *Thelenomus* sp. distribuyendo en todo el cultivo las larvas durante los primeros estados de desarrollo del cultivo. Cuando las poblaciones de gusano cogollero son altas, el control biológico se puede complementar mediante una aplicación de 250 cc/ha de un inhibidor de quitina, con los productos comerciales Intrepid o Atabron (Methoxyfenozide, Clorfluazuron, respectivamente) mezclados con 30 kg de melaza y 300 litros de agua, por hectárea. Para la captura de adultos de *Spodoptera frugiperda* y de *Diatrea* sp. se despliegan, en el perímetro del cultivo, trampas con una mezcla de agua y melaza.

Desarrollo de la asociación maíz-pastos

La asociación de maíz y pastos se constituye en una buena alternativa para el establecimiento o renovación de praderas, porque durante el periodo de desarrollo vegetativo y reproductivo del maíz, el pasto no ejerce competencia por espacio o luz que pudiera afectar la producción final de grano. El maíz presenta un rápido desarrollo inicial, que ayudado con la fertilización nitrogenada, puede llegar a tener una altura superior a los 1,50 m a los 35 días después de la siembra, en tanto que el pasto no supera los 50 cm (Figura 9).



Figura 9. Asociación de maíz-pastos a los 35 días después de la siembra.

Cuando el maíz ya ha formado mazorca y empieza el secado o senescencia natural de la planta después de los 80 días, la radiación solar puede penetrar a los estratos inferiores del cultivo, la cual es aprovechada por el pasto para iniciar la producción de biomasa en forma activa.

Las hojas de las plantas son la fábrica de la biomasa mediante la captura de energía del sol y la utilización de gas carbónico, oxígeno, hidrógeno y minerales; por lo tanto, un indicativo importante de su potencial de producción de las cosechas es el conocimiento del índice de área foliar, que representa el área de las hojas presente en un metro cuadrado de suelo. La asociación maíz-pastos ofrece grandes beneficios, ya que el cultivo de maíz no tiene ninguna competencia de los pastos asociados durante los primeros 30 días de crecimiento, ni en los 20 días siguientes, importantes para la floración y formación de la mazorca. El maíz es una gramínea de rápida germinación y alto crecimiento en edades tempranas de la planta, en cambio los pastos, en su mayoría, germinan después de los 15 días y su desarrollo inicial es más lento. Como se puede ver en la Figura 10, a la edad de 50 días el maíz alcanzó el máximo índice de área foliar (IAF) de 3,4 y el pasto empezaba su desarrollo con un IAF de 0,4. A los 90 días, el IAF del maíz estaba en descenso y el del pasto en aumento con un valor de 2.

El desarrollo de la planta de maíz a los 50 días después de la siembra, en tres condiciones de fertilidad en la Altillanura, presentó algunas diferencias, especialmente con relación al área foliar y a la altura de la planta. La mayor área foliar se obtuvo en un suelo en el que el año anterior se había

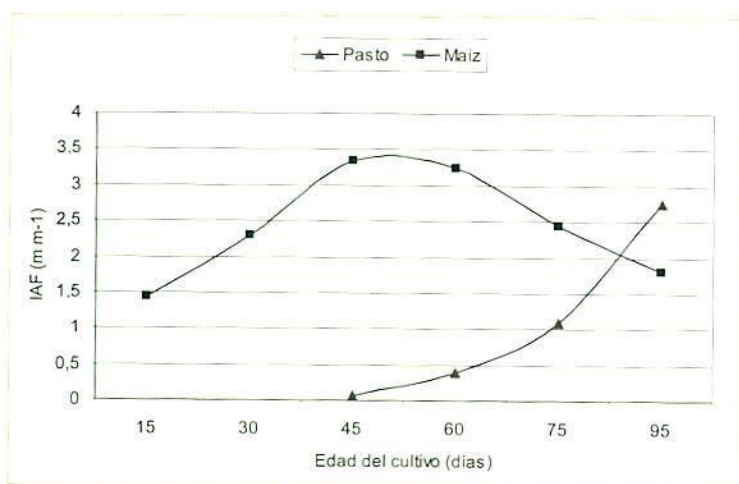


Figura 10. Índice de área foliar (IAF) del maíz y pastos asociados, hasta la edad de 90 días, en la Orinoquía colombiana.

sembrado maíz en una pradera degradada de *B. decumbens*, con 6.772 cm²/planta, seguida por el maíz establecido en una pradera degradada de *B. decumbens* con 6.023 cm²/planta, mientras que la menor área foliar (4.714 cm²/planta) se presentó en un cultivo de maíz establecido en sabana nativa (Tabla 8).

El mismo comportamiento se presentó con la altura de la planta, encontrándose un valor de 2,45 m, 2,27 m y 1,77 m en el mismo orden. Esta mayor altura pudo ser debida a la mayor población de plantas de maíz en la finca con suelo de mejor fertilidad (68.500 plantas/ha), lo cual está relacionado con la menor masa seca de los tallos (12,8 g/planta), frente a 15,5 g/planta del cultivo establecido en la pradera degradada de *B. decumbens*. En el maíz establecido en condiciones de sabana nativa, todos los parámetros de desarrollo evaluados fueron inferiores con respecto a los otros cultivos, mostrando el efecto de una menor fertilidad de los suelos en el desarrollo del cultivo.

Tabla 8. Características de desarrollo del cultivo de maíz a los 50 días de su establecimiento en asociación con pastos, en tres condiciones de fertilidad en la Altillanura plana

Característica	<i>B. decumbens</i> degradado	Maíz año anterior	Sabana nativa
Área foliar (cm ² /planta)	6.023 a	6.772 a	4.714 b
Altura (cm/planta)	2,27 a	2,45 a	1,77 b
Masa seca hojas (g/planta)	9,15 a	9,37 a	8,75 b
Masa seca tallos (g/planta)	15,5 a	12,8 b	11,0 c
Masa seca total (g/planta)	24,6 a	22,2 ab	19,7 c

Prómedios en la misma fila con letra diferente difieren en forma significativa, según la prueba de Tukey (P< 0,05).

La producción de biomasa aérea del maíz (hojas, tallos, mazorcas) presentó un comportamiento ascendente hasta los 90 días después de la siembra, y logró estabilizarse hasta el momento de la cosecha del grano con 12.000 kgMS/ha (MS: materia seca), en tanto, el pasto acompañante a la misma edad alcanzó una producción de 4.000 kgMS/ha a los cuatro meses después de la siembra (Figura 11). Este comportamiento de los dos cultivos solo se logra cuando se aplican todas las recomendaciones de establecimiento, con énfasis en la aplicación de enmiendas y fertilizantes necesarios para el buen desarrollo del maíz; de lo contrario presenta un bajo desarrollo y puede ser dominado por el pasto.

La reducción en el crecimiento de los pastos Mulato II, Toledo y *B. decumbens* establecidos en asociación con maíz, se comprobó en las evaluaciones sobre masa seca y área foliar del pasto solo y cuando este estaba asociado con el maíz, a la edad de 37, 60, 75 y 94 días. En los primeros 37 días de edad, el pasto Mulato

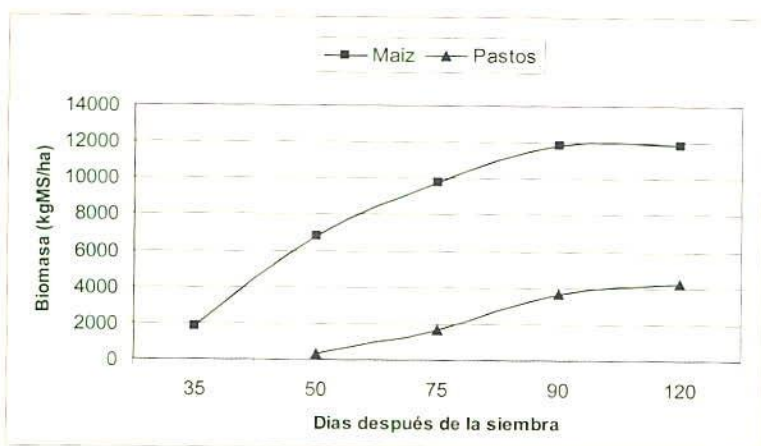


Figura 11. Producción de biomasa aérea de los cultivos asociados maíz-pastos.

fue superior significativamente ($P < 0,05$) en cuanto a área foliar y masa seca, estando solo y asociado con maíz. El *B. decumbens* sin maíz fue 10 veces más lento en el establecimiento con respecto al pasto Mulato, y 15 veces más lento estando asociado con el cultivo de maíz. A los dos meses, los pastos Mulato y Toledo sin maíz, presentaron un área foliar superior a los 3.800 cm² y de igual forma la masa seca foliar fue superior significativamente con un promedio de 20 g/planta. A los 75 y 94 días se conservaron las diferencias a favor de los pastos Mulato y Toledo establecidos sin maíz; sin embargo, el *B. decumbens*, que en los primeros 60 días presentó poco desarrollo, a los 75 días el área foliar y la masa seca aumentaron considerablemente (Tabla 9).

El desarrollo del área foliar de los pastos asociados con maíz fue menor que el presentado en los pastos establecidos sin maíz. En el *B. decumbens* establecido solo, el área foliar fue de 2.673 cm², y asociado con maíz se redujo a 1.523 cm². El pasto Mulato, sin maíz, tuvo un área foliar de 12.380 cm² y asociado con maíz fue de 7.809 cm². En el pasto Toledo las diferencias fueron más amplias, porque cuando se estableció sin maíz llegó a 11.997 cm² y asociado con maíz el área foliar fue de 4.152 cm². Al parecer, el pasto Mulato es menos afectado por la competencia por luz que ejerce el maíz.

La masa seca de los pastos asociados con maíz fue menor con respecto a los pastos establecidos en monocultivo, especialmente en los pastos Mulato y Toledo. A los 60 días de sembrados, la masa seca de estos pastos establecidos sin maíz presentó un promedio de 5 g/planta, mientras que cuando se establecieron solos la masa seca fue cuatro veces superior. A los 75 y 94 días los pastos Mulato y Toledo asociados con maíz produjeron un promedio de 20 y 30 g/planta de masa seca y en monocultivo estos valores fueron de 45 y 68 g/planta, respectivamente.

Tabla 9. Área foliar (cm²) y masa seca (g/ planta) del pasto solo y asociado con maíz durante 94 días de desarrollo en el Piedemonte llanero

Área foliar	Edad (días)			
	37	60	75	94
<i>B. decumbens</i>	74,4 c	228,6 c	2.806 bc	2.673 c
<i>B. decumbens</i> + maíz	33,5 c	163,9 c	409 c	523 c
Mulato	726,9 a	3.832,0 a	10.435 a	12.380 a
Mulato + maíz	558,6 ab	1.556,1 b	3.594 b	7.809 b
Toledo	307,5 bc	3.855,9 a	6.637 ab	11.997 a
Toledo + maíz	190,7 bc	911,9 b	3.263 b	4.152 bc
Masa seca				
<i>B. decumbens</i>	0,28 c	1,00 c	15,50 ab	10,83 bc
<i>B. decumbens</i> + maíz	0,13 c	0,50 c	6,24 b	7,38 c
Mulato	2,85 a	18,93 a	48,55 a	59,73 ab
Mulato + maíz	1,80 ab	5,57 b	27,63 ab	37,83 abc
Toledo	1,23 bc	20,50 a	40,75 a	77,20 a
Toledo + maíz	0,74 bc	4,70 b	15,48 ab	22,40 bc

Valores con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Los materiales de maíz utilizados en los sistemas productivos de la Altillanura cumplen su fase vegetativa y reproductiva a la edad de 120 días, momento en el cual el grano de maíz puede ser cosechado (Figura 12). En algunos casos la mazorca se ha dejado por un tiempo más en la planta para lograr una mayor pérdida de humedad del grano y así evitar el proceso de secamiento en los molinos; sin embargo, el pasto acelera su desarrollo foliar por la mayor radiación recibida, afectando la cosecha del maíz por atascamiento de la combinada con el pasto que es cosechado junto con el maíz.



Figura 12. Estado de la asociación maíz-pastos a los 140 días después de la siembra.

La cosecha del maíz se realiza cuando el cultivo ha cumplido una edad de entre 120 y 140 días, y el grano tiene un contenido de humedad inferior al 20% (Figura 13). Bajo las condiciones de la Orinoquia colombiana se ha obtenido entre 4,5 y 5,5 t/ha de grano de maíz. La disponibilidad de forraje de pasto en el momento de la cosecha del maíz está relacionada con la especie, porque en aquellos pastos de alto potencial de producción como el Toledo y el Mulato, se ha obtenido 4,5 t MS/ha, mientras que con especies menos exigentes y con menor tasa de crecimiento como el *B. decumbens*, se ha obtenido 3,7 t MS/ha. Por otra parte, en la pradera quedan 5,5 t/ha de residuos de planta de maíz, los cuales entran a formar parte del reciclaje de nutrientes en el sistema.



Figura 13. Cosecha de maíz a los 140 días después de la siembra.

El establecimiento de maíz en asociación con los pastos no afecta los rendimientos de maíz, por lo tanto esta asociación se constituye en una alternativa importante para el establecimiento o renovación de praderas (Rincón, 2007). Esto pudo ser comprobado en las evaluaciones realizadas en la producción total de biomasa, en la producción de mazorca y en la producción de grano en cultivos de maíz establecidos en monocultivo y asociados con pastos, sin llegar a presentarse diferencias significativas en los dos sistemas de cultivo. La masa seca total de la planta de maíz fue en promedio de 375 g, en tanto que la mazorca de cada planta presentó una masa seca de 164 g y el grano fue de 139 g/planta (Figura 14).

La producción de grano de maíz y de forraje ha estado directamente relacionada con la fertilidad inicial de los suelos. En las fincas donde el maíz con pastos se estableció en una pradera degradada de *B. decumbens* y en un suelo donde el año anterior se había establecido un cultivo de maíz, se obtuvo una producción

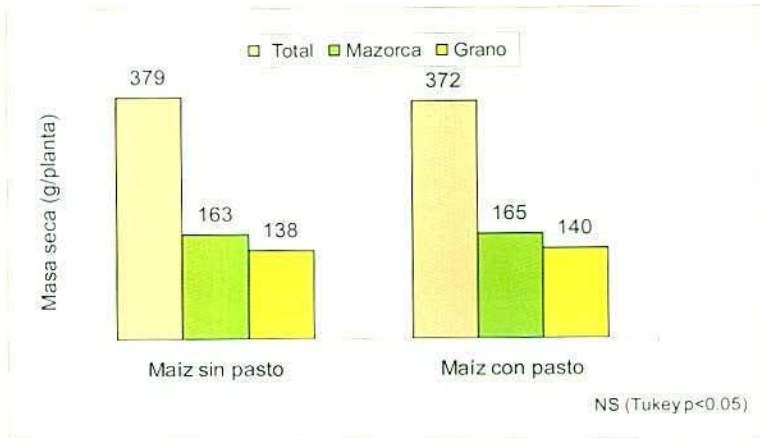


Figura 14. Producción de maíz en monocultivo y asociado con pastos en el Piedemonte llanero.

promedia de 5,5 t/ha de grano con una humedad entre 16 y 20%, mientras que en los cultivos establecidos en condiciones de sabana nativa se obtuvo un rendimiento de 3,8 t/ha.

Cuando el cultivo se destinó para ensilaje, la cosecha del forraje se realizó a una edad promedia de 80 días, para lo cual se utilizó la maquinaria que cortó, picó y almacenó el forraje de maíz y los pastos en silopress. La mayor producción de forraje ensilado se obtuvo en el suelo que había sido mejorado con el cultivo de maíz el año anterior, con un rendimiento de 40 t/ha; en tanto, en cultivos realizados en praderas degradadas y en sabana nativa se obtuvieron 30 y 20 t/ha de ensilaje, respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10. Producción de grano de maíz y forraje ensilado en tres condiciones de fertilidad en la Altillanura plana

Producción	<i>B. decumbens</i> degradado (Fertilidad media)	Maiz año anterior (Fertilidad alta)	Sabana nativa (Fertilidad baja)
Grano de maíz (t/ha)	5,5	5,5	3,8
Ensilaje de maíz (t/ha)	30	40	20

Producción de forraje y de carne bovina en las praderas renovadas con maíz

Producción de forraje

La disponibilidad promedia de forraje obtenida después de cosechado el grano de maíz es de 4.000 kgMS/ha. Este forraje sirve para la alimentación de un

número alto de bovinos que entra a un pastoreo de nivelación inmediatamente después de cosechado el maíz, para evitar que el pasto se sobre madure y se pueda afectar el consumo por parte de los bovinos, debido al mayor desarrollo de pared celular.

En praderas establecidas en el Piedemonte con maíz y pasto Toledo, Mulato y *B. decumbens*, se encontró una producción promedio de forraje de los pastos significativamente superior al inicio del pastoreo, como producto de la mejor fertilidad, una vez cosechado el maíz. Los resultados obtenidos en la producción de forraje durante los cuatro años de evaluación demostraron una reducción cada año hasta obtener 1.319 kgMS/ha en el cuarto año de pastoreo (Tabla 11), representando una producción inferior en un 48% con respecto a la obtenida al inicio del pastoreo. Sin embargo, la reducción más alta en producción de forraje se presentó en el primer año de pastoreo con 911 kgMS/ha. Después del segundo año de pastoreo la disminución anual en la producción de forraje estuvo entre 76 y 116 kgMS/ha (Rincón, 2007). La renovación de praderas con el cultivo de maíz permitió una alta producción de forraje al inicio del pastoreo, con una disponibilidad total diaria de 84 kgMS/ha, pero asumiendo una pérdida por pisoteo de 25% la disponibilidad para los animales fue de 63 kgMS/ha, con la cual fue posible mantener en el primer año a 4,5 novillos en pastoreo con un peso promedio de 350 kg/an, teniendo en cuenta que por cada 100 kg de peso vivo debe haber una disponibilidad de 4 kg de forraje seco (Paladines, 1984).

Tabla 11. Producción de forraje y capacidad de carga de los pastos Toledo, Mulato y *B. decumbens* durante cuatro años de pastoreo en praderas renovadas con maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero.

Variable de respuesta	Producción de forraje (kgMS/ha)	Disponibilidad día (kgMS/ha)	Capacidad de carga (an/ha)
Inicio del pastoreo	2.531 a*	63	4,5
12 meses de pastoreo	1.620 b	41	2,9
24 meses de pastoreo	1.604 b	40	2,9
36 meses de pastoreo	1.395 c	35	2,5
48 meses de pastoreo	1.319 d	33	2,4
Significancia	0,001		
Pastos:			
Toledo	1.922 a	48	3,4
Mulato II	1.634 b	41	2,9
<i>B. decumbens</i>	1.464 c	37	2,6
Significancia	0,001		
Cv. (%)	8,4		
Antes de la siembra	800	20	1,4

* Promedios con letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Haciendo el mismo análisis en los siguientes años se pudo apreciar una disminución en la capacidad de carga de las praderas, lo cual estuvo directamente relacionado con la disponibilidad de forraje. Se confirman las ventajas que se presentan para el productor con la renovación de praderas con el cultivo de maíz, teniendo en cuenta que después de cuatro años de pastoreo la capacidad de carga fue de 2,4 an/ha, superior a lo que se tenía antes de aplicar los tratamientos, que era de 1,4 an/ha. El pasto Toledo, por su mayor disponibilidad de forraje, presentó una capacidad de carga de 3,4 an/ha, con un peso promedio de 350 kg/an.

En praderas establecidas con maíz en fincas de la Altillanura, durante las épocas lluviosa y seca, con pasto Toledo y Mulato II, se encontró una disminución en la producción de forraje superior al 50% durante la época seca, en tres años de pastoreo. En la época lluviosa del periodo inicial de pastoreo, los dos pastos fueron similares en la producción de biomasa con un promedio de 2.500 kgMS/ha; sin embargo, en los años siguientes se pudo apreciar una superioridad del pasto Toledo (Figura 17). En la época seca, el pasto Mulato II superó al Toledo en los tres años de pastoreo.

La evolución de la producción promedio de forraje en fincas de la Altillanura se puede apreciar en la Figura 18, siendo similar en los pastos Mulato II y Toledo al inicio del pastoreo con 2.500 kg MS/ha. Esta producción de forraje disminuyó cada año en los dos pastos, llegando a 1.800 y 1.500 kgMS/ha en el Toledo y Mulato II, respectivamente, en el tercer año de pastoreo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos pastos no fueron fertilizados durante este tiempo, logrando bajo estas condiciones una disponibilidad de forraje superior a los 1.000 kg/ha que tradicionalmente se han obtenido en praderas de *B. decumbens* o pasto llanero, con buen manejo.

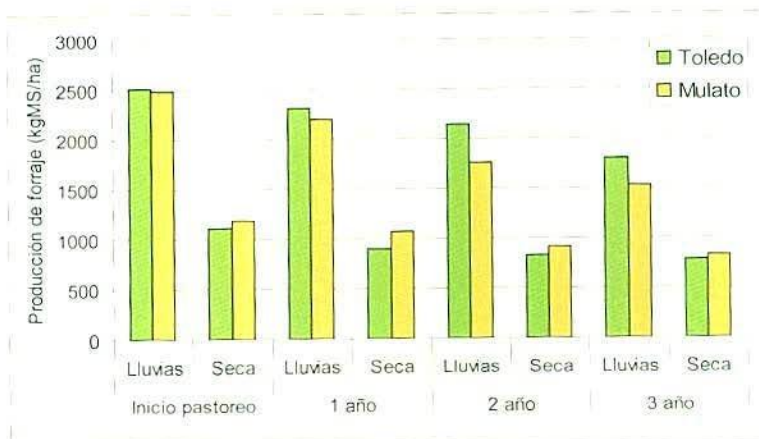


Figura 17. Producción de forraje de pasto Toledo y Mulato II durante las épocas lluviosas y seca, en fincas de la Altillanura colombiana.

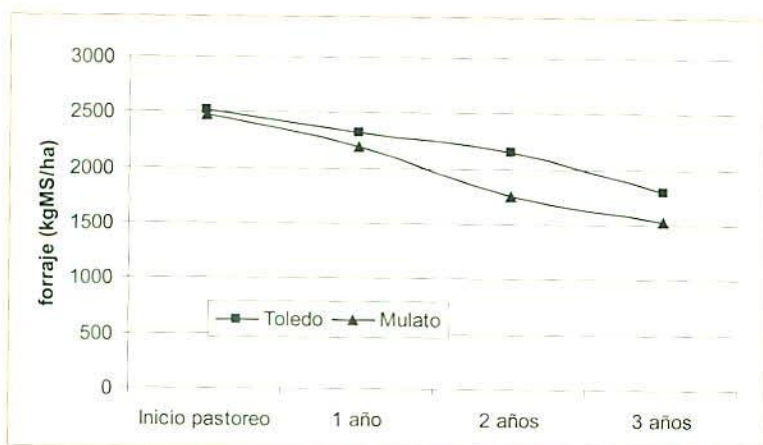


Figura 18. Producción de forraje de los pastos Mulato II y Toledo después de tres años de pastoreo en fincas de la Altillanura plana.

Calidad nutritiva del forraje

El promedio de la concentración de proteína cruda (PC), durante tres años, en los pastos establecidos con maíz en cuatro fincas fue de 9,1%, considerándose como adecuado para las condiciones de la Altillanura; sin embargo, en el análisis hecho a cada pasto se encontró que la proteína en el pasto Mulato II fue superior en forma significativa ($P < 0,05$) con un valor de 9,8%, en tanto en el Toledo fue de 8,5% (Tabla 12). La fibra en detergente neutro (FDN) fue superior ($P < 0,05$) en los pastos establecidos en los suelos arenoso de Taluma, con 68,8%, mientras que en las otras fincas se obtuvo un promedio de 65%. El mayor contenido de FDN coincidió con la menor degradabilidad, que fue de 62,5%; sin embargo, la fibra en detergente ácido (FDA) fue similar en todas las fincas, obteniéndose

Tabla 12. Calidad nutritiva (%) de los pastos Toledo y Mulato II en fincas de la Altillanura

Finca	PC	FDN	FDA	Degradabilidad
Andremoni	10.0	64,8 b	32,7	66,5 a
Taluma	9.3	68,8 a	34,0	62,5 b
Pradera	8.7	65,8 b	33,7	64,2 ab
Mata mata	8,4	65,0 b	34,1	65,0 ab
Significancia	ns	0,04	ns	ns
Pastos:				
Mulato II	9,8 a	62,5 b	30,9 b	68,3 a
Toledo	8,5 b	69,5 a	36,1 a	61,0 b
Significancia	0,01	0,001	0,01	0,01
Cv. (%)	17	4,3	7,4	4,9

Promedios en una misma columna con letras diferentes presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

un promedio de 33,3%. Evaluando la composición nutricional de los pastos se encontró que el pasto Mulato II sobresalió por su mejor calidad, demostrando mayor contenido de proteína, menores FDN y FDA, y mayor degradabilidad con respecto al pasto Toledo.

La concentración de P en los pastos fue superior en las fincas Andremoni y Mata mata con 0,18%; sin embargo, debe considerarse a estos valores como bajos para los requerimientos de ganado de ceba, que son de 0,22% (McDowell *et al.*, 1997). La deficiencia de P en los pastos fue más evidente en el suelo franco arenoso de Taluma con 0,13%, lo cual puede ser atribuido a la menor fertilidad de este suelo, que antes de la siembra de la asociación maíz-pastos estaba cubierto por sabana nativa. La concentración de K fue superior en los pastos de la finca Mata mata con 1,8%, aunque en las otras fincas los valores fueron más bajos; estas concentraciones de K cumplen con los requerimientos de bovinos de ceba, que son de 0,6%. Con respecto a la concentración de Ca, el promedio fue de 0,32%, cumpliendo con los requerimientos de los bovinos, que son de 0,30%. La concentración de Mg fue mayor en la finca Andremoni con 0,36%; sin embargo, las concentraciones de este elemento en las otras fincas, aunque más bajo, es suficiente para los requerimientos de los bovinos de ceba. El S fue uno de los minerales más deficientes en los pastos de las cuatro fincas, aunque su concentración fue superior en Andremoni y Taluma. Los bovinos requieren de al menos 0,15% de S en el forraje para su crecimiento (McDowell *et al.*, 1997). La concentración de P, K, Ca y Mg fue similar en los pastos Mulato II y Toledo, sin llegar a presentar diferencias significativas; en cambio el Mulato II presentó mayor concentración de S (Tabla 13).

Tabla 13. Concentraciones (%) de algunos minerales en los pastos Toledo y Mulato II en fincas de la Altillanura

Finca	P	K	Ca	Mg	S
Andremoni	0,18 a	1,43 b	0,34	0,36 a	0,083 a
Taluma	0,13 b	0,97 c	0,36	0,25 b	0,081 a
Pradera	0,16 ab	1,20 bc	0,29	0,28 b	0,068 ab
Mata mata	0,18 a	1,80 a	0,30	0,23 b	0,035 b
Significancia	0,04	0,01	ns	0,02	0,03
Pastos:					
Mulato II	0,17	1,37	0,35	0,30	0,09 a
Toledo	0,16	1,36	0,30	0,26	0,04 b
Significancia	ns	ns	ns	ns	0,01
Cv. (%)	23,7	28,5	24,6	28,6	56,6

Promedios en una misma columna con letras diferentes presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P< 0,05).

La concentración de los microelementos en el forraje presentó un comportamiento más errático, demostrado con el alto coeficiente de variación;

por tal razón, en el caso del Fe no se presentaron diferencias significativas en las cuatro localidades, aun con el amplio rango presentado en su concentración, que estuvo entre 18 y 73 mg/kg (Tabla 14).

Por la alta concentración de Fe en los suelos ácidos, también es alta la concentración de este microelemento en el forraje, colmando los requerimientos de los novillos, que son de 50 mg/kg. La misma apreciación se puede hacer para el manganeso (Mn), que presentó concentraciones entre 36 y 76 mg/kg, llenado los requerimientos de los bovinos, que son de 20 mg/kg. El Cu presentó una mayor concentración en la finca Andremoni con 5 mg/kg; sin embargo, esta resultó ser deficiente, ya que los bovinos requieren de 10 mg/kg, como también resultó ser el Zn, considerando que, aunque en Taluma, donde fue superior la concentración de este micronutriente, con 12 mg/kg, no llena los requerimientos del ganado de ceba, que son de 30 mg/kg. La concentración de micronutrientes en los pastos Toledo y Mulato II fue similar, con excepción del Cu, cuya concentración fue mayor en el pasto Mulato II con 4,4 mg/kg; de igual forma el B, con 10 mg/kg.

Tabla 14. Concentración (mg/kg) de algunos microelementos en los pastos Toledo y Mulato II, en fincas de la Altillanura

Finca	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Andremoni	81,9	5,06 a	54,2 b	9,7 ab	10,2 ab
Taluma	118,8	3,55 b	40,0 b	12,3 a	7,9 c
Pradera	73,7	3,40 b	36,4 b	6,5 b	8,3 bc
Mata mata	90,1	4,16 ab	76,7 a	8,0 ab	11,3 a
Significancia	ns	0,01	0,01	0,01	0,02
Pastos:					
Mulato II	96,6	4,4 a	56,1	9,9	10,0 a
Toledo	84,5	3,7 b	45,8	8,3	8,8 b
Significancia	ns	0,05	ns	ns	0,05
Cv. (%)	49,5	25,2	37,3	58,5	23,1

Promedios en una misma columna con letras diferentes presentaron diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Producción de carne bovina

La respuesta en productividad de carne bovina en las praderas establecidas con cultivos es superior con respecto a los rendimientos obtenidos en las praderas de *B. decumbens* en proceso de degradación, donde se ha obtenido entre 85 y 150 kg/ha/año por la carga animal que fluctúa entre 0,8 y 1,2 u.a./ha, y las ganancias de peso entre 300 y 350 g animal/día (Rincón, 2006; Corpoica, 2000; Corpoica, 2001), por consiguiente, con las ganancias de peso obtenidas en pastos establecidos con maíz, la productividad animal se ha aumentado entre tres y seis veces. La productividad de los bovinos en los Llanos colombianos tiene características similares a la productividad de los Cerrados brasileros, donde la

problemática de degradación de praderas también es la principal causa de los bajos índices zootécnicos del rebaño, con carga animal que ha estado entre 0,54 y 0,96 u.a./ha, y la productividad animal entre 64 y 145 kg/ha/año. Sin embargo, la integración de la agricultura y la ganadería en varios sistemas evaluados a nivel de productor (Sistema Barreirao y Sistema Santa Fe) ha permitido mejorar la productividad de los bovinos de carne a rendimientos que están entre 300 y 517 kg/ha/año (Kluthcouski *et al.*, 2003; Kluthcouski y Aidar, 2003).

Una vez cosechado el grano de maíz, los pastos reactivan su crecimiento en forma rápida, de tal forma que el pastoreo con bovinos debe iniciarse entre los 30 y 60 días de rebrote del forraje (Figura 19), previa división de los potreros e instalación de los bebederos.



Figura 19. Inicio del pastoreo a los 45 días después de la cosecha del maíz, en el Piedemonte llanero.

Es importante no dejar pasar mucho tiempo después de la cosecha del cultivo para iniciar el pastoreo, porque debido a la mayor fertilidad de los suelos el pasto presenta un desarrollo rápido y vigoroso que debe ser aprovechado por los bovinos, en su punto óptimo de disponibilidad de biomasa y calidad nutritiva. Esto es de especial cuidado en pastos que se lignifican rápidamente, como sucede con el pasto Toledo, el cual tiene una mayor capacidad para desarrollar pared celular después de los 35 días de rebrote, afectando drásticamente el consumo por parte de los animales (Rincón, 2010).

En la Figura 20 se puede apreciar la relación existente entre la producción de forraje de pasto Toledo establecido con maíz, la cual va aumentando con el paso del tiempo y la concentración de proteína cruda, pero que se reduce a medida que el pasto madura. En este caso, el punto adecuado para iniciar el pastoreo es

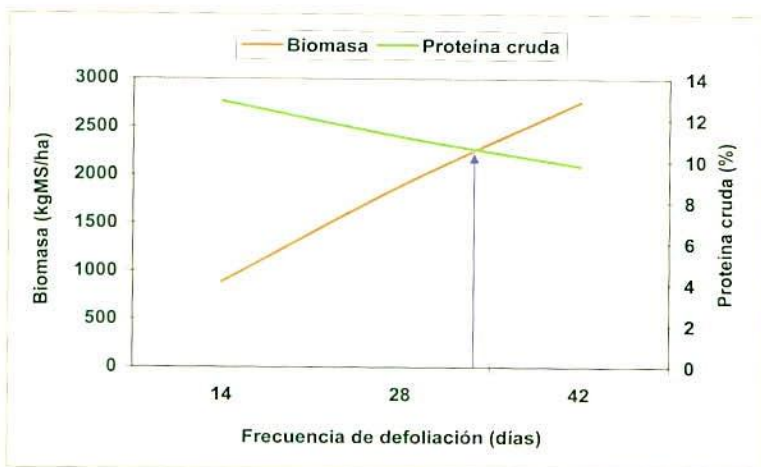


Figura 20. Relación entre producción y calidad de forraje de pasto Toledo en tres periodos de defoliación. Piedemonte llanero.

entre 30 y 35 días, cuando la disponibilidad de biomasa es de 2.400 kgMs/ha y la proteína cruda de 10%. Esta relación varía de acuerdo con la fertilidad de los suelos y del tipo de pasto.

Para determinar la respuesta animal en las praderas de Toledo y Mulato II mejoradas con el cultivo de maíz, se evaluó la ganancia de peso de los novillos durante tres años de pastoreo, en las épocas lluviosa y seca, en cuatro fincas de la Altillanura. Durante la época lluviosa, los novillos obtuvieron una ganancia diaria promedio de 766, 663 y 598 g/an/día, en los años 1, 2 y 3, respectivamente.

En la época seca, las ganancias fueron de 303, 268 y 228 g/an/día, en el mismo orden, representando una reducción del 60% con respecto a la época lluviosa (Tabla 15). En el primer año de pastoreo las ganancias diarias fueron de 750 y 780 g/an/día para el Mulato II y Toledo, respectivamente. Estas ganancias de peso animal se redujeron en los años dos y tres a un promedio de 650 y 600 g/an/día, respectivamente, siendo ligeramente superior la productividad del pasto Toledo. En la época seca, la ganancia de peso fue superior en el pasto Mulato II, en los tres años de evaluación.

La cantidad de animales se calculó de acuerdo con la disponibilidad de forraje, teniendo en cuenta que por cada 100 kg de peso vivo el animal debe disponer de 3,5 kg de forraje seco o aproximadamente 10,5 kg de forraje verde. De acuerdo con esto, un animal de 400 kg de peso debe disponer de 14 kg diarios de forraje seco (42 kg de forraje verde). Se ha encontrado que estas praderas producen en promedio 1.300 kg de forraje seco en un periodo de descanso de 30 días. Por consiguiente, con esta disponibilidad de forraje se pueden mantener a tres animales por hectárea con un peso de 400 kg/animal (1.200 kg/ha de peso vivo).

Tabla 15. Ganancia diaria de peso (g) en novillos bajo pastoreo en praderas de Toledo y Mulato II establecidas con el cultivo de maíz, en fincas de la Altillanura plana

Finca	Pasto	Año 1		Año 2		Año 3	
		Lluvias	Seca	Lluvias	Seca	Lluvias	Seca
Mata mata	Toledo	750	310	620	279	550	250
	Mulato II	810	270	600	256	500	239
Andremoni	Toledo	947	350	850	300	760	270
	Mulato II	724	360	780	280	750	220
Taluma	Toledo	790	327	700	289	650	210
	Mulato II	760	223	680	248	600	205
Pradera	Toledo	630	280	550	250	500	220
	Mulato II	720	305	520	240	470	210
Promedio		766	303	663	268	598	228

La carga animal en las fincas de la Altillanura estuvo de acuerdo con la disponibilidad de forraje, siendo mayor en el primer año de pastoreo, con un promedio de 3,2 an/ha en el pasto Toledo y de 2,5 an/ha en el pasto Mulato II (Figura 21). En el segundo año de pastoreo, la carga animal fue de 3 y de 2,1 an/ha, y en el tercer año se redujo a 2,7 y 1,8 an/ha en los pastos Toledo y Mulato II, respectivamente.

Teniendo en cuenta la ganancia diaria de peso y la carga animal, se realizaron los cálculos de productividad de carne en estas praderas establecidas con maíz, durante tres años de pastoreo. En la época lluviosa comprendida entre los meses de abril y diciembre (270 días), la productividad de carne con el pasto Mulato II fue de 503 kg/ha en el primer año, y en el tercer año se redujo a 282 kg/ha; en tanto, con el pasto Toledo pasó de 673 a 440 kg/ha en el mismo periodo. En la época seca comprendida entre enero y marzo (90 días), la productividad alcanzada fue de 27, 21 y 18 kg/ha en los tres años, sin presentar diferencias entre los dos pastos y con una reducción menor a la presentada en la época lluviosa (Tabla 16).

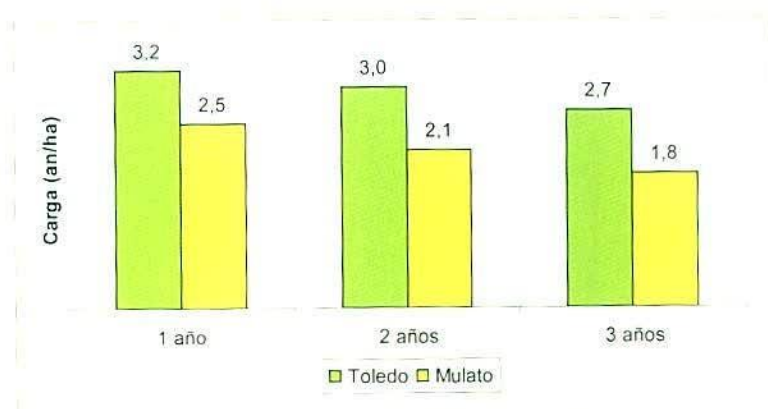


Figura 21. Cambios ocurridos en la carga animal, en los pastos Toledo y Mulato II, durante tres años de pastoreo en fincas de la Altillanura plana.

Aunque las ganancias de peso presentadas en la época seca fueron bajas, es importante destacar que los animales no perdieron peso en esta época, como tradicionalmente ocurre, afectando en gran medida la productividad y rentabilidad de la ganadería en la región.

Tabla 16. Productividad de carne (kg/ha/año) con los pastos Mulato II y Toledo, durante tres años de pastoreo, en fincas de la Altillanura plana

Pasto	Año 1		Año 2		Año 3	
	Lluvias	Seca	Lluvias	Seca	Lluvias	Seca
Mulato II	503,5	27,5	370,1	20,7	281,9	18,2
Toledo	673,3	27,8	546,2	21,2	440,0	19,2

En la Figura 22 se resume la productividad de la carne obtenida, destacándose la superioridad del Toledo con 701, 567 y 459 kg/ha/año en los años 1, 2 y 3 de pastoreo. La disminución en la productividad está relacionada con la disponibilidad de forraje y con la fertilidad de los suelos, la cual se ha ido reduciendo con el paso del tiempo, de ahí la necesidad de hacer fertilización de mantenimiento para recobrar la productividad inicial y evitar la degradación de las praderas por falta de nutrientes para el desarrollo de los pastos.

La mayor producción de forraje y de carne bovina en las praderas renovadas con maíz, durante varios años, es uno de los atributos importantes que tiene este sistema productivo (Figura 23). La sostenibilidad de la productividad durante varios años está relacionada con el sistema de manejo de pastoreo, la carga animal de acuerdo con la disponibilidad de forraje, la altura de pastoreo y el forraje residual que permita una buena recuperación del pasto y la fertilización de mantenimiento para restituir los minerales que salen del sistema en leche

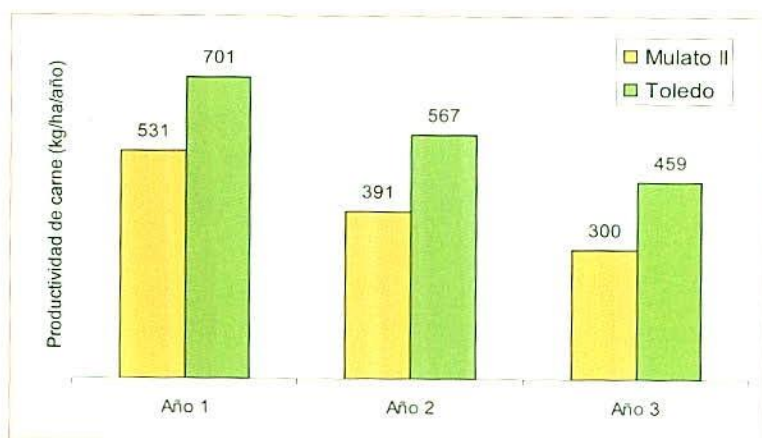


Figura 22. Productividad de carne con los pastos Mulato II y Toledo establecidos con maíz durante tres años, en fincas de la Altillanura plana.



Figura 23. Estado de los novillos y las praderas de pasto Toledo, dos años después de su establecimiento con maíz. Finca Andremoni, en la Altillanura plana.

o carne. Las praderas recuperadas o renovadas con cultivos pueden verse afectadas en su productividad y empezar su proceso de degradación con un mal manejo que se puede resumir en una palabra: sobrepastoreo.

Beneficios económicos

La recuperación o establecimiento de praderas con cultivos como el maíz es una forma de reducir costos, porque se obtiene una producción promedio de cinco t/ha de grano y una pastura en excelentes condiciones para iniciar el pastoreo después de cosechado el maíz (Rincón y Ligareto, 2008). El costo para la implantación de la asociación maíz-pastos ha promediado los \$3.846.000 (año 2012) y los ingresos obtenidos por la cosecha de maíz han sido de \$3.500.000, teniendo en cuenta el precio de una tonelada del grano de maíz, de \$700.000 (Tabla 17); por consiguiente, la diferencia entre el costo y el ingreso de \$346.500 corresponde al costo del establecimiento o recuperación de la pastura con maíz. Cuando se hace una renovación de praderas por el sistema convencional, sembrando solo pasto Toledo, el costo es de \$1.267.000, por lo tanto, el productor se está ahorrando \$921.000/ha.

El establecimiento o recuperación de praderas con el cultivo de maíz contribuye al aumento de la productividad de los sistemas ganaderos en las fincas de la Orinoquia colombiana. Considerando que la base alimenticia de los bovinos son los forrajes de pastoreo, se encontró un aumento promedio de forraje durante tres años, de 1.000 kgMS/ha con respecto a las praderas degradadas. Por otra parte, la calidad nutritiva del forraje mejoró 9,5% (Tabla 18), favoreciendo el aumento de la capacidad de carga y la ganancia de peso animal.

Tabla 17. Costos de la renovación de praderas mediante la asociación de maíz-pastos y bajo el sistema convencional con la siembra de solo pasto Toledo. Altillanura plana, año 2012

Insumo/labor	Costos de la renovación de praderas (\$)	
	Con maíz-pastos	Con pasto Toledo
Maquinaria	740.000	300.000
Fertilizantes	1.725.000	485.000
Semillas	920.000	240.000
Control de plagas	50.000	67.000
Mano de obra	52.000	45.000
Transporte	350.000	130.000
Cosos variables totales	3.846.000	1.267.000
Producción de grano (t/ha)	5	
Precio de una tonelada de maíz (\$)	700.000	
Valor de la producción (\$/5 t)	3.500.000	
Costo de la renovación de praderas	346.500	
Ahorro (%)	73	

Tabla 18. Producción de forraje y concentración de proteína cruda en praderas de fincas de la Altillanura plana. Promedio de tres años

Pradera	Producción de forraje (kg MS/ha)	Proteína cruda (%)
Pastos degradados	800	6
Pastos con manejo tradicional	1200	8
Pastos establecidos con maíz	1800	9.5

Después de tres años de manejo de las praderas bajo pastoreo en la Altillanura, el pasto Toledo sostuvo una carga promedio de 3 an/ha y una productividad de carne de 550 kg/ha/año. Estos rendimientos representan un avance importante en la ganadería de la región, si se tiene en cuenta que la capacidad de carga en pasturas mejoradas ha estado en un promedio de 1,2 an/ha y la productividad de carne ha sido en promedio de 175 kg/ha/año. El mejoramiento de la productividad de carne, con respecto al estado inicial de las praderas degradadas, fue de seis veces (Tabla 19).

Tabla 19. Producción de carne bovina en diferentes praderas, en fincas de la Altillanura plana. Promedio de tres años

Pradera	Carga (animal/ha)	Producción de carne	
		g/an/día	kg/ha/año
Pastos degradados	0,8	300	90
Pastos con manejo tradicional	1,2	400	175
Pastos establecidos con maíz	2,5	600	550

La producción promedio de carne en las praderas establecidas con maíz durante tres años de pastoreo, en fincas de la Altillanura, fue de 1.727 kg/ha, generando

un ingreso neto de \$4.376.500; en tanto, en las praderas con manejo tradicional, la producción de carne ha sido de 540 kg/ha de carne en el mismo tiempo, generando un ingreso neto de \$1.305.000 (Tabla 20); por consiguiente, en las praderas establecidas con maíz, el productor obtiene tres veces más ingresos con respecto a las praderas con el manejo tradicional.

Tabla 20. Ingresos obtenidos por la producción de carne en las praderas establecidas con maíz y en las praderas con el manejo tradicional, durante tres años. Altillanura plana

Año	Productividad de carne (kg/ha/año)	Valor (\$/ha)	Costos (\$/ha)	Ingreso neto (\$/ha)
En praderas establecidas con maíz				
1	700	2.100.000	300.000	1.800.000
2	567	1.701.000	262.500	1.438.500
3	460	1.380.000	242.000	1.138.000
Total	1.727	5.181.000	804.500	4.376.500
En praderas con manejo tradicional				
1	200	600.000	100.000	500.000
2	180	540.000	105.000	435.000
3	160	480.000	110.000	370.000
Total	540	1.620.000	315.000	1.305.000

Rentabilidad del establecimiento o renovación de praderas con el cultivo de maíz

El uso de pastos como fuente de alimentación para la ganadería bovina es la forma más económica para la producción de carne con sello verde, bajo explotaciones donde el buen manejo de las praderas se constituye en la principal herramienta para lograr una producción sostenible, teniendo en cuenta sus características fisiológicas, las exigencias climáticas y de fertilidad del suelo, aprovechando las mayores tasas fotosintéticas que tienen las gramíneas tropicales que basan la síntesis de carbohidratos y demás productos elaborados por las plantas en un recurso ventajoso que se tiene en el trópico, como es la radiación regulada durante todo el año y la disponibilidad de agua, recurso abundante en la Orinoquia colombiana durante gran parte del año.

La utilización de especies forrajeras con características de alto potencial de rendimiento y de mejor calidad nutritiva para luego integrarlas a sistemas agrosilvopastoriles, son la base para aumentar la capacidad productiva de las empresas ganaderas en los Llanos colombianos. El cambio de sistemas extensivos de producción que tradicionalmente se ha venido dando en las sabanas nativas y en pastos introducidos con mínimos insumos a sistemas más eficientes de producción ganadera, es una necesidad para el desarrollo de una ganadería

competitiva en esta región. No se puede seguir pensando que con una carga de 0,3 animales/ha, una productividad de 30 kg/ha/año y unos parámetros reproductivos como una natalidad menor del 50% se pueda llegar a aumentar el hato ganadero y producir más cantidad de carne de mejor calidad, como lo están exigiendo los mercados nacionales e internacionales. Con la iniciativa de las entidades de investigación agropecuaria, de algunos empresarios del campo y con el apoyo gubernamental, el cambio para convertirnos en productores eficientes ya se está dando en la Altillanura colombiana.

El impacto de la investigación se ha demostrado con la generación de tecnologías que han permitido aumentar la productividad de carne de 27 kg/ha/año, obtenida en la sabana nativa, a rendimientos que se han incrementado en forma proporcional al mejoramiento de la fertilidad de los suelos y al uso de materiales más productivos. El cambio de la sabana nativa por pastos adaptados a suelos ácidos como el *Brachiaria decumbens* permitió aumentar la producción de carne en 10 veces y con la integración de la agricultura y la ganadería el aumento ha sido de 30 veces (Figura 24), por aumento en la capacidad de carga, a 3 o 4 animales/ha, y en la ganancia diaria de peso, entre 600 y 800 g/an/día (Rincón, 2010).

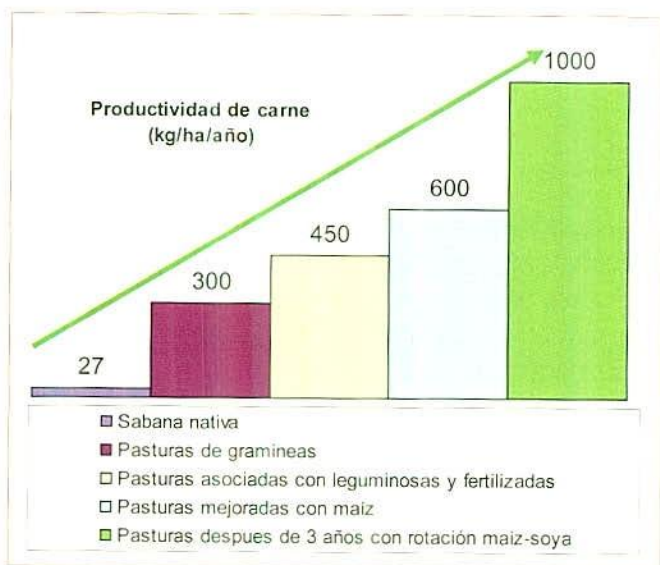


Figura 24. Aumento de la productividad de carne bovina con diferentes tecnologías en la Altillanura plana.

Conclusiones

En los Llanos colombianos, en donde las condiciones son más limitantes que las del resto del país, por las deficiencias nutricionales de sus suelos, que afectan

directamente la calidad y la producción de los forrajes nativos e introducidos, se ha encontrado que mediante la implementación de sistemas agropastoriles es posible duplicar la capacidad de carga, aumentar la ganancia de peso por animal de 300 a 700 g/an/día, elevar la productividad de carne de 90 a 550 kg/ha año y obtener animales para el sacrificio con una edad menor de 2,5 años. Bajo estos parámetros, la ganadería colombiana podrá ser competitiva, como la de los demás países productores, y con la reducción de costos de producción se podrá incentivar el consumo interno de carne y leche.

Bibliografía

- Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. (1986). *Programa de pastos tropicales*. Informe anual. Cali, Colombia.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Conpes. (2010). *Consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas láctea y cárnica*. Documento Conpes 3676. Bogotá, Colombia. 84 p.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. (2003). *Informe anual de actividades*. Investigación Agrícola del año 2003, C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta.
- _____. (2002). *Informe anual de actividades*. Investigación pecuaria del año 2002, C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta.
- _____. (2001). *Informe anual de actividades*. Investigación pecuaria del año 2001, C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta.
- _____. (2000). *Informe anual de actividades*. Investigación pecuaria del año 2000, C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta.
- Ministerio de Agricultura, DANE, Corporación Colombia Internacional. (2010). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2010*. 155 p.
- Corporación Colombiana Internacional, CCI y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2009). *Sistema de información de la oferta agropecuaria, forestal, pesquera y acuícola*. Encuesta Nacional Agropecuaria 2009. Bogotá, Colombia. 194 p.
- Infopos. (1995). Acidez y encalado de los suelos. En: *Informaciones Agronómicas* N° 20. 18 p.
- Kerridge, P. (2001). An Historical Perspective of Agropastoral System Research in the Savannas of South America. In: *Jircas/Embrapa gado de Corte International Joint Workshop on Agropastoral System in South America*. Kanno, T. and Macedo, M.C. (eds.). Jircas Working Report No. 19. 104 p.
- Kluthcouski, J.; Oliveira, I.P.; Yokoyama, L.P.; Dutra, L.G.; Portes, T.; Da Silva, A.E.; Pinheiro B., da S.; Ferreira, E.; Castro, E. da M.; Guimaraes, C.M.; Gomide, J. de C. & Balbino, L.C. (1999). Sistema Barreira: Recuperación, renovación de pasturas degradadas utilizando cultivos anuales. En: *Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina*. Guimarães, E.; Sanz, J.I.; Rao, Y.; Amézquita, M. C. & Amézquita, E. (eds.). CIAT-EMBRAPA. Cali, Colombia. Pp. 195-231.
- Kluthcouski, J.; Stone, L.F. & Aidar, H. (2003). *Integracao Lavoura – Pecuaria*. EMBRAPA, Arroz e Feijao. San Antonio de Goiás, Brasil. 570 p.
- Kluthcouski, J. & Aidar, H. (2003). Implantação, conducto e resultados obtidos com o sistema Santa Fé. En: *Integracao Lavoura – Pecuaria*. EMBRAPA, Arroz e Feijao. Ed. Kluthcouski, J.; Stone, L.F. & Aidar, H. San Antonio de Goiás, Brasil. Pp. 409-441.
- Laffite, H.R. (2002). *Fisiología del maíz tropical*. Programa de maíz CIMMT. Tecnifenalce. N° 2, año 4. 7 p.
- Gomes, D.M.; Vilela, L.; Lobato, E. & Vieira, W. (2001). *Uso de gesso, calcario e adobos para pastagens no Cerrado*. EMBRAPA, Cerrados, Planaltina, Brasil. 22 p.
- McDowell, L. R.; Velásquez-Pereira, J. & Valle, G. (1997). *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Departamento de ciencia animal. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida, Gainesville, University of Florida. 84 p.

- Menezes, J. & Silveira, C.G. (2004). Caracterização do Grau de degradação de pastagens. En: *Fertilidade do solo para pastagens productivas*. Anais do 21º simpósio sobre anexo das pastagens. Silveira, C.G.; Moura, C. & Pedroso de Faria, V. (eds.). Fundação de estudos Agrários Luis de Queiroz, FEALQ. Piracicaba, Brasil. Pp. 7-32.
- Paladines, O. (1984). Mediciones de la respuesta animal en ensayos de pastoreo: Ganancia de peso. En: *Evaluación de pasturas con animales, Alternativas metodológicas*. Lascano, C. & Pizarro, E. (eds.). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. Pp. 99-126.
- Potash and Phosphate Institute. (1997). *Manual internacional de fertilidad de suelos*. Norcross, G.A. USA. 146 p.
- Rao, I.M.; Kerridge, P.C. & Macedo, C.M. (1998). *Requerimientos nutricionales y adaptación a los suelos ácidos de especies de Brachiaria*. Ed.: Miles, J.W.; Maass, B.L. y Do Valle, C.B. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. Cali, Colombia. Pp. 58-78.
- Rincón, A. (2006). *Factores de degradación y tecnología de recuperación de praderas en los Llanos Orientales de Colombia*. Boletín técnico No. 49. Corpoica, Gobernación del Meta. Villavicencio, Meta. 78 p.
- _____. (2007). Asociación maíz pastos para establecimiento y renovación de praderas en los Llanos Orientales. Boletín de investigación No. 09. Corpoica, Colciencias. Villavicencio, Meta. 71 p.
- _____. & Ligarreto, G.A. (2008). Productividad de la asociación maíz-pastos en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. En: *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1): 73-80.
- _____. (2010). Manejo de praderas bajo pastoreo. En: *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos*. Rincón A. & Jaramillo, C. (eds.). Corpoica, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Fedegán. Villavicencio, Colombia. Pp. 113-139.
- _____. (2011). Desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles para la producción competitiva de carne bovina en la altillanura plana colombiana. Informe final de Corpoica, MADR, Fedegán. 91 p.
- Rippstein, G.; Amézquita, E.; Escobar, G. & Grollier, C. (2001). Condiciones naturales de la sabana. En: *Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia*. Rippstein, G.; Escobar, G.; Motta, F. (eds.). CIAT-CIRAD. Cali, Colombia. Pp. 1-23.
- Salinas, J.G. (1989). *Fertilización de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. 215 p.
- Sanz, J.I.; Zeigler, R.S.; Sarkarung, S.; Molina, D.L. & Rivera, M. (1999). Sistemas mejorados arroz-pasturas para sabana nativa y pasturas degradadas en suelos ácidos de América del Sur. En: *Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina*. Guimarães, E.; Sanz, J.I.; Rao, Y.; Amézquita, M.C. & Amézquita, E. (eds.). CIAT-EMBRAPA. Cali, Colombia. Pp. 232-244.
- Sánchez, P.A. (1976). *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Wiley, J. and Sons. New York, USA. 618 p.
- Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial del Meta. (2011). *Análisis de cifras económicas del departamento del Meta, primer semestre 2010 y 2012*. Villavicencio, Meta. 91 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural del Meta. (2007). *Plan estratégico para la ganadería en el Departamento del Meta 2007 - 2019*. Villavicencio, Meta. 88 p.
- Valencia, R.A.; Salamanca, C.R.; Navas, G.E.; Baquero, J.E.; Rincón, A. & Delgado, H. (1999). Evaluación de sistemas agropastoriles en la altillanura de la Orinoquia colombiana. En: *Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina*. Guimarães, E.; Sanz, J.I.; Rao, Y.; Amézquita, M.C. & Amézquita, E. (eds.). CIAT-EMBRAPA. Cali, Colombia. Pp. 284-300.
- Vilela, L.; Macedo, M.C.; Martha Júnior, G.B. & Kluthcouski, J. (2003). Benefícios da integração Lavoura - Pecuária. En: *Integração Lavoura - Pecuária*. EMBRAPA, Arroz e Feijão. Kluthcouski, J.; Stone, L.F. & Aida, H. (eds.). San Antonio de Goiás, Brasil. Pp. 145-170.

CAPÍTULO 2.

USO DE CULTIVOS COMO ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN DE BOVINOS DURANTE LA ÉPOCA SECA

Álvaro Rincón Castillo¹ y Hernando Flórez Díaz²

Los cultivos forrajeros son una alternativa importante para suplementar al ganado en pastoreo, especialmente en la época seca, que es cuando hay disminución en la productividad ganadera por la baja disponibilidad de forraje en las praderas (Kluthcouski *et al.*, 2003). La cosecha y almacenaje de biomasa de cultivos forrajeros para suministrar a los animales en épocas críticas, ha sido la solución en muchas regiones y debe aplicarse en los Llanos Orientales de Colombia, en donde las lluvias determinan la estacionalidad en la producción, con problemas de baja disponibilidad de forraje en la época seca que va desde diciembre hasta marzo (Figura 1).



Figura 1 Estado de las praderas durante la época seca en la Altiplanura plana.

1 I.A. PhD. Investigador de Corpoica C.I. La Libertad, arincon@corpoica.org.co

2 MVZ. MSc. PhD. Investigador de Corpoica C.I. La Libertad hflorez@corpoica.org.co

Durante los meses secos, en la Altillanura solo caen 174 mm del total anual, que es de 2.400 mm, y la producción de forraje de pastoreo se ve muy afectada por estrés hídrico de los pastos (Figura 2). También es importante destacar que en época lluviosa también se puede presentar déficit de forraje por encharcamiento de las praderas, afectando la producción de forraje por la alta saturación de humedad del suelo, que desplaza al oxígeno, importante para los procesos fisiológicos de la raíz. Esto hace que la productividad ganadera se vea afectada por mermas en las ganancias o pérdidas de peso y por el efecto negativo sobre otros parámetros productivos y reproductivos del ganado.

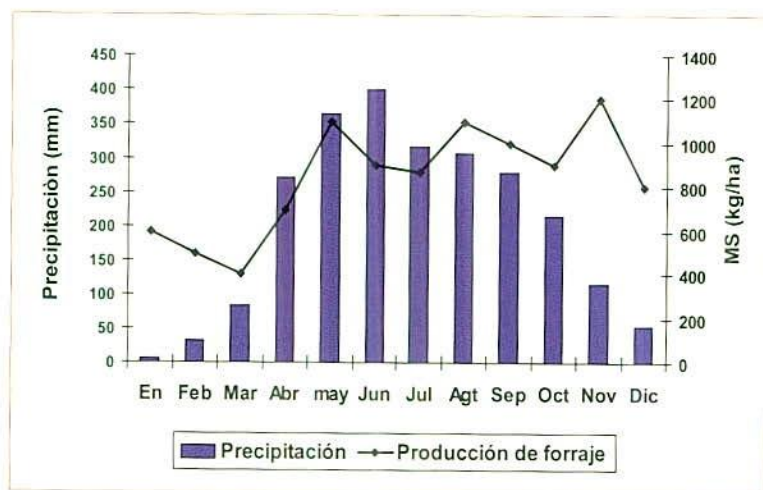


Figura 2. Relación entre precipitación y producción de forraje en praderas de *B. decumbens* de la Altillanura plana.

En condiciones de adecuada humedad del suelo, en época lluviosa, el *B. decumbens* presenta una producción promedio de forraje de 1.600 kg MS/ha cada 35 días en el Piedemonte llanero y de 1.300 kg MS/ha en la Altillanura. En la época seca la disponibilidad de forraje se reduce en un 50% en el Piedemonte y en la Altillanura; donde el estrés hídrico es mayor, la disponibilidad de forraje se reduce en un 70% (Figura 3) y en gran parte de los casos, en los meses de enero, febrero y parte de marzo, no hay producción de forraje en los potreros.

La respuesta en producción de carne en época lluviosa en novillos de ceba se refleja en una ganancia de peso de 400 y 500 g/animal/día en la Altillanura y el Piedemonte, respectivamente (Figura 4), pero en la época seca estas ganancias se pueden reducir en más de un 50%, afectando la rentabilidad de la actividad ganadera, especialmente por el mayor tiempo utilizado en la ceba (Corpoica, 2003).

Para que el uso de cultivos forrajeros en la alimentación animal sea viable, se requiere de maquinaria especializada en la siembra, la cosecha y demás labores

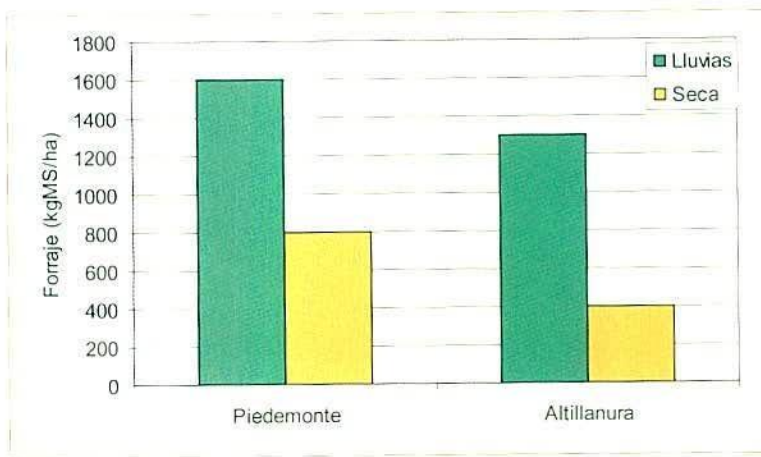


Figura 3. Producción de forraje de *B. decumbens* durante las épocas seca y lluviosa en el Piedemonte llanero y en la Altillanura plana.

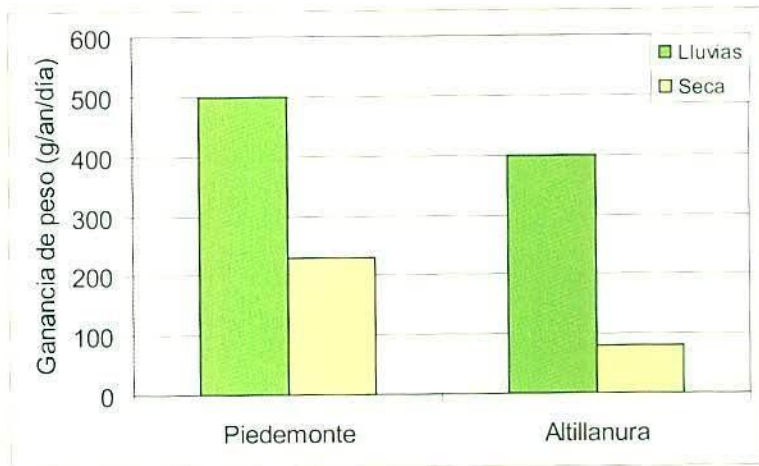


Figura 4. Ganancia de peso de bovinos Cebú en pastoreo de *B. decumbens* durante las épocas lluviosa y seca en el Piedemonte llanero y en la Altillanura plana.

propias del cultivo. Esto se constituye en la principal limitante en la región, la falta de equipos, y además sus costos son demasiados altos. La suplementación animal con cultivos forrajeros intensifica la producción de la finca y reduce la introducción de nuevas áreas (bosques o sabanas) a la ganadería, preservando los recursos naturales de esta región. La expansión de la frontera agropecuaria se puede reducir aprovechando mejor las áreas ya establecidas, especialmente en praderas, y complementadas con cultivos de alto rendimiento.

La problemática que tiene la ganadería en los Llanos colombianos y en general en Colombia, es la baja disponibilidad y calidad de forraje de pastoreo, ocasionada

por la degradación de las praderas y por la estacionalidad de la producción, que conlleva a una capacidad de carga inferior a 1 an/ha y a que la producción de leche se reduce a 1.000 litros/vaca/lactancia, mientras que la productividad de carne no supera los 120 kg/ha/año (Figura 5). Para solucionar estos dos problemas se han desarrollado tecnologías para hacer que las praderas vuelvan a ser productivas y para aumentar la producción de forrajes conservados para la alimentación de los bovinos en épocas críticas, mediante el uso de cultivos forrajeros.

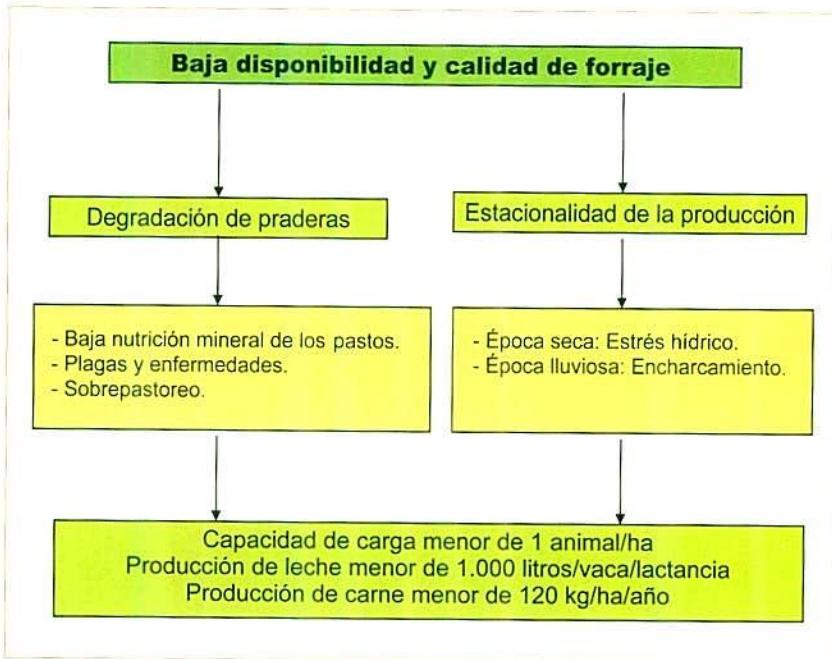


Figura 5. Esquema de la producción ganadera con base en forrajes en la Orinoquia colombiana.

Alternativas para el establecimiento y manejo de forrajes de cosecha

Para el mejoramiento de las praderas degradadas se han desarrollado varias alternativas que mejoran los forrajes de pastoreo y permiten la disponibilidad de ensilajes para la suplementación de los bovinos en época seca. En la Figura 6 se esquematizan las alternativas disponibles que han sido validadas en fincas de productores: la asociación de maíz forrajero y pastos, en la que también se puede utilizar el sorgo forrajero; la asociación de los cultivos ya mencionados con el de soya, para mejorar la calidad del ensilaje; la rotación de maíz o sorgo con soya durante dos o tres años, para finalmente establecer los pastos, y el establecimiento o recuperación de praderas mediante la asociación soya-pastos.

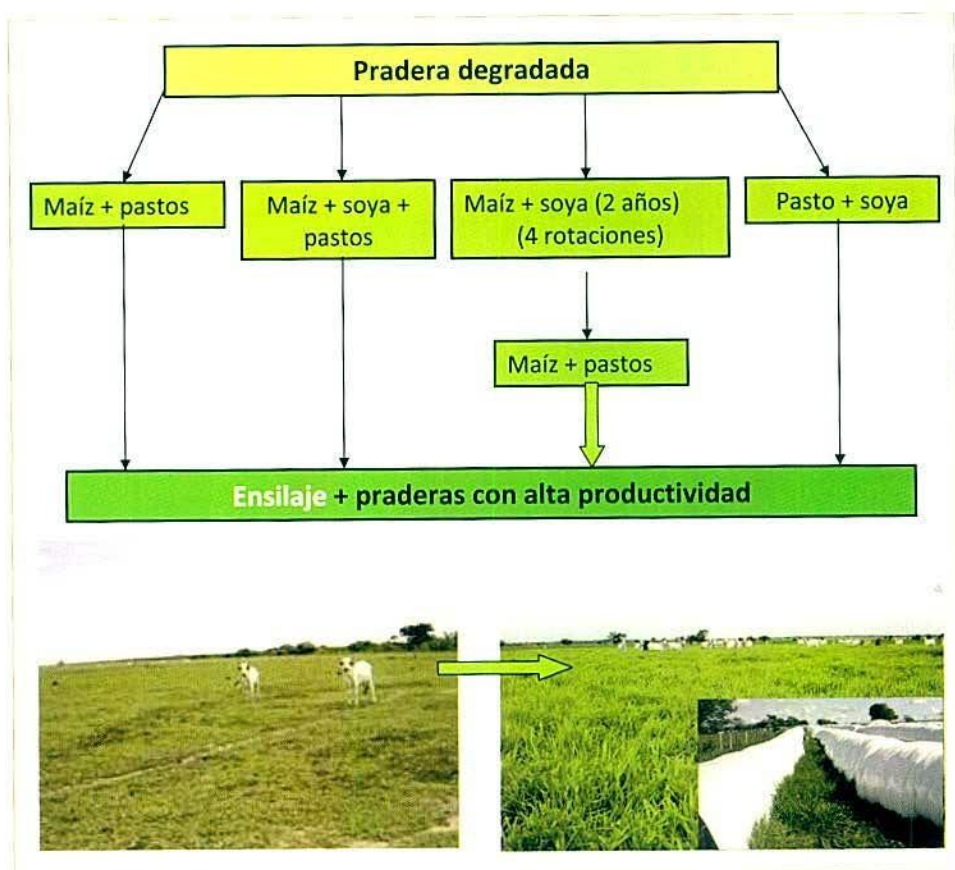


Figura 6. Alternativas para la renovación de praderas y la producción de ensilaje.

Renovación de praderas con maíz o sorgo forrajero

El cultivo de maíz establecido junto con los pastos para la renovación de praderas degradadas, puede ser cosechado 80 días después de la siembra, cuando el grano de la mazorca se encuentre en estado de choclo, asegurando de esta forma una mejor calidad del ensilaje. Otra alternativa es el establecimiento del cultivo de sorgo dulce en reemplazo del maíz, aprovechando los nuevos materiales que han mostrado su alto potencial de rendimiento de biomasa para ensilaje. El sorgo, en asociación con el pasto, puede ser cosechado entre los 70 y 80 días de edad, cuando el grano se encuentre en estado pastoso.

La renovación de praderas con maíz forrajero se inicia con un sobrepastoreo para reducir la capa vegetal y así facilitar las labores de labranza, la cual se inicia con un pase de rastra y posteriormente se hace la labranza profunda con cinceles, en aquellas áreas con alta invasión de grama amarga, como sucede en las praderas degradadas del Piedemonte llanero; se recomienda hacer una pase

de arado de discos o de vertedera apropiado para estos casos, ya que incorpora la masa vegetal que cubre el terreno y se reducen los costos de labranza cuando se hace con solo rastra o con arado de cinceles.

Posteriormente, se hace otro pase de rastra, se aplican las enmiendas y se incorporan, las cuales se calculan de acuerdo con el análisis de suelos, como ya se explicó en el primer capítulo. El procedimiento de siembra, el manejo de la nutrición mineral y el desarrollo de la asociación maíz-pastos es igual al realizado cuando el maíz se destina a la producción de grano. Además de un buen sistema de labranza, del uso de semillas de buena calidad, de escoger una época y un sistema de siembra adecuados, es de gran importancia la nutrición mineral, la cual debe ir dirigida y aplicada en forma localizada al cultivo del maíz. De esta forma se obtendrá un buen rendimiento de ensilaje de maíz y una pastura en excelente estado. En el desarrollo del maíz, desde un comienzo debe dominar al pasto, pero si se presentan fallas en cualquier fase de desarrollo de la asociación, desde la labranza y encalamiento, el pasto puede dominar y afectar la producción del maíz.

Para la cosecha, a los 80 días de edad del cultivo, en áreas grandes es necesario disponer de maquinaria que consta de tractor, cosechadora en surcos y remolque forrajero. La elaboración del ensilaje depende del tipo de almacenamiento, porque en el caso de silo de montón se requiere de otro tractor para pisar y sacar el aire del silo, pero cuando el silo es en el sistema silopress se requiere de otro tractor y de una máquina que va llenando la bolsa, la cual tiene una capacidad aproximada de ensilar 60 toneladas de forraje. En la Figura 7 se puede apreciar aspectos de la cosecha y el almacenamiento en silopress; además, es importante



Figura 7 Cosecha del maíz y los pastos para ensilaje a los 80 días de edad de la asociación.

ver que la máquina recoge todo el material vegetal a una altura aproximada de 10 cm y se aprecian las plantas de pasto que quedan para su recuperación después del corte.

La producción de biomasa de maíz para la elaboración del silo puede llegar a 35 t/ha en el Piedemonte llanero y a 30 t/ha en la Altillanura plana, diferencias debidas a la mejor fertilidad del suelo en el Piedemonte llanero. De igual forma, se aprecian mayores producciones de forraje de pasto en esta región, sin embargo, la concentración de proteína cruda en las dos regiones fluctúa entre 7 y 8% (Tabla 1).

Tabla 1. Producción de ensilaje de maíz y pastos en praderas renovadas del Piedemonte llanero y en la Altillanura plana

Indicador	Piedemonte llanero	Altillanura plana
Producción de ensilaje de maíz (t/ha)	30 a 35	25 a 30
Producción de forraje verde de pasto (t/ha)	10 a 15	5 a 10
Proteína cruda del ensilaje (%)	7 a 8	7 a 8

Después de 30 a 40 días de la cosecha del forraje de maíz y pastos, la pradera ha producido nuevos rebrotes y se encuentra en condiciones óptimas para iniciar el pastoreo con bovinos (Figura 8). La producción de biomasa en estas praderas renovadas es en promedio de 2.500 kgMS/ha, permitiendo una capacidad de carga de cinco animales/ha con un peso de 350 kg/animal. Es conveniente que estas praderas sean divididas con cerca para hacer un pastoreo rotacional, el cual puede variar de acuerdo con el número de potreros. Por ejemplo, si la pradera



Figura 8. Estado de la pradera renovada de pasto Toledo, después de 35 días de realizada la cosecha de la asociación de maíz + pastos para ensilaje, en el Piedemonte llanero.

es dividida en cuatro potreros y el pasto establecido es Toledo, se recomienda que los animales permanezcan en pastoreo en cada potrero durante siete días y tenga un descanso de 21 días, es decir, que después de este tiempo los animales vuelvan al mismo potrero.

Renovación de praderas con maíz o sorgo para forraje + soya forrajera

Para el mejoramiento de la calidad del ensilaje de solo gramínea (maíz o sorgo), especialmente con respecto a la proteína, se ha implementado con éxito el cultivo de la soya forrajera (Rincón y Valencia, 2006; Valencia *et al.*, 2006) en un área similar a la de la gramínea, en lotes contiguos (Figura 9). La siembra de los dos cultivos debe hacerse en surcos separados entre 70 y 80 cm, con el fin de facilitar la cosecha de los dos cultivos, ya que la máquina no tiene la posibilidad de realizar cosecha de surcos a menor distancia. Con el establecimiento de los dos cultivos en áreas y distancias de siembra similares, se facilita la cosecha,

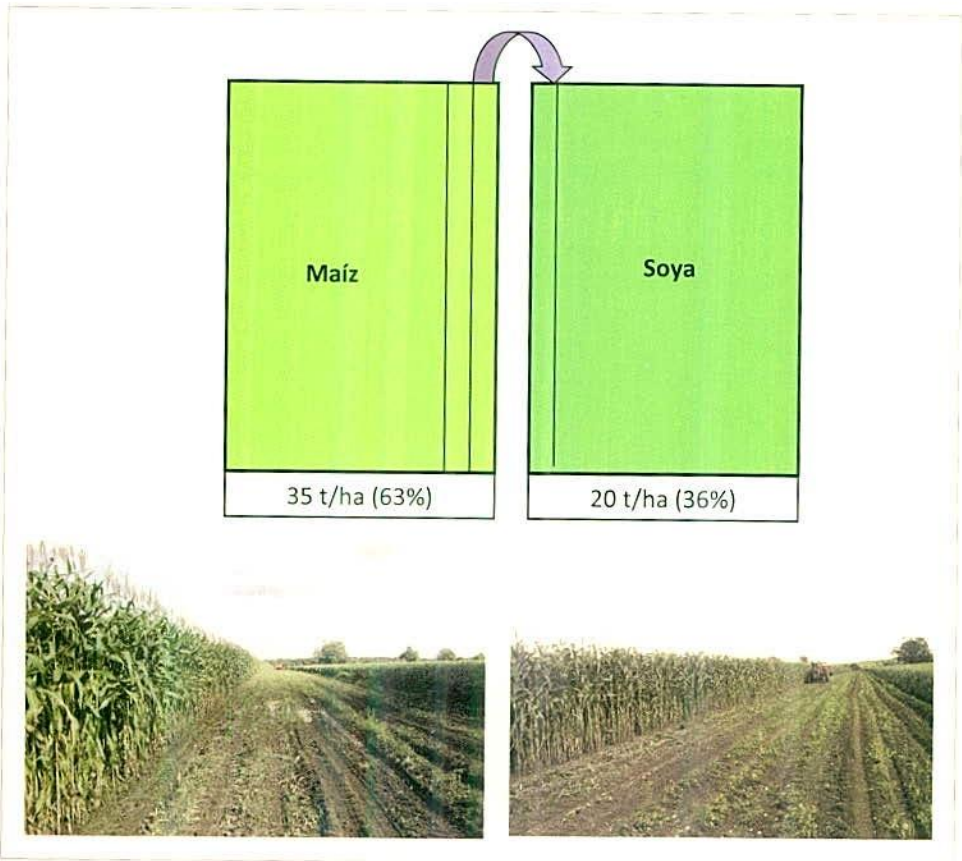


Figura 9 Cultivo de soya forrajera *Corpoica Taluma 5* establecida para ensilaje con maíz, en la Altillanura plana.

porque la máquina puede cortar en forma alterna surcos de maíz y soya, para así lograr una buena mezcla de gramínea y leguminosa en el ensilaje.

La variedad de soya recomendada para su uso como ensilaje con maíz o sorgo es la *Corpoica Taluma 5* (Figura 10), la cual tiene una buena producción de grano, pero a diferencia de las demás, posee buena producción de biomasa aérea, llegando a una altura de 1,20 m y un rendimiento de forraje de 16 a 23 t/ha (Pardo *et al.*, 2003). Otro aspecto importante a considerar y que aumenta la importancia de utilizar este material en la alimentación animal es su calidad nutritiva, la cual ha alcanzado una concentración de 24% de proteína cruda en sus hojas a la edad de 65 días, además la degradabilidad de 77% es considerada como alta (Medrano *et al.*, 2001).



Figura 10. Soya *Corpoica Taluma 5* a la edad de 60 días, en la Altillanura plana.

La densidad de siembra del maíz es en promedio de 20 kg/ha, pero cuando la gramínea a establecer es sorgo se deben sembrar 7 kg/ha; Para el cultivo de soya se utilizan entre 40 y 50 kg/ha, dependiendo de la variedad. Con una distancia entre surcos de soya de 70 cm y con 20 plantas por metro lineal, la densidad de siembra es de 42 kg/ha de semilla, con una germinación del 80% (Tabla 2). Con distancias de siembra entre surcos más cortas no es posible hacer la recolección del forraje con la cosechadora de surcos.

Tabla 2. Semilla requerida para la siembra de soya forrajera *Taluma 5*, a diferentes distancias entre surcos

Indicador	Densidad de siembra 1	Densidad de siembra 2	Densidad de siembra 3	Densidad de siembra 4
Distancia entre surcos (cm)	40	50	60	70
Distancia entre plantas (cm)	5	5	5	5
Población (plantas/ha)	500.000	400.000	333.333	285.714
Densidad de siembra/semilla con 80% de germinación (kg)	72	58	49	42

Rotación de maíz o sorgo forrajero con soya forrajera y posterior siembra de pastos

Se establecen los cultivos de gramínea forrajera sola (maíz o sorgo) o de estos mismos cultivos junto con lotes contiguos de soya forrajera. En este caso no se establecen los pastos, pues el propósito es hacer rotación de estos cultivos de gramínea y leguminosa durante 1, 2 o 3 años, con el fin de ir mejorando la fertilidad de los suelos, gracias a los fertilizantes aplicados en cada ciclo del cultivo. En la Tabla 3 se presenta un ejemplo de los insumos aplicados durante tres años de cultivos en la finca *La Gloria* (Altillanura plana), con una aplicación inicial mayor de enmiendas de dos t/ha de cal dolomítica, 800 kg/ha de abono Paz del río y 400 kg/ha de yeso agrícola.

Por la mayor deficiencia de fósforo y calcio en este suelo, al año siguiente se aplicó 1 t/ha de abono Paz del río. En el año tres del establecimiento de los cultivos de maíz y soya no se aplicaron enmiendas y la fertilización con potasio se redujo en un 50%, pero en cambio se mantuvo la aplicación de azufre y magnesio durante los tres años.

Tabla 3. Enmiendas y fertilizantes aplicados durante tres años a los cultivos de maíz y soya forrajera establecidos para la producción de ensilaje, finca *La Gloria*, en la Altillanura plana

Insumo	Año 2009 (Estado inicial)	Año 2010 (A 1 año)	Año 2011 (A 2 años)
Cal dolomítica	2000	0	0
Abono Paz del río	800	1000	0
Yeso agrícola	400	0	0
Cloruro de potasio	200	150	100
Fosfato diamónico	200	200	200
Borozinco	30	30	20
Kieserita	100	100	100
Urea	200	200	150

El efecto en el suelo de las aplicaciones de enmiendas y fertilizantes se presenta en la Tabla 4, con cambios importantes en la materia orgánica; probablemente, por los

aportes de residuos de cosecha, el fósforo mejoró su concentración al pasar de 1 a 8 mg/kg, además las bases intercambiables presentaron apreciables aumentos, lo cual se vio reflejado en un incremento en la saturación de bases de un 50% inicial a 89% al final del tercer año de las siembras de los cultivos. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la reducción apreciable en la saturación de aluminio, brindando condiciones adecuadas para el desarrollo de cualquier cultivo.

Tabla 4 Cambios en las características químicas del suelo durante tres años de cultivos de maíz y soya. Finca *La Gloria*, Altillanura plana

Característica	Año 2009 (Estado inicial)	Año 2010 (A 1 año)	Año 2011 (A 2 años)
pH	5,5	5,4	5,3
M.O (%)	3,0	3,2	4,1
P (mg/kg)	1	3	8
Al (cmol/kg)	0,5	0,3	0,2
Ca (cmol/kg)	0,8	2,17	2,30
Mg (cmol/kg)	0,3	0,73	0,82
K (cmol/kg)	0,03	0,04	0,12
S (mg/kg)	0,8	3,13	8,0
Saturación de aluminio (%)	33	8	5
Saturación de bases (%)	50	81	89

En cultivos establecidos en fincas de la Altillanura, la población de maíz y soya obtenida en las evaluaciones realizadas a los 30 días después de la siembra (dds) fue ligeramente inferior a la densidad de semilla empleada, lo que indica la buena calidad de la semilla y la eficiencia de la maquinaria utilizada. Como se puede apreciar en la Figura 11, de las 6 a 7 semillas de maíz sembradas por metro lineal, germinaron y se desarrollaron entre 6,2 y 5 plantas en las fincas *La Gloria* y *La Piedad*, respectivamente. En el mismo orden, de las 11 a 12 semillas sembradas de soya, se desarrollaron entre 10,4 y 11 plantas.



Figura 11. Población de maíz y soya (plantas/metro lineal) a los 30 días después de la siembra en fincas de la Altillanura plana.

Cosecha de cultivos y almacenamiento en silos

La cosecha de los dos cultivos se hace entre los 75 y 80 días después de la siembra, cortando en forma secuencial un surco de maíz y luego un surco de soya, para así obtener una mezcla homogénea del forraje para la elaboración del silo (Figura 12).



Figura 12. Cosecha de soya y maíz forrajero en la Altillanura plana.

La producción de ensilaje de maíz en fincas de la Altillanura ha estado entre 30 y 40 t/ha, y la de soya forrajera ha fluctuado entre 17 y 22 t/ha de biomasa verde; estos rendimientos están relacionados con la fertilidad de los suelos. Con un promedio de 35 t/ha de maíz y 20 t/ha de soya, teniendo en cuenta un 50% de área sembrada con maíz y un 50% con soya, el rendimiento promedio de ensilaje de maíz + soya ha estado en 28 t/ha. En la finca *La Gloria*, donde se han cultivado 17 ha con maíz y soya durante tres años, en el primer año el rendimiento de ensilaje de gramínea + leguminosa fue de 25 t/ha y en el año siguiente aumentó a 30 t/ha. En el año 2011 se inició la siembra de sorgo forrajero con soya, logrando una producción de sorgo de 60 t/ha y de 20 t/ha de soya, alcanzando un promedio en los dos cultivos de 40 t/ha (Tabla 5).

Tabla 5. Producción de ensilaje de cultivos durante tres años en la finca *La Gloria*, en la Altillanura colombiana

Año	cultivo	Área (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción total (t)
2009	Maíz + soya ¹	17	25	425
2010	Maíz + soya	17	30	510
2011	Sorgo + soya	5	40	200
	Maíz + soya	12	30	360

¹ Maíz + soya (50% del área en maíz y 50% del área en soya forrajera).

El sistema de ensilaje depende de la maquinaria que el productor disponga en la finca, pero el sistema más utilizado, especialmente en pequeñas explotaciones, es el silo de montón. En fincas que cultivan una mayor área para la producción de ensilaje se está utilizando con éxito el ensilaje en silopress (Figura 13).



Figura 13. Almacenamiento de forraje de maíz + soya forrajera en silopress, en la Altillanura plana.

Calidad nutritiva del ensilaje de maíz + soya forrajera

El ensilaje de maíz mezclado con leguminosa se constituye en un alimento de buena calidad para los bovinos durante la época seca y como suplemento para los animales en pastoreo en cualquier época del año. La concentración de proteína cruda en una gramínea como el maíz no supera el 8%, resultando ser deficiente para las exigencias de los bovinos; sin embargo, el aporte de la soya forrajera al incremento de la proteína cruda en el ensilaje a un 12% permite fácilmente reemplazar a los concentrados comerciales de alto costo para la alimentación de bovinos. La fibra en detergente neutro que involucra a la celulosa, hemicelulosa y lignina es de 58% en el ensilaje de maíz, mientras que en la mezcla de maíz y soya se reduce a 52%; en tanto, la fibra en detergente ácido (hemicelulosa) es similar en el ensilaje de maíz solo y cuando este está acompañado con ensilaje de soya, lo cual además favorece la degradabilidad, que alcanza 71,4% (Tabla 6) (Figura 14).

Esta tecnología es de gran importancia como estrategia para la alimentación del ganado en la época seca, pues su buena calidad está dando solución a la baja concentración de proteína que tradicionalmente ha tenido el ensilaje de

maíz, por lo tanto los rendimientos de carne o leche se pueden incrementar en esa época, en la que tradicionalmente se han presentado pérdidas en los sistemas de producción ganaderos de la región.

Tabla 6. Calidad del ensilaje (%) de maíz con y sin soya en fincas de la Altillanura plana

Ensilaje	Proteína Cruda	FDN	FDA	Degradabilidad
Maíz	8,0	58,4	29,2	68,0
Maíz + soya	12,0	52,4	29,6	71,4

FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido.



Figura 14. Ensilaje de maíz + soya forrajera listo para el suministro a los bovinos.

Con respecto a la concentración de minerales en los ensilajes, se encontró que el fósforo (P) y el calcio (Ca) fueron superiores en el ensilaje de la mezcla de soya con maíz, con 0,23% y 0,17%, respectivamente, llenando los requerimientos de P en ganado de ceba, pero con deficiencia de Ca, que en la producción de carne bovina debe ser superior a 0,30% (McDowell et al., 1997). El potasio (K) fue superior en el ensilaje de maíz, confirmando la mayor concentración de este elemento en gramíneas; en tanto, el magnesio (Mg) y el azufre (S) presentaron concentraciones similares en los dos tipos de ensilajes (Tabla 7).

Tabla 7. Concentración de minerales (%) en el ensilaje de maíz solo y maíz asociado con soya forrajera en fincas de la Altillanura plana

Ensilaje	P	K	Ca	Mg	S
Maíz	0,15	0,99	0,12	0,17	0,16
Maíz + soya	0,23	0,83	0,17	0,16	0,16

La concentración de hierro fue el doble en el ensilaje de maíz + soya, con 180 mg/kg, mientras que el manganeso y zinc se presentaron en mayores concentraciones en el ensilaje de maíz (Tabla 8). El cobre y boro, que son microelementos deficientes en los suelos de la Altillanura, pero importantes para el funcionamiento de los bovinos, presentaron mayor concentración en el ensilaje de maíz + soya.

Tabla 8. Concentración de micro elementos (mg/kg) en el ensilaje de maíz solo y maíz asociado con soya forrajera en fincas de la Altillanura plana

Ensilaje	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Maíz	94,00	9,30	35,40	13,30	11,80
Maíz + soya	180,80	11,30	26,00	10,70	14,90

El pasto que es usado tradicionalmente para la alimentación de bovinos en la Altillanura es el *Brachiaria decumbens*, pero en los últimos años este ha sido reemplazado por el *Brachiaria humidicola* o el *Brachiaria dictyoneura*, conocido como *Pasto llanero*. Este pasto en la época seca presenta una disponibilidad promedio de 300 kgMS/ha. Además de la poca disponibilidad de forraje, la calidad es baja, teniendo en cuenta que la proteína cruda es de 5%; también se ha encontrado un alto contenido de fibra y regular degradabilidad *in situ* de la materia seca, por efecto del estrés hídrico que se evidencia con el alto contenido de materia seca (Tabla 9).

Tabla 9. Valor nutritivo del *Pasto llanero* durante la época seca en la Altillanura plana

Valor nutritivo	Promedio de cuatro fincas
Materia seca (%)	43
Proteína cruda (%)	5,0
Fibra en Detergente Neutro (%)	68,2
Fibra en Detergente Ácido (%)	39,5
Degradabilidad de la materia seca (%)	55

Establecimiento de los pastos

Después de dos o tres años de siembras consecutivas de maíz y soya para ensilaje, los suelos han sido mejorados en su fertilidad, presentando una condición adecuada para el establecimiento de praderas productivas. Para la siembra del pasto se mezcla la semilla con una fuente fosfórica de lenta solubilidad y se distribuye en el terreno con una encladora. Posteriormente se siembra el maíz o el sorgo forrajero en las densidades ya sugeridas; de igual forma, en un lote contiguo se establece la soya forrajera, previa siembra del pasto. La cosecha de los cultivos mezclados con forraje del pasto se realiza a los 80 días, con

rendimientos que han estado entre 27 y 40 t/ha de biomasa para ensilaje (Tabla 10). Teniendo en cuenta que la producción de forraje verde de soya ha estado entre 15 y 20 t/ha, la proporción de leguminosa en la mezcla forrajera ha estado entre 26% y 31%.

Tabla 10. Producción de biomasa de maíz o sorgo + soya forrajera + pasto para ensilaje, en la Altillanura plana

Finca	Producción de biomasa (forraje verde)					Leguminosa (%)
	Cultivo de gramínea (t/ha)	Soya (t/ha)	Pasto (t/ha)	Total (t/2 ha)	Promedio (t/ha)	
<i>La Gloria</i> (Maíz + soya + pasto)	35	20	8	63	31,5	31,7
<i>La Gloria</i> (Sorgo + soya + pasto)	50	20	9	80	40,0	26,3
<i>Santana</i> (Maíz + soya + pasto)	30	15	8	53	27,0	28,3

Producción animal

Para determinar el efecto del ensilaje de maíz + soya forrajera como suplemento para animales en pastoreo de *Pasto llanero*, durante la época seca, se realizaron evaluaciones de ganancia de peso en dos fincas de la Altillanura. En la finca *La Gloria* se utilizaron 25 novillas en el tratamiento de pastoreo con suplemento forrajero de maíz + soya, y 25 novillas en solo pastoreo (Figura 15). En la finca *La Piedad* se utilizaron 20 novillos en cada tratamiento. En las dos fincas se realizó la

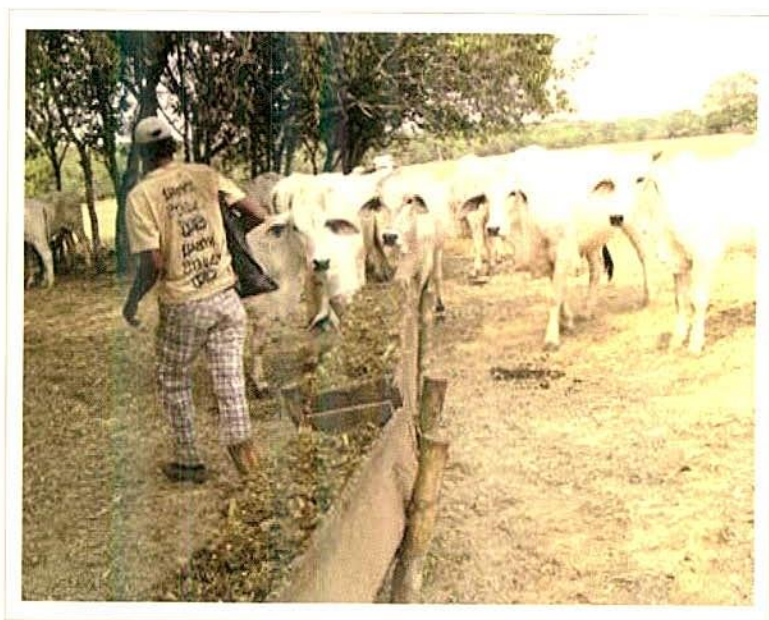


Figura 15. Suministro de ensilaje a bovinos durante la época seca, en la Altillanura plana.

evaluación entre enero y febrero del 2009. En los dos meses, las novillas Cebú en *La Gloria* que consumieron ensilaje, pasaron de un peso inicial de 343 kg/an a 386 kg/an, obteniendo una ganancia de 42,5 kg/animal, mientras que los animales que solamente estuvieron en pastoreo presentaron una pérdida de 15 kg/novilla.

En la Finca *La Piedad*, los novillos tenían en promedio un peso inicial de 197 kg/an y al cabo de los 60 días se llegó a 235 kg/an, obteniendo una ganancia de peso de 37,5 kg/an. En solo pastoreo los 20 novillos, con un peso inicial de 213 kg/an y al final de los dos meses de suplementación obtuvieron un peso promedio de 197 kg/an, con una pérdida de 16,5 kg/an (Tabla 11).

Tabla 11. Ganancia de peso de novillas y novillos en pastoreo y suplementados con ensilaje de maíz + soya, durante la época seca en las fincas *La Gloria* y *La Piedad*, en la Altillanura plana

Indicador	Finca <i>La Gloria</i>		Finca <i>La Piedad</i>	
	Novillas en pastoreo con suplementación	Novillas en pastoreo sin suplementación	Novillos en pastoreo con suplementación	Novillos en pastoreo sin suplementación
Área (ha)	25	25	20	20
Días de evaluación	60	60	60	60
Fecha de evaluación	15 enero a 15 marzo de 2009	15 enero a 15 marzo de 2009	10 enero a 10 marzo de 2009	10 enero a 10 marzo de 2009
Nº de animales	25	25	20	20
Carga (animal/ha)	1	1	1	1
Peso inicial promedio (kg/animal)	343,4	305,6	197,4	213,3
Peso final promedio (kg/animal)	385,9	290,5	234,9	196,8
Ganancia de peso por animal (kg/60 días)	42,5	-15,1	37,5	-16,5
Ganancia diaria (kg/animal)	0,709	-0,252	0,625	-0,275

Beneficios económicos

Con una producción de ensilaje de maíz + soya forrajera de 28 t/ha y unos costos de producción de \$4.402.000, el costo para producir un kg de ensilaje fue de \$157. Con un precio de venta de \$200/kg de ensilaje de buena calidad, se obtiene un ingreso bruto de \$5.600.000, por consiguiente el ingreso neto que se obtiene es de \$1.198.000/ha y una pradera con alta producción de forraje, cuyo establecimiento o renovación no tiene ningún costo (Tabla 12).

En la época seca, cuando no hay disponibilidad de forraje de pastoreo, la alternativa es alimentar a los animales con ensilaje. En trabajos realizados en fincas de la Altillanura, el consumo promedio diario de ensilaje por animal ha sido de 20 kg, por lo tanto, durante tres meses de época seca (de enero hasta marzo), un bovino debe disponer de 1.800 kg/animal. El costo de alimentar un novillo con un peso promedio de 300 kg/an es de \$282.600, el cual presentará una ganancia diaria de

Tabla 12. Costos de la renovación de praderas mediante la asociación de maíz-pastos para ensilaje y bajo el sistema convencional con la siembra de solo pasto Toledo, en la Altillanura plana, año 2012

Insumo/labor	Costos de la renovación de praderas (\$)	
	Con maíz – pastos	Con pasto Toledo
Maquinaria	1.440.000	300.000
Fertilizantes	1.725.000	485.000
Semillas	762.000	240.000
Control de plagas	50.000	67.000
Mano de obra	75.000	45.000
Transporte	350.000	130.000
Cosos variables totales	4.402.000	1.267.000
Producción de ensilaje maíz +soya (t/ha)	28	
Costo de producción de 1 kg de ensilaje	157	
Precio de venta de 1 kg de ensilaje de maíz + soya	200	
Ingreso bruto (\$/ha)	5.600.000	
Ingreso neto (\$/ha)	1.198.000	
Costo de la renovación de praderas	0	
Ahorro (%)	100	

700 g/an/día y 67 kg/an durante los 90 días de la época seca. El ingreso que se obtiene por la producción de carne en pie es de \$189.000/an, lo que no alcanza a cubrir los costos de la alimentación, pero si no suplementara en ésta época el bovino perdería 23 kg de carne en pie lo que equivale a \$69.000 (Tabla 13).

Tabla 13. Indicadores económicos y técnicos del uso de ensilaje de maíz soya en la producción animal, durante la época seca en las fincas *La Gloria* y *La Piedad*, en la Altillanura plana

Indicador	Valor
Producción de ensilaje de maíz + soya (kg/ha)	28.000
Valor de un kilo de ensilaje de maíz + soya (\$)	157
Consumo diario de ensilaje (kg/an)	20
Periodo de época seca desde enero hasta marzo (días)	90
Consumo total por animal en el período seco de 90 días (kg)	1.800
Valor del ensilaje por animal en un día (\$)	3.140
Valor total del ensilaje por animal en 90 días (\$)	282.600
Ganancia de peso en el periodo de 90 días (kg/an)	63
Ingreso por venta de carne en el periodo (\$3.000/kg en pie)	189.000
Diferencia entre producción de carne y costo de ensilaje consumido en el periodo (\$)	-93.600
Pérdidas de peso de novillos en solo pastoreo durante los 90 días secos (kg/an)	23
Valor de la pérdida (\$)	69.000

Establecimiento o renovación de praderas con la asociación soya-pastos

La asociación de soya forrajera con pastos tiene como propósito obtener forraje mezclado de gramínea y leguminosa, el cual puede ser conservado en ensilaje para la alimentación de los bovinos y además se obtiene una pradera en buenas

condiciones para el pastoreo. Esta asociación se puede establecer para siembras nuevas de pastos o para renovar praderas degradadas.

La preparación de suelos y la aplicación de enmiendas siguen el mismo procedimiento desarrollado para la siembra de la asociación maíz-pastos. El establecimiento de la asociación se inicia con la siembra del pasto con 5 a 6 kg/ha de semilla de buena calidad, la cual se mezcla con 500 kg/ha de una fuente fosfórica de lenta solubilidad como la roca fosfórica o de mediana solubilidad como las escorias Thomas. La mezcla es distribuida en el lote con una encladora e inmediatamente se realiza la siembra de la soya forrajera en una densidad de 50 kg/ha de semilla previamente inoculada con Rizhobium. La inoculación de la semilla de soya se hace con una cepa específica de la bacteria, que cumplirá una función importante de fijación de nitrógeno atmosférico y así evitar la fertilización nitrogenada. El procedimiento para inocular 50 kg de semilla de soya que se requiere para sembrar una hectárea, consiste en la mezcla de 500g de inóculo con 500 cc de agua azucarada al 10%, la cual es posteriormente mezclada con la semilla. Para lograr una buena adherencia del Rizhobium a la semilla, esta se mezcla con 1.000 a 1.500 g de roca fosfórica que recubre la semilla en forma homogénea. Por último, la semilla peletizada se deja secar a la sombra durante 20 minutos, aproximadamente.

La densidad de siembra está relacionada con las distancias utilizadas entre plantas y entre surcos y con la calidad de la semilla. En la Tabla 14 se presenta una variación en la distancia entre surcos, la cual depende de la maquinaria utilizada tanto para la siembra como para la cosecha. En distancias de siembra de 40, 50 y 60 cm entre surcos se debe utilizar una cosechadora de densos, en tanto que a mayores distancias, como a 70 y 80 cm entre surcos, es posible utilizar una cosechadora en surcos, con el inconveniente de que con esta máquina se puede quedar en el lote una alta cantidad de biomasa de pasto sin cosechar, lo cual no

Tabla 14 Producción de biomasa de soya *Taluma 5* y de pasto Toledo hasta el momento de la cosecha, en el Piedemonte llanero

Edad (días)	Soya forrajera <i>Taluma 5</i>			Pasto Toledo		
	Masa verde (kg/ha)	Materia seca (%)	Masa seca (kg/ha)	Masa verde (kg/ha)	Materia seca (%)	Masa seca (kg/ha)
14	840	14	118			
21	1.830	16	293			
28	8.650	18	1.557			
35	11.200	20	2.240	380	19	72
42	16.600	22	3.652	1.075	20	215
49	17.520	25	4.380	2.510	22	552
56	18.850	29	5.467	3.490	25	873
63	20.340	32	6.509	3.910	30	1.173
70	22.500	32	7.200	4.830	32	1.546

sucede con la cosechadora de densos, pues esta máquina, mediante el corte con cuchillas, aprovecha toda la biomasa.

En el momento de la siembra, simultáneamente la máquina aplica la fertilización de establecimiento a una profundidad de cuatro cm. Las cantidades de insumos se calculan de acuerdo con los resultados del análisis de suelos y con la exigencia del cultivo. Como ejemplo se puede aplicar una mezcla de 200 kg/ha de superfosfato triple, 75 kg/ha de cloruro de potasio, 100 kg/ha de Kieserita y 30 kg de Borozinco. Las plantas de soya forrajera germinan a los cinco días después de la siembra, y el pasto, a los 10 días. A los 20 días de edad del cultivo se aplica una fertilización con 75 kg/ha de cloruro de potasio. La soya es muy afectada por los crisomélidos (*Cerotoma* sp.), insectos comedores de follaje que afectan el área foliar de la planta, por consiguiente, debe hacerse control con un insecticida, antes de que el ataque pueda causar daño económico. Otra plaga que afecta el cultivo es la hormiga arriera (*Atta* sp.), la cual puede causar grandes pérdidas en corto tiempo (Figura 16), si no es controlada en los hormigueros, en lo posible, antes de la siembra, con un insecticida en polvo o granulado.



Figura 16. Plantas de soya afectadas por hormiga *Atta* sp.

Cuando el inóculo no cumple su función para lo cual fue aplicado, las plantas de soya presentan un color verde amarillento y su desarrollo vegetativo se retrasa, por lo tanto, para dar solución a esta deficiencia es necesario hacer un aplicación de nitrógeno en el surco de la soya, en una dosis de 50 kg/ha.

Para obtener una buena asociación de gramíneas y leguminosas, se deben tener en cuenta todas las recomendaciones de control de plagas y nutrición

mineral de la asociación, con especial cuidado en el cultivo de la soya (Figura 17). De lo contrario, se corre el riesgo de que por problemas en el desarrollo de la soya, esta dé espacio para que el pasto tome predominio y la inversión realizada en el cultivo de la soya se pueda perder, obteniendo un ensilaje con mayor proporción de gramínea y de menor calidad nutritiva.



Figura 17. Asociación de soya + pasto a los 50 días después de la siembra.

En un cultivo de 10 ha de la asociación de soya forrajera *Taluma 5* y pasto Toledo se sembraron cinco kg de semilla de pasto Toledo con encladora y la soya fue establecida en surcos separados a 40 cm y a 10 cm entre plantas. Cada siete días se realizó una evaluación de la producción de biomasa, desde los 14 días después de la siembra, hasta el momento de la cosecha, que fue a los 70 días de edad de la asociación. En la Tabla 14 y la Figura 18 se puede apreciar el incremento en biomasa de la soya y del pasto, en masa verde y en masa seca, encontrándose una mayor producción de la soya (7.200 kg MS/ha), equivalente a cinco veces la producción del pasto (1.546 kg MS/ha). Una de las principales diferencias entre estos dos cultivos asociados es que la soya tiene un establecimiento más rápido, de tal forma que a los 35 días después de la siembra, la soya ha producido 11.200 kg/ha de forraje verde, en tanto el pasto solo alcanza una producción de 380 kg/ha.

En la Figura 18 se grafica la diferencia en crecimiento de la soya forrajera *Taluma 5* y el pasto Toledo, en la que se ve claramente la superioridad de la soya forrajera a los 70 días.

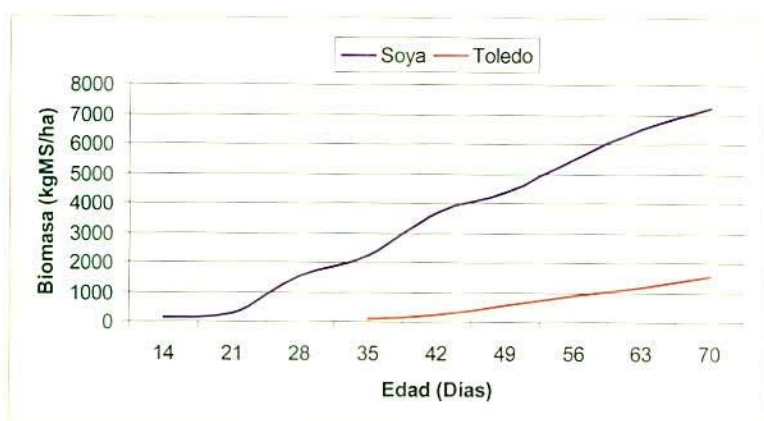


Figura 18. Crecimiento de la soya forrajera *Taluma 5* y el pasto Toledo, hasta el momento de la cosecha.

La producción diaria de biomasa aérea de la soya llega a su máxima expresión a la edad de 42 días, con 202 kg MS/ha; en tanto, el pasto a esta misma edad, presentó una producción diaria de 20 kgMS/ha (Tabla 15); no obstante, es importante tener en cuenta que la producción diaria de soya después de los 42 días decrece por el inicio del periodo reproductivo de la planta, que utiliza sus metabolitos en la formación de semillas, mientras que el pasto sigue en aumento su producción de forraje.

Tabla 15. Incremento diario de biomasa de soya forrajera y pasto Toledo hasta el momento de la cosecha (70 días)

Edad (días)	Soya <i>Taluma 5</i>			Pasto Toledo		
	Producción cada 7 días (kg/ha)	Incremento en la producción cada 7 días (kg/ha)	Producción diaria (kg/ha)	Producción cada 7 días (kg/ha)	Incremento en la producción cada 7 días (kg/ha)	Producción diaria (kg/ha)
14	118					
21	293	175	25			
28	1.557	1.264	181			
35	2.240	683	98	72		
42	3.652	1.412	202	215	143	20
49	4.380	728	104	552	337	48
56	5.467	1.087	155	873	320	46
63	6.509	1.042	149	1.173	301	43
70	7.200	691	99	1.546	373	53

Cosecha de la asociación soya + pastos

La cosecha de la asociación de soya + pastos se realiza entre los 70 y 80 días de edad, con un rendimiento entre 20 y 25 t/ha de forraje ensilado con un concentración de proteína cruda entre 12 y 15%.

En un experimento realizado en el Piedemonte llanero (Rincón y Valencia, 2006) se estableció la asociación de soya forrajera *Corpoica Taluma 5* con pasto Mulato, en diferentes distancias de siembra. La cosecha del forraje de la asociación se realizó a los 70 días de edad del cultivo (formación completa de vainas e inicio de llenado). El corte del forraje se efectuó a una altura de 30 cm, con el fin de dejar suficiente forraje residual del pasto, que permitiera tener reservas nutritivas para la producción de nuevas hojas. La producción de forraje de soya entre tratamientos presentó diferencias significativas ($P < 0,05$), mientras que la producción de biomasa del pasto Mulato no fue afectada. Los tratamientos con soya sembrada a 17 cm, asociada con pasto Mulato en surco o al voleo, alcanzaron la mayor producción de biomasa por unidad de área (16.825 y 15.255 kg/ha), respectivamente (Tabla 16). La producción promedio de forraje verde de este pasto estuvo entre los 4.900 y 7.465 kg/ha.

Tabla 16. Producción de forraje (kg/ha) de la asociación soya forrajera + pasto Mulato en el momento de la cosecha (70 días después de la siembra), en C.I. La Libertad, en el Piedemonte llanero

Tratamiento	Soya		Pasto Mulato		Total	
	Masa verde	Masa seca	Masa verde	Masa seca	Masa verde	Masa seca
Pasto surcos 50 cm + soya surcos 17 cm	15.255 a	3.966 a	7.465 a	1.642 a	22.720 a	5.608 a
Pasto surcos 50 cm + soya surcos 34 cm	10.270 b	2.670 b	6.215 a	1.367 a	16.485 b	4.037 b
Pasto surcos 50 cm + soya surcos 51 cm	8.330 bc	2.166 bc	5.510 a	1.212 a	13.840 bcd	3.378 bcd
Pasto surcos 50 cm + soya al voleo	7.585 bc	1.972 bc	5.320 a	1.170 a	12.905 bcd	3.142 bcd
Pasto al voleo + soya surcos 17 cm	16.825 a	4.374 a	7.000 a	1.540 a	23.825 a	5.914 a
Pasto al voleo + soya surcos 34 cm	7.485 bc	1.946 bc	7.085 a	1.557 a	14.570 bc	3.503 bc
Pasto al voleo + soya surcos 51 cm	6.250 bc	1.625 bc	4.910 a	1.080 a	11.160 cd	2.705 cd
Pasto al voleo + soya al voleo	4.850 c	1.261 c	5.020 a	1.104 a	9.870 d	2.365 d
C.v. (%)	18,8	18,8	22,2	22,2	12,2	12,5

La producción de biomasa de soya por unidad de área fue inversamente proporcional con la distancia entre surcos. A una distancia de 17, 34 y 51 cm y al voleo, la producción de forraje de soya fue de 4.170, 2.308, 1.895 y 1.616 kgMS/ha, respectivamente; en tanto, la producción de forraje de pasto Mulato fue de 1.500 kgMS/ha en los tratamientos en donde la soya se sembró en surcos a una distancia de 17 y 34 cm, y de 1.400 kgMS/ha en las siembras de la soya a 51 cm y al voleo. En los tratamientos donde la soya se sembró al voleo o en surcos a 51 cm, la producción promedio de forraje de soya fue inferior en un 50% con respecto a la producción de soya establecida en surcos a 17 cm. El contenido de humedad en la soya y en el pasto no presentó diferencias significativas en los tratamientos evaluados, por consiguiente, el promedio de materia seca de soya fue de 26%, y de pasto, de 22%.

La mayor producción total de biomasa de soya y pasto Mulato, que alcanzó las 23 t/ha de forraje verde, se obtuvo en los tratamientos donde la soya se

estableció en surcos separados a 17 cm; esta producción disminuyó a 15,5 t/ha cuando los surcos de soya se separaron a 34 cm, y a 12,5 t/ha cuando la distancia entre surcos se amplió a 51 cm, sin embargo, los menores rendimientos (9,8 t/ha) se obtuvieron cuando la soya se sembró al voleo.

Calidad nutritiva de la mezcla gramínea-leguminosa

La calidad nutritiva de la mezcla gramínea-leguminosa, en términos de proteína cruda, de fibra en detergente neutro y de digestibilidad se presenta en la Tabla 17. El contenido de proteína cruda en la mezcla de soya y pasto Mulato a la edad de 70 días no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, con un promedio de 14% y un rango entre 12,8 y 15,6%. Con respecto al contenido de fibra en detergente neutro, que corresponde a toda la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina), tampoco se presentaron diferencias significativas, obteniéndose un promedio de 50,6%. La digestibilidad más baja (66%) se obtuvo en el tratamiento en el que la soya se sembró en surcos a 17 cm y el pasto a 50 cm, que correspondió a uno de los tratamientos que tenía más leguminosa. En los demás tratamientos, la digestibilidad tuvo una mínima variación, encontrándose en un rango entre 68 y 71%, considerada como apropiada para la alimentación animal.

Tabla 17. Calidad nutritiva (%) de la asociación soya forrajera-pasto Mulato, en el momento de la cosecha (70 días)

Tratamiento	Proteína cruda	FDN	Digestibilidad
Pasto surcos 50 cm + soya surcos 17 cm	15,4 a	53,6 a	66,1 b
Pasto surcos 50 cm + soya surcos 34 cm	13,7 a	50,8 a	69,3 ab
Pasto surcos 50 cm + soya surcos 51 cm	13,1 a	47,7 a	69,7 ab
Pasto surcos 50 cm + soya al voleo	13,6 a	48,6 a	69,7 ab
Pasto al voleo + soya surcos 17 cm	15,6 a	51,5 a	68,1 ab
Pasto al voleo + soya surcos 34 cm	12,8 a	51,7 a	69,4 ab
Pasto al voleo + soya surcos 51 cm	13,6 a	51,8 a	69,9 ab
Pasto al voleo + soya al voleo	13,6 a	49,3 a	70,9 a
Cv. (%)	7,6	6,6	1,9

Conclusiones

- Los cultivos de maíz y soya para forraje se constituyen en una alternativa viable para la alimentación de bovinos durante la época seca en la Orinoquia, siempre y cuando la producción de forraje sea superior a 28 t/ha y la calidad del ensilaje sea mejorada con una fuente de proteína como la soya.
- El uso de ensilajes para la alimentación de bovinos puede ser aplicada, siempre y cuando se disponga de maquinaria en la finca para la siembra y la cosecha, de lo contrario, ésta tecnología es de difícil adopción por parte de los productores.

Bibliografía

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. (2003). *Informe anual de actividades. Investigación agrícola del año 2003*, C.I. La Libertad, Villavicencio, Colombia.
- Kluthcouski, J.; Stone, L.F. & Aidar, H. (2003). *Integração Lavoura – Pecuaria. EMBRAPA, Arroz e Feijao*. San Antonio de Goiás, Brasil. 570 p.
- McDowell, L. R.; Velásquez-Pereira, J. & Valle, G. (1997). *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Departamento de ciencia animal. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida, Gainesville, University of Florida, USA. 84 p.
- Medrano, L.J.; Bueno, G.; Pardo, O. & Mojica, J.E. (2001). *Desarrollo de sistemas de alimentación bovina en la Orinoquia colombiana con base en el uso de follaje y grano de soya*. Informe final. Corpoica, MADR, Fondo de Fomento de Oleaginosas de ciclo corto. Villavicencio, Colombia. 24 p.
- Pardo, O.; Mojica, J.E.; Bueno, G.; Valencia, R. & Medina, P.J. (2003). Conservación y uso de soya forrajera para la alimentación de rumiantes en la Orinoquia colombiana. Boletín técnico N° 37. Corpoica, C.I. La Libertad, Villavicencio, Colombia. 20 p.
- Rincón, A. & Valencia, R. (2006). Asociación de soya cv. *Corpoica Taluma 5* y *Brachiaria* híbrido cv. Mulato en pasturas de la Orinoquia colombiana. En: *Pasturas Tropicales*, 28 (2): 2-10.
- Valencia, R.; Pardo, O.; Rincón, A. & Bueno, G. (2006). *Corpoica Taluma 5*, variedad de soya para sistemas de producción de la Orinoquia colombiana. En: *Boletín técnico No. 48*. Corpoica, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Coagro. Villavicencio, Colombia. 32 p.

CAPÍTULO 3.

SISTEMAS INTEGRADOS AGROPASTORILES Y SUS EFECTOS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LOS SUELOS

Álvaro Rincón Castillo¹

Los oxisoles ocupan los paisajes fisiográficos de mayor extensión en la región (terrazas aluviales y altillanuras) y tienen la mayor importancia actual y futura para el desarrollo de la economía de los Llanos Orientales. En las últimas décadas, estos suelos han sido objeto de estudio, lo cual ha contribuido al conocimiento de su génesis y de sus características, para dar un mejor manejo y optimizar su productividad (Mejía, 1996). Son extremadamente ácidos y lavados, lo que implica bajo contenido de bases intercambiables (Ca, Mg, K) y altos niveles de aluminio (Al) en el complejo de intercambio (Wilcke & Lilienfein, 2005). Al problema de bajo contenido de fósforo (P) aprovechable, se suma la capacidad de estos suelos para fijarlo, lo cual hace que las aplicaciones de este elemento no sean muy efectivas (Hammond *et al.*, 1982). La toxicidad de Al es una de las mayores limitantes para el crecimiento de las plantas en suelos ácidos. Los daños por Al se presentan en la raíz, afectando el desarrollo de la parte aérea en forma indirecta. El exceso de Al interfiere con la toma, transporte y uso de nutrientes esenciales como fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) e hierro (Fe), y además pueden inhibir los procesos microbiales que aportan nutrientes a las plantas (Foy, 1992). Sin embargo, hay plantas que presentan un buen desarrollo de raíces y un crecimiento vigoroso de toda la planta en suelos ácidos con toxicidad de Al; como el *Brachiaria decumbens* excluye la acumulación de Al en los ápices de sus raíces, este factor le da resistencia a la toxicidad de este elemento. Las puntas de las raíces no secretan ácidos orgánicos, que es el mecanismo de resistencia en otros cultivos. Se ha observado que la destoxificación de Al en las raíces de *B. decumbens* se da por la formación de quelatos de Al o por alcalinización de la rizosfera apical (Clarkson, 1965). La tolerancia diferencial a Al entre especies

¹ I.A. PhD. Investigador de Corpoica C.I. La Libertad. Villavicencio, Meta. Colombia.

y variedades ha estado asociada con una habilidad diferencial para absorber y utilizar P en presencia de Al (Andrew y Vanden Berg, 1973).

Se obtuvieron materiales forrajeros que se adaptaron bien a una saturación de Al superior al 70% y a bajo contenido de nutrientes, especialmente P, destacándose las gramíneas *Brachiaria decumbens* cv. Amargo, *Brachiaria dictyoneura* cv. Llanero, *Brachiaria humidicola* cv. Dulce, *Brachiaria brizantha* cv. La Libertad. Las leguminosas que se han desarrollado bien en asociación con estos pastos son: *Stylosanthes capitata* cv. Capica, *Desmodium ovalifolium* cv. Maquenque, *Arachis pintoi* cv. Maní forrajero, *Phueraria phaseoloides* cv. Kudzu (Belalcázar *et al.*, 1995; Pardo *et al.*, 1999; Rincón *et al.*, 2002).

En la última década se han obtenido cultivos con alta capacidad de producción, entre los cuales están los híbridos de maíz y algunas variedades de soya; además se ha desarrollado pastos de mayor productividad de biomasa, como: *B. brizantha* cv. Toledo (Lascano *et al.*, 2002) y el híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato (Miles, 2006; Plazas, 2006). El establecimiento de estos cultivos requiere de enmiendas que permitan disminuir la saturación de Al a menos del 50% y de fertilizantes necesarios para el buen desarrollo de los cultivos. Estos han permitido obtener altos rendimientos de granos y se ha mejorado la fertilidad de los suelos, brindando las condiciones adecuadas para la implantación de sistemas agropastoriles, considerados como adecuados para el desarrollo agropecuario de esta región.

La integración de la agricultura y la ganadería trae beneficios económicos al productor, con aumento de la productividad de los cultivos y el establecimiento de praderas en óptimas condiciones para la producción de carne y/o leche. El pasto se beneficia con la utilización de fertilizantes y correctivos en las actividades agrícolas, los residuos de los nutrientes utilizados permanecen en el suelo, contribuyendo con el aumento de la fertilidad.

Los pastos tienen un buen desarrollo de raíces para la búsqueda de nutrientes y reciclaje a mayor profundidad que contribuye al aumento de la actividad biológica y al mejoramiento de las características físicas del suelo, al aumento de la materia orgánica y ayudan al control de erosión del suelo, debido a su cobertura. Los pastos, como *Brachiaria* spp, dejan un residuo de paja sobre el suelo de 5 a 10 t/ha de materia seca y en el interior del suelo quedan de 10 a 20 t/ha de raíces, que contribuyen a mejorar las condiciones para el establecimiento de los cultivos anuales (Pereira y Pacheco, 2003).

Sin embargo, las ventajas que se tienen con el establecimiento de sistemas agropastoriles puede ser temporal, cuyos beneficios se aprecian en los primeros dos años de pastoreo, por la buena producción y calidad de forraje en los suelos mejorados con los fertilizantes aplicados. Por tal razón, es necesario

determinar la capacidad de extracción de minerales por el cultivo de maíz y los pastos, y el flujo de nutrientes entre suelo y planta durante los primeros años de establecimiento de la asociación maíz-pastos, y determinar la necesidad de aplicar fertilización de mantenimiento a las praderas para conservar la productividad animal durante varios años.

Aplicación de enmiendas y fertilizantes

En el establecimiento de la asociación maíz-pastos, en suelos ácidos como los de la Altillanura colombiana, se requiere de la aplicación de enmiendas y fertilizantes necesarios para la obtención de buenas cosechas del grano y pastos con mejor producción y calidad de forraje. Las enmiendas aplicadas antes de la siembra de los cultivos son de gran importancia para disminuir la alta saturación de aluminio que limita el desarrollo de las raíces de las plantas y contribuir al mejoramiento de la concentración de P y de bases intercambiables esenciales para todos los procesos fisiológicos en los cultivos.

En la Tabla 1 se presentan las cantidades aplicadas en suelos de la Altillanura para la renovación de praderas, en la que se pueden apreciar las diferentes fuentes con sus respectivos aportes de minerales al suelo. Estas cantidades pueden variar de acuerdo con las concentraciones de minerales presentes en el suelo antes de iniciar el establecimiento de la asociación.

Tabla 1. Enmiendas y fertilizantes aplicados para la asociación maíz-pastos. Altillanura plana

Enmiendas y fertilizantes aplicados	Cantidad kg/ha	Mineral aplicado	Cantidad (kg/ha)
Cal dolomítica	2.000	Calcio (Ca)	500
		Magnesio (Mg)	140
Roca fosfórica	500	Calcio (Ca)	125
		Fósforo (P)	40
Yeso agrícola	300	Calcio (Ca)	60
		Azufre (S)	45
Fosfato diamónico	200	Fósforo (P)	38
		Nitrógeno (N)	36
Cloruro de potasio	150	Potasio (K)	75
Sulfato de magnesio	100	Magnesio (Mg)	10
		Azufre (S)	12
Urea	200	Nitrógeno (N)	92
Borozinco	30	Zinc (Zn)	0,45
		Boro (B)	0,75
		Cobre (Cu)	0,15

En el esquema de fertilización de la anterior tabla, el Ca fue el elemento que se aplicó en mayor cantidad (685 kg/ha), el cual está presente en la cal dolomítica, la roca fosfórica y el yeso agrícola, y su función, además de desplazar cationes de Al del suelo, es la de servir como nutriente a la planta; esta mayor cantidad de Ca con respecto al Mg y K se debe también a la mayor dificultad que tiene la planta para su absorción desde el suelo al interior de las raíces (Salisbury y Ross, 1992). La cantidad de P aplicado fue de 78 kg/ha (Figura 1), contenido en una fuente de lenta solubilidad como la roca fosfórica, para el posterior aprovechamiento por los pastos, y una fuente de rápida solubilidad como el fosfato diamónico, para uso inmediato por el cultivo de maíz. El Mg se aplicó con la cal dolomítica y con una fuente de rápida disponibilidad como es el sulfato de magnesio. Es importante el uso de este fertilizante, ya que la concentración de Mg en la cal dolomítica presenta alta variabilidad, además aporta azufre, complementando el aportado por el yeso agrícola. El N fue aplicado en el momento de la siembra con el fosfato diamónico, posteriormente, durante el desarrollo del cultivo se aplicó urea.

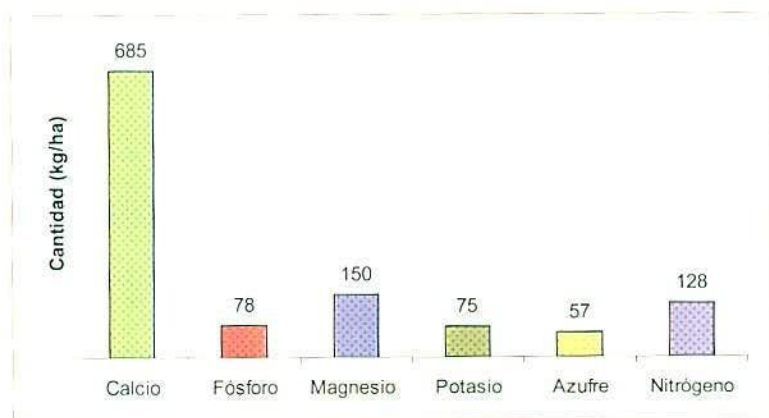


Figura 1. Minerales aplicados en las enmiendas y los fertilizantes para la asociación maíz-pastos, en la Altillanura plana.

Cambios en las concentraciones de minerales en el suelo bajo sistemas agropastoriles

Las características químicas de los suelos reportadas en la Tabla 2, incluyen las concentraciones de elementos en el suelo antes de la siembra, después de cosechado el maíz y al inicio del pastoreo, a los cinco meses después de la siembra y durante tres años de pastoreo. Las concentraciones de los nutrientes en los suelos se mejoraron con las enmiendas y los fertilizantes aplicados al maíz. Al inicio del pastoreo se pudieron evidenciar incrementos importantes de P, S, Ca y Mg, tanto en el Piedemonte llanero como en la Altillanura. Los pastos Toledo y Mulato no ejercieron efecto sobre la fertilidad del suelo del Piedemonte; sin embargo, se presentó menor contenido de materia orgánica en el suelo donde

se encontraba el pasto Toledo. En la Altillanura, el pasto Toledo se caracterizó por presentar mayores concentraciones de Ca y Mg en el suelo.

Tabla 2. Cambios ocurridos en las características químicas de los suelos bajo pastoreo, en praderas renovadas con el cultivo de maíz, tanto en el Piedemonte llanero como en la Altillanura plana

Piedemonte	pH	M.O.	P	S	Al	Ca	Mg	K
		%	Mg kg ⁻¹		Cmol kg ⁻¹			
Antes de siembra	4,4	2,2	1,0	3,0	2,1	0,37	0,11	0,10
Inicio de pastoreo	4,8 a*	2,6 a	11,6 a	5,8 a	1,2	1,05 a	0,23 a	0,07 b
1 año de pastoreo	4,5 b	2,1 bc	4,7 b	4,6 ab	1,1	0,89 ab	0,19 ab	0,04 c
2 años pastoreo	4,7 a	2,0 c	6,2 b	4,4 ab	1,1	0,94 ab	0,17 bc	0,09 a
3 años pastoreo	4,6 b	2,2 bc	3,1 b	4,5 ab	1,3	1,08 a	0,16 bc	0,04 c
4 años pastoreo	4,8 a	2,3 b	3,0 b	2,9 b	1,1	0,80 b	0,13 c	0,04 c
Significancia	0,01	0,01	0,05	0,001	ns	0,05	0,05	0,05
Pastos:								
Toledo	4,7	2,19 b	6,3	4,92	1,12	1,0	0,18	0,056
Mulato II	4,6	2,28 a	5,7	4,58	1,18	1,0	0,19	0,055
B. decumbens	4,6	2,34 a	5,5	4,65	1,25	0,98	0,19	0,053
Significancia	ns	0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cv. (%)	2,5	9,2	28,3	25,2	22,9	19,7	28,3	32,2
Altillanura								
Antes de siembra	4,9	2,2	2,0	0,86	0,73	0,51	0,13	0,04
Inicio de pastoreo	4,8 d	2,9 a	5,8 a	8,6 a	0,74 a	1,23 a	0,34 a	0,09 a
1 año de pastoreo	5,0 b	2,8 a	4,7 b	5,2 b	0,53 c	1,09 b	0,29 b	0,06 b
2 años pastoreo	4,9 c	2,4 b	3,6 c	5,9 b	0,64 b	0,87 c	0,24 c	0,06 b
3 años pastoreo	5,2 a	2,7 a	3,3 c	4,9 b	0,51 c	0,96 c	0,24 c	0,05 b
Significancia	0,001	0,007	0,001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,001
Pastos:								
Toledo	5	2,8	4,3	5,6	0,56	1,11 a	0,29 a	0,06
Mulato II	5	2,6	4,4	6,3	0,62	0,97 b	0,26 b	0,06
Significancia	ns	ns	ns	ns	0,04	0,001	0,02	ns
Cv. (%)	4,02	23,7	24	16,4	14,5	23,2	23,3	16,3

*Promedios con letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$), según la prueba de Tukey.

A continuación se hace un análisis de cada elemento en los suelos del Piedemonte y de la Altillanura, hasta el tercer año de pastoreo.

pH

El pH inicial fue superior en la Altillanura con un valor de 4,9 y se incrementó a cinco después de un año de pastoreo y a 5,2 a los tres años, resultando ser superior en forma significativa con respecto a los años anteriores (Figura 2). En el Piedemonte, el pH fue más ácido con 4,4; pero después de la cosecha del maíz e inicio del pastoreo a los cinco meses, aumentó a 4,8 y posteriormente ha fluctuado entre 4,6 y 4,7. El pH se incrementó en las dos localidades, permaneciendo más alto con respecto al estado inicial, aun después de tres años de pastoreo.

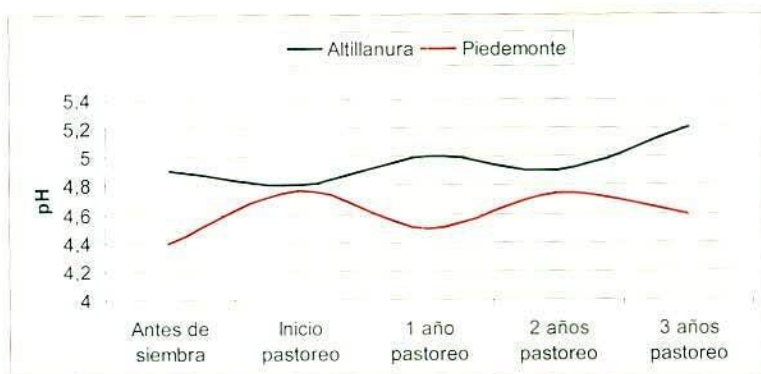


Figura 2. Cambios ocurridos en pH del suelo después de tres años de pastoreo en la Altillanura plana y en el Piedemonte llanero.

Materia orgánica (M.O.)

La materia orgánica inicial, tanto en el Piedemonte como en la Altillanura, fue de 2,2%, la cual presentó la misma tendencia a través del tiempo, en su concentración en el suelo en las dos subregiones; sin embargo, en la Altillanura, la materia orgánica del suelo ha estado en valores más altos, llegando a 2,9% al inicio del pastoreo (después de la cosecha del maíz), y en el Piedemonte fue de 2,6%. En los dos años siguientes de pastoreo se presentó un descenso a niveles similares a los iniciales, sin embargo, en el tercer año se apreció un leve aumento en las dos subregiones (Figura 3).

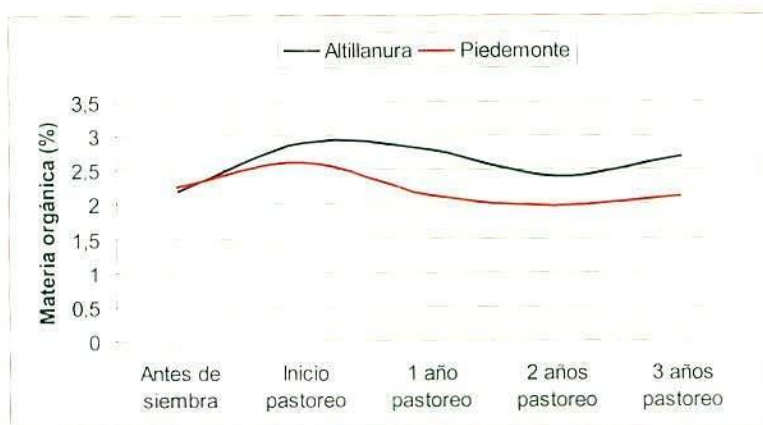


Figura 3. Cambios ocurridos en la materia orgánica del suelo, después de tres años de pastoreo en la Altillanura plana y en el Piedemonte llanero.

Fósforo (P)

En el Piedemonte llanero, el P presentó una mayor variabilidad en el suelo a través del tiempo, con respecto a las concentraciones de los suelos de la

Altillanura (Figura 4). En el Piedemonte fue uno de los minerales con mayor incremento, al pasar de 1 mg/kg antes de la siembra, a 11,9 mg/kg después de la cosecha del maíz; sin embargo, después de un año de pastoreo el P disminuyó a 4 mg/kg y al siguiente año aumentó a 6 mg/kg, como consecuencia de una fertilización de mantenimiento con 100 kg/ha de fosfato diamónico; en el tercer año de pastoreo, la concentración de P fue de 2,5 mg/kg. En la Altillanura se encontró que de un valor inicial de 2 mg/kg aumentó a 6 mg/kg en el momento de la cosecha del maíz e inicio de pastoreo; a diferencia del Piedemonte, no se realizó una fertilización de mantenimiento y la concentración de este elemento disminuye en forma lenta con el paso de los años, llegando a valores similares a los obtenidos en el Piedemonte. Las bajas concentraciones de este elemento, en las dos localidades, limitan el desarrollo, la producción y la calidad de los pastos, por lo cual es necesaria la aplicación de fertilización fosfatada de mantenimiento.

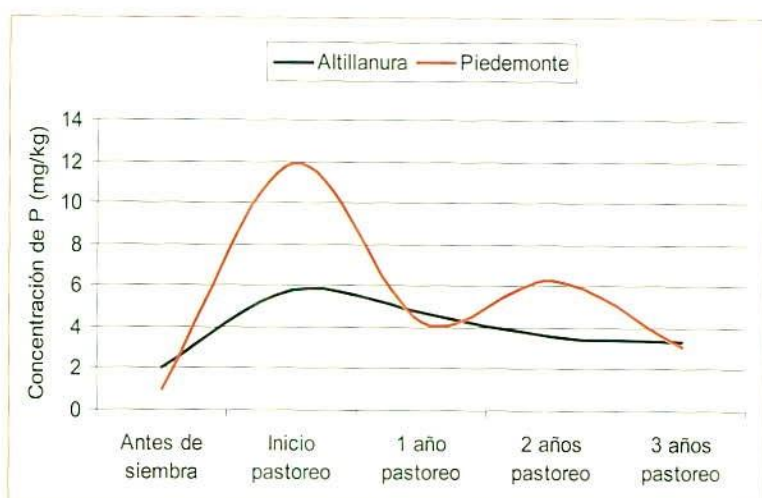


Figura 4. Cambios ocurridos en la concentración de P del suelo, después de tres años de pastoreo, en la Altillanura plana y en el Piedemonte llanero.

Los fertilizantes fosfatados utilizados en el cultivo fueron: fosfato diamónico y roca fosfórica, la cual resulta más efectiva cuando los suelos presentan alta acidez y bajos concentraciones de P y Ca. Sin embargo, se ha comprobado la mayor efectividad de fertilizantes solubles fosfatados, como el fosfato diamónico y el superfosfato triple, en el cultivo de maíz (Hammond, 1982). Un factor que determina la conveniencia del uso de roca fosfórica es su valor residual; a diferencia de los nutrimentos móviles, el P permanece disponible por largos periodos de tiempo cerca del sitio donde se aplicó, proporcionando a los pastos establecidos en asociación con maíz, el P requerido después de su establecimiento (CIAT, 1986).

Calcio (Ca)

Antes de aplicar las enmiendas, el Ca presentó concentraciones de 0,37 y 0,51 cmol/kg en el Piedemonte y en la Altillanura, respectivamente. Las concentraciones de este nutriente presentaron la misma tendencia a través del tiempo, en las dos subregiones, con un aumento a 1,05 y 1,23 cmol/kg después de la cosecha del maíz; al año de pastoreo este valor fue de 0,91 cmol/kg, presentando un ligero decrecimiento. En las enmiendas aplicadas antes de la siembra se suministró al suelo 555 kg (ha de Ca, una porción entró a formar parte de los cationes en el complejo de cambio de las arcillas y otra pudo entrar a formar compuestos con aniones, los cuales van a capas más profundas del suelo. De acuerdo con los análisis, después de la cosecha del maíz en el suelo se encontró 0,77 cmol/kg más de lo que originalmente se encontró antes de aplicar las enmiendas, lo cual representó 308 kg Ca/ha. Después de un año de pastoreo el Ca presentó una reducción de 0,23 cmol/kg, equivalente a 92 kg/ha, que parte pudo ser tomado por los pastos.

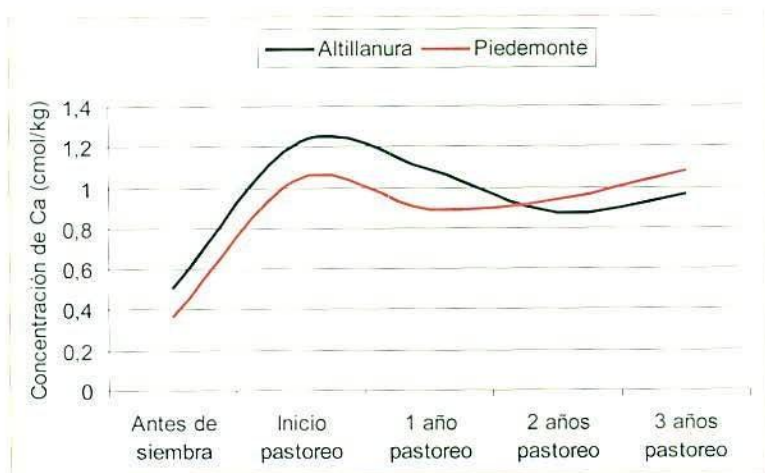


Figura 5. Cambios ocurridos en la concentración de Ca del suelo, después de tres años de pastoreo en la Altillanura plana y en el Piedemonte llanero.

Magnesio (Mg)

El Mg inicial en el suelo era de 0,11 cmol/kg y se duplicó con las enmiendas aplicadas antes de la siembra, porque se aumentó a 0,22 cmol/kg al momento de la cosecha del maíz. Después de un año de pastoreo, el Mg en el suelo fue de 0,17 cmol/kg. El Mg aplicado con la cal dolomítica fue de 88 kg/ha, sin embargo, por la menor fuerza relativa de enlace y el menor número de iones de Mg en el suelo con respecto al Ca (Plaster, 2005), la disponibilidad de Mg después de la cosecha de maíz fue de 53 kg/ha y después de un año de pastoreo se encontró en 41 kg/ha.

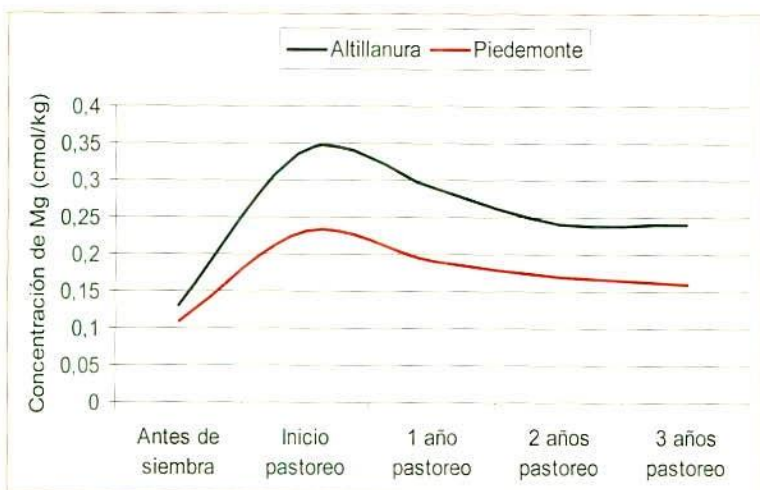


Figura 6. Cambios ocurridos en la concentración de Mg del suelo, después de tres años de pastoreo en la Altillanura plana y en el Piedemonte llanero.

Potasio (K)

En el Piedemonte, el K fue el mineral que más disminuyó en el suelo, ya que antes de iniciar el establecimiento del experimento se encontraba en 0,10 cmol/kg; al momento de la cosecha del maíz se redujo a 0,08 cmol/kg y al año de pastoreo a 0,04 cmol/kg. En la fertilización se aplicó 75 kg/ha de K, con cloruro de K como fuente. El K y Na son cationes que son retenidos en las arcillas con menos fuerza que el Ca y el Mg, y debido a la cantidad de cal aplicada, estos últimos pudieron desplazar a los primeros. En el segundo año de pastoreo se aplicaron 100 kg/ha de Sulpomag, que contribuyeron a una mayor concentración temporal de este elemento en el suelo; sin embargo, en el tercer año de pastoreo volvió a caer a 0,04 cmol/kg. En la Altillanura, el K presentó una concentración inicial en el suelo de 0,04 cmol/kg, la cual aumentó a 0,09 cmol/kg después de la cosecha del maíz y al inicio del pastoreo. En los dos años siguientes, el K disminuyó hasta valores cercanos al inicial, antes de la siembra de la asociación maíz-pastos.

La concentración de K, en gran parte de los suelos de la Orinoquia, es baja, sin embargo, es conocida la buena capacidad de restitución de K en estos, por la presencia de este elemento en las arcillas vermiculita e illita, que liberan K en forma aprovechable por las plantas. Esto hace que aun en pequeñas cantidades presentes en estas arcillas, tengan un efecto relevante en la dinámica del elemento y, en muchos casos, la respuesta errática a la fertilización potásica de varias especies agrícolas de los Llanos Orientales y del Piedemonte llanero, parecen tener explicación de este tipo de mecanismo, lo cual obliga a redefinir cuáles son las mejores temporadas estacionales de aplicación de este nutriente, las dosis y la forma en la cual la fijación no sea tan alta (Dávila *et al.*, 1998).

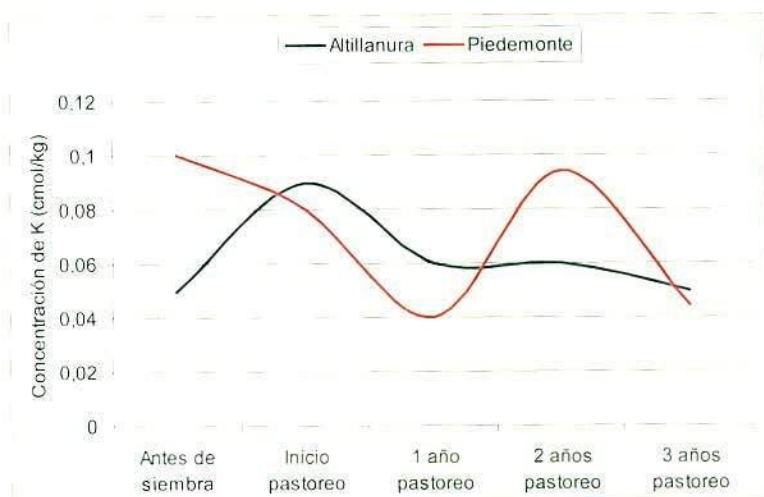


Figura 7. Cambios ocurridos en la concentración de K del suelo, después de tres años de pastoreo en la Altillanura plana y en el Piedemonte llanero.

Azufre (S)

La concentración de S inicial fue de uno y tres mg/kg en la Altillanura y el Piedemonte, respectivamente, valores considerados como muy bajos (McDowell *et al.*, 1997), (Figura 8). Después de la cosecha del maíz, en la Altillanura fue mayor la concentración de este elemento, con cerca de 9 mg/kg, pero en los años siguientes se estabilizó entre 5 y 6 mg/kg. En el Piedemonte se presentó la misma tendencia, pero con valores más bajos, que estuvieron entre 4 y 5 me/kg en los tres años de pastoreo. La concentración adecuada de S en

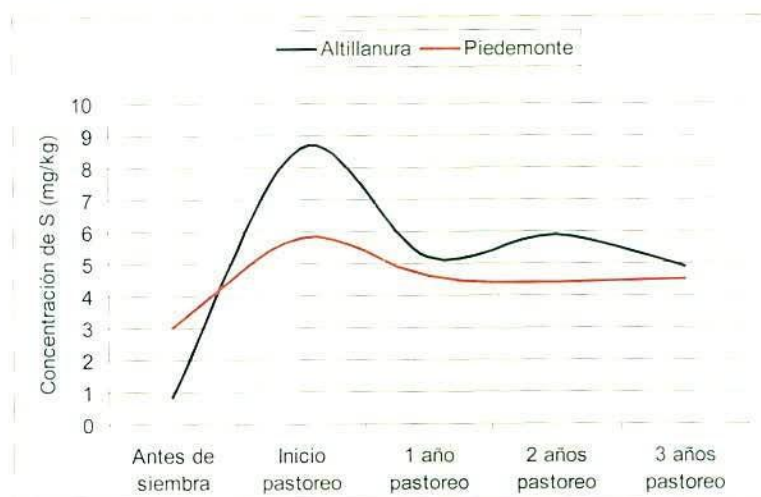


Figura 8. Cambios ocurridos en la concentración de S en suelos, después de tres años de pastoreo en la Altillanura plana y en el Piedemonte llanero.

los suelos ácidos de los Llanos colombianos debe estar entre 10 y 15 mg/kg, por consiguiente, este nutriente presenta serias limitaciones para el desarrollo de las plantas y los animales, ya que es un elemento esencial en algunas proteínas (Salinas, 1989; Vilela *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta los cambios sucedidos en la concentración de cationes en el suelo, en el Piedemonte la saturación de bases aumentó de 24,7%, antes de aplicar las enmiendas, a 48% al momento de la cosecha del maíz, para luego disminuir y estabilizarse en un rango entre 42 y 50% en los tres años de pastoreo; en tanto, la saturación de Al, que inicialmente era de 62%, ha permanecido cerca de 40% durante el pastoreo. En la Altillanura, la saturación de bases inicial de 42% ha estado en valores cercanos al 60% durante todo el periodo de evaluación. La saturación de Al de 42% inicial se ha reducido a un promedio de 30%. Es importante destacar el beneficio que tienen los pastos mejorados con el cultivo de maíz y sometidos a pastoreo, porque en los dos casos la saturación de bases aumentó y mejoró con el paso del tiempo.

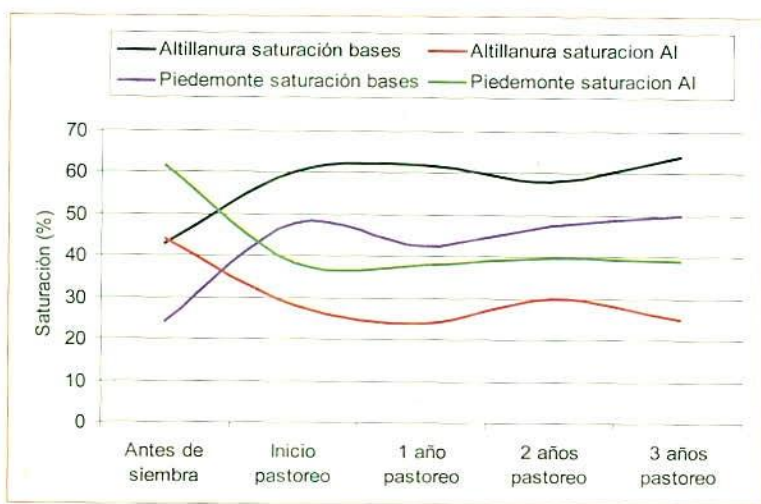


Figura 9. Cambios ocurridos en la saturación de bases y de Al en suelos, después de tres años de pastoreo en la Altillanura plana y en el Piedemonte llanero.

Los cambios en la concentración de minerales en los suelos establecidos con la asociación maíz-pastos favorecen el desarrollo de las praderas y la producción de carne o leche bovina; sin embargo, en la mayoría de los casos, los minerales en el suelo presentan tendencia al descenso, afectando todo el sistema productivo. Lo anterior demuestra la necesidad de hacer fertilización anual o bianual de mantenimiento, para restituir los minerales extraídos por los bovinos, los cuales salen del sistema en carne y/o leche; de lo contrario, se retornará a la degradación de praderas por la pérdida de la fertilidad de los suelos, lo cual es

más evidente en explotaciones con pastos con alto potencial de rendimiento como el Toledo y el Mulato (Rincón, 2010; Dubeux *et al.*, 2004).

Concentración de minerales en el grano y soca de maíz

Para determinar la extracción y reciclaje de nutrientes por los componentes de la asociación maíz-pastos en el momento de la cosecha, se analizó la concentración de minerales en el grano y en la soca de maíz (hojas y tallos después de la cosecha del grano).

Al hacer la comparación entre el Piedemonte y la Altillanura, la concentración de minerales en el grano y en la soca del maíz, que quedó en el terreno después de la cosecha, se encontró mayor cantidad de P en el grano, con valores entre 0,31 y 0,33%; en tanto, la concentración de este elemento en la soca fue de 0,14% en la Altillanura y de 0,02% en el Piedemonte. La concentración de S, tanto en el grano como en la soca, fue superior en el Piedemonte con valores cercanos a 0,1%, y en la Altillanura fue de solo 0,05% (Figura 10).

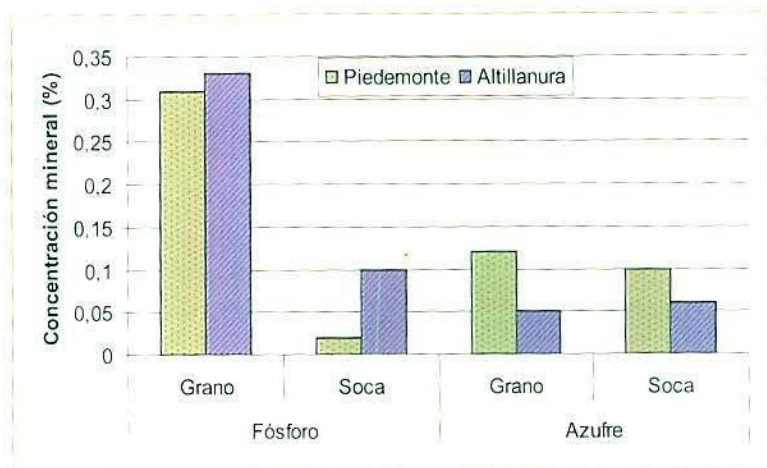


Figura 10. Concentración de P y S en el grano y en la soca del maíz en el Piedemonte llanero y en la Altillanura plana.

El K fue el mineral con mayor presencia en el grano y en la soca del maíz, siendo el cultivo del Piedemonte el de mayor concentración de este elemento, principalmente en la soca con 0,72%. En la Altillanura, la concentración de potasio fue similar en el grano y en la soca, con un valor promedio de 0,40%. En la soca del maíz se encontró mayor cantidad de Ca y Mg (Figura 11). Con una producción promedio de soca de maíz de 4.000 kg/ha, se puede concluir que se presentó un retorno de minerales al suelo en las siguientes cantidades: 18 kg/ha de K, 4,8 kg/ha de P, 4,8 kg/ha de Ca, 9 kg/ha de Mg y 0,24 kg/ha de S (Rincón, 2007).

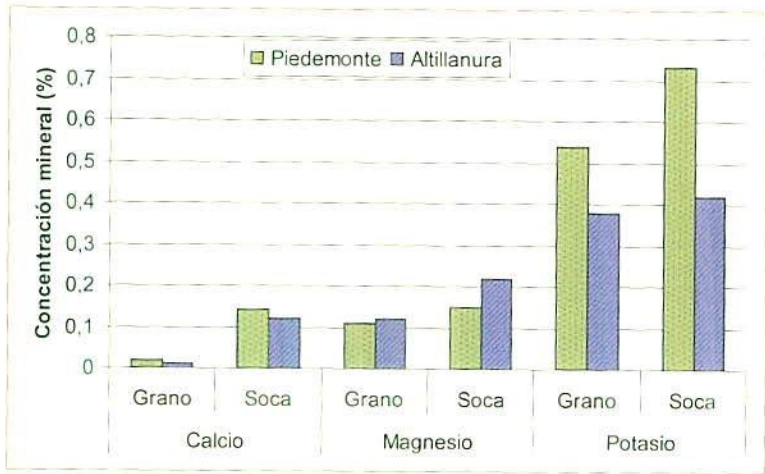


Figura 11. Concentración de calcio, magnesio y potasio en el grano y en la soca del maíz en el Piedemonte llanero y en la Altillanura plana.

Extracción de minerales por el maíz y los pastos hasta la cosecha del grano

En la Tabla 3 se hace un balance de los minerales en el sistema, entre su concentración en el suelo, la extracción realizada por el maíz y los pastos y los minerales que se reciclan o retornan al suelo. Se estima que el 80% del N y el 90% del P, Ca, K, Mg y S que son consumidos por los animales en el forraje, retornan al suelo en las excretas (McDowell *et al.*, 1994; Espejo, 1996; Dias Filho, 2005). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las excretas son distribuidas en forma desuniforme en el terreno por los animales (Bernal, 2003), especialmente en sitios cercanos a los bebederos y sombra. Person y Gerrish, (1996), citados por Debeux *et al.*, (2004), sugieren que periodos cortos de permanencia en la pradera con carga animal más elevada y mayor división de potreros, contribuyen a una distribución más uniforme de las excretas.

Haciendo el análisis para el Piedemonte, la disponibilidad total de N para el desarrollo de la asociación maíz-pastos fue de 104 kg/ha, proveniente de la mineralización del 2,2% de la materia orgánica que aportó 44 kg N/ha y de la fertilización nitrogenada, la cual fue de 60 kg ha⁻¹, si se considera la dosis de 100 kg N/ha; se estima que el 60% es aprovechado por la planta y el otro 40% se pierde por volatilización o lixiviación (Salisbury y Ross, 1992; Orozco, 1999).

Con una producción de 4.000 kg/ha de grano de maíz, la extracción de N en el grano cosechado fue de 43,6 kg, y en los 3.782 kg/ha de la soca del maíz se extrajo 17,5 kg N/ha. En los pastos, con una producción promedio de 4.218 kg/ha de forraje seco, extrajeron del suelo 45,5 kg N/ha, por consiguiente la extracción total de N por el maíz y por los pastos fue de 106 kg/ha, cantidad

que estaba disponible en el suelo y que fue aprovechada en su totalidad por los cultivos cuando estos fueron fertilizados con 100 kg N/ha.

De los 106 kg de N extraído por el maíz y el pasto, retornaron al suelo 17,7 kg en la soca del maíz y 36,5 kg en la orina y heces de los bovinos que consumieron el forraje, por consiguiente, del sistema salió un 53% de N en el grano de maíz y en producción animal y retornó al suelo un 46,3%.

La extracción total de P por el maíz y el pasto fue de 18,4 kg/ha, de los cuales el 70% fue tomado por el cultivo del maíz. El P disponible en el suelo para ser aprovechado por las plantas fue suministrado en la fertilización hecha al momento de la siembra con 150 kg de fosfato diamónico (DAP), que aportó 30 kg/ha de P. Además, el suelo en su fertilidad natural disponía de 2 kg/ha de este nutriente. Antes de la siembra, también se aplicaron 50 kg/ha de P, utilizando como fuente la roca fosfórica, que por la lenta liberación del P no pudo ser aprovechada por el maíz, pero se constituye en una fuente importante para la nutrición del pasto. De los 18,4 kg de P extraídos por el maíz y el pasto, retornaron al suelo 5,63 kg en la soca del maíz y en las excretas de los bovinos, por consiguiente, el 70% del P extraído por estos cultivos salió del sistema y se recicló el 30%. Sin embargo, debe considerarse que en el suelo se disponía de 32 kg/ha de P, de los cuales el maíz y el pasto absorbieron solo el 57%.

La disponibilidad natural de K en el suelo de 78 kg/ha se aumentó con otros 75 kg aplicados al maíz en la fertilización, con 150 kg de KCl; por lo tanto, la disponibilidad total de K para las plantas fue de 153 kg/ha. El K extraído fue de 89,3 kg, del cual un 45% fue absorbido por el pasto. De todo el K tomado por el maíz y el pasto, 25,5 kg/ha salieron del sistema en el grano de maíz y en carne, y retornó al suelo el 63,7 kg/ha, que equivale a un 71,3% del K absorbido por el maíz y el pasto.

El Ca fue el elemento de mayor concentración en el suelo con 703 kg/ha, gran parte de este mineral fue suministrado por la fertilización con cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola (555 kg/ha), además el Ca aportado por el suelo fue de 148 kg/ha. Sin embargo, el Ca extraído por las plantas fue de solo 15,5 kg/ha, y retornó al suelo en soca de maíz y en excretas de los animales el 88,5% del que había sido absorbido por las plantas. El Mg tenía una disponibilidad en el suelo de 114 kg/ha, de los cuales el 76% fue suministrado en la cal dolomítica. La planta de maíz absorbió 10 kg y el pasto 8,3 kg, para una extracción total de 18,4 kg/ha. Del total de Mg tomado por las plantas, 13,1 kg/ha retornaron al suelo, que equivale al 71,6% del Mg absorbido por el maíz y el pasto. El S aplicado con el yeso agrícola permitió una disponibilidad de 43 kg/ha y el suelo aportó 6 kg/ha. De este S disponible, la planta extrajo 15 kg/ha y regresó al suelo 9,1 kg/ha, que equivale al 61% del S tomado por las plantas.

Del total de minerales absorbidos por las plantas, gran parte retornó al suelo, siendo el Ca, K, Mg, S y N los elementos que regresaron en mayor cantidad con un 88,5%, 71,3%, 61%, 61% y 46,3%, respectivamente. El P fue el mineral que regresó al suelo en menor cantidad, con un 30%.

Tabla 3. Extracción de minerales del suelo (kg/ha) por parte de la planta de maíz y de pasto establecidos en asociación, y cantidad disponible en el suelo hasta el momento de la cosecha del maíz, en C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Minerales extraídos:	N	P	K	Ca	Mg	S
Grano de maíz	43,60	12,27	21,47	0,85	4,4	4,93
Pasto	45,58	5,51	40,06	9,24	8,35	6,05
Total	89,18	17,78	61,53	10,09	12,75	10,98
Minerales que retornan al suelo:						
En soca de maíz	17,52	0,67	27,73	5,42	5,67	3,67
En orina y heces ²	36,50	4,96	36,00	8,31	7,51	5,44
Total	49,43	5,63	63,73	13,73	13,18	9,11

Extracción de minerales en la fase de pastoreo

Para determinar la extracción de minerales por los pastos durante la fase de pastoreo, se realizaron los cálculos de producción de forraje durante todo el año, incluyendo las épocas lluviosas y secas. En la Tabla 4 se presenta la producción total de pasto Toledo durante los tres años de pastoreo, encontrándose que en el primer año se produjo 23.541 kgMS/ha, en el segundo año se obtuvo 21.832 kgMS/ha y en el tercer año fue de 18.532 kgMS/ha. Como se puede apreciar, en la época seca solo se obtiene entre el 10% y el 15% de lo producido en la época lluviosa.

Tabla 4. Forraje total producido de pasto Toledo establecido con maíz durante tres años de pastoreo

Época	Año 1	Año 2	Año 3
Lluvias (9 meses)	20.857	19.327	16.155
Seca (3 meses)	2.684	2.505	2.377
Total	23.541	21.832	18.532

La concentración de minerales en el tejido foliar del pasto Toledo durante los tres años de pastoreo se presentan en la Tabla 5. El P presentó una disminución de 0,23% en el primer año a 0,16% en el tercer año de pastoreo; sin embargo, los minerales con mayor reducción en su concentración en el tejido foliar fueron el K y el S, al pasar de 1,3% a 0,7% en el caso de K y de 0,10% a 0,04% en el de S. La concentración de Ca y Mg permanecieron estables con el paso del tiempo, y la proteína cruda que presentó un valor de 10,5% en el primer año, en el tercer año se redujo a 8,5%.

Teniendo en cuenta la anterior información, en la Tabla 6 se presenta la extracción de minerales por parte del pasto Toledo, los que retornan al suelo vía excretas

Tabla 5. Concentración de minerales (%) en el tejido foliar del pasto Toledo durante tres años de pastoreo

Mineral (%)	Año 1 (%)	Año 2 (%)	Año 3 (%)
Fósforo (P)	0,23	0,20	0,16
Calcio (Ca)	0,35	0,30	0,30
Magnesio (Mg)	0,26	0,25	0,26
Potasio (K)	1,30	1,00	0,70
Nitrógeno (N)	1,60	1,40	1,36
Azufre (S)	0,10	0,10	0,04
Proteína	10,5	9,00	8,50

Tabla 6. Dinámica de nutrientes en pasto Toledo durante tres años bajo pastoreo

Mineral	Extracción del Toledo (kg/ha)	Retorna al suelo (80%)	Sale del sistema (kg/ha)
Año 1			
P	50,14	40,11	10,03
Ca	76,30	61,04	15,26
Mg	56,68	45,34	11,34
K	283,40	226,72	56,68
N	348,80	279,04	69,76
S	21,80	17,44	4,36
Año 2			
P	43,60	34,88	8,72
Ca	65,40	52,32	13,08
Mg	54,50	43,60	10,90
K	218,00	174,40	43,60
N	305,20	244,16	61,04
S	21,80	17,44	4,36
Año 3			
P	34,88	27,90	6,98
Ca	65,40	52,32	13,08
Mg	56,68	45,34	11,34
K	152,60	122,08	30,52
N	296,48	237,18	59,30
S	8,72	6,98	1,74
Total (3 años)			
P	128,6	102,9	25,7
Ca	207,1	165,7	41,4
Mg	167,9	134,3	33,6
K	654,0	523,2	130,8
N	950,5	760,4	190,1
S	52,3	41,9	10,5

y los que salen del sistema en carne, durante tres años de pastoreo. Durante este tiempo, el elemento extraído en mayor cantidad fue el N, con un total de 959 kg, pero teóricamente retorna al suelo el 80%, que está representado por 760 kg N/ha, por lo tanto, lo que estaría saliendo del sistema en carne sería de 190 kg en los tres años de pastoreo; sin embargo, hay que tener en cuenta que el N es un elemento que fácilmente se pierde por volatilización por escorrentía o por lixiviación, de tal forma que el valor que retorna realmente al suelo se ha calculado en un 25% (Dias Filho, 2005).

El otro elemento de mayor extracción por el pasto fue el K, con un total de 565 kg/ha, durante los tres años de pastoreo, de los cuales retornan al suelo 523 kg y salen del sistema 131 kg/ha. El P, que es uno de los elementos más deficitarios, tanto en suelo como en forraje, presentó un valor de extracción de 128 kg/ha; en tanto, otros elementos como el Ca, Mg y S fueron extraídos en una cantidad de 207kg/ha, 168 kg/ha y 52 kg/ha, respectivamente.

Haciendo un balance en todo el sistema de maíz-pastos desde el establecimiento, la cosecha y tres años de pastoreo, se tiene que el aporte en fertilización y fertilidad natural (materia orgánica) fue de 172 kg N/ha; en tanto, el total de N extraído en grano, soca de maíz y pastos fue de 1.011 kg/ha, de los cuales regresaron al suelo 778 kg N/ha, y el N que salió del sistema en carne fue de 233 kg/ha durante los tres años en pastoreo con ganado de ceba. Considerando que después de tres años, la materia orgánica fue de 2,7%, con un aporte anual de N de 54 kg, se presentó un déficit de 179 kg de N, los cuales deberán ser sustituidos con fertilización. El mismo análisis se puede hacer para los otros minerales reportados en la Tabla 7, en la que se puede apreciar un balance negativo para el N, P, K y S; en tanto, el Ca y Mg, cuyas concentraciones en el suelo son de 0,96 y 0,24 cm/kg, contribuyen al suministro para el desarrollo de los pastos; sin embargo, debe considerarse que pastos exigentes como el Toledo requieren de al menos 1 cmol/kg de Ca.

La mayor deficiencia que se tiene en estos suelos es de N y K, seguidos por P y S, que afectan la producción y calidad del pasto. Por lo tanto, debe considerarse la fertilización de mantenimiento o sembrar nuevamente cultivos para recuperar la fertilidad del suelo.

Cambios en las condiciones físicas de los suelos bajo los sistemas agropastoriles

Piedemonte llanero

En suelos establecidos con la asociación maíz-pastos en el piedemonte llanero, se determinó la textura del suelo donde se obtuvo un contenido promedio

Tabla 7. Balance de algunos minerales en el sistema maíz-pastos, en la Altillanura plana

Minerales en el suelo:	N	P	K	Ca	Mg	S
Aplicado en fertilización	128	78	75	685	150	57
Fertilidad natural	44	4	39	204	31,2	1,7
Total	172	82	114	889	181,2	58,7
Minerales extraídos:						
Grano de maíz	43,6	12,27	21,47	0,85	4,4	4,93
Soca de maíz	17,52	0,67	27,73	5,42	5,67	3,67
Pasto	950,5	128,2	654	207,1	167,9	52,3
Total	1011,6	141,1	703,2	213,3	177,9	60,9
Minerales que retornan al suelo:						
En soca de maíz	17,5	0,67	27,7	5,4	5,6	3,6
En orina y heces ¹	760,4	102,9	523,2	165,7	134,3	41,9
Total	777,9	103,5	550,9	171,1	139,9	45,5
Salte del sistema	233,7	37,5	152,2	42,2	38,0	15,3
Minerales en el suelo después de 3 años de pastoreo (análisis de suelos)	2,7 (MQ)	3,3	0,05	0,96	0,24	4,9
en kg/ha	54	6,6	39	384	57,6	9,8
Deficiencia	-179,7	-30,9	-113,2	341,7	19,6	-5,5

de arena, limo y arcilla de 59,8%, 24,8% y 15,4%, respectivamente (Tabla 8), valores que permitieron clasificarlo como franco arenoso. La saturación de humedad del suelo establecido con *B. decumbens* y pasto Mulato, fue de 29,7%, significativamente superior ($P < 0,05$) a la saturación de humedad del suelo donde se estableció el pasto Toledo, que fue de 27,7%. Con respecto a la saturación de humedad a dos profundidades, se encontró que a 10 cm el suelo presentó 31,9% de humedad, lo que es superior, significativamente, al valor encontrado a 20 cm, que fue de 26,2%.

Tabla 8. Textura del suelo en el área experimental del C.I. La Libertad, en el Piedemonte llanero.

Estadística Descriptiva	Arena	Limo	Arcilla
Media	59,78	24,82	15,40
Error típico	0,77	0,91	0,40
Mediana	60,48	24,28	16,20
Moda	60,48	21,64	16,20
Desviación estándar	3,28	3,87	1,68
Número de observaciones	18	18	18

Antes de iniciar la labranza se encontró una densidad aparente de 1,36 g/cc a una profundidad de 1 a 10 cm y de 1,49 g/cc entre 11 y 20 cm. Al inicio del pastoreo, que fue a los 45 días después de la cosecha del maíz, la densidad aparente fue de 1,42 g/cc, la cual permaneció cercana a este valor durante el primer mes del pastoreo; sin embargo, en el segundo y el tercer mes de pastoreo aumentó en forma significativa ($P < 0,05$) a 1,54 g/cc.

Después del primer año de pastoreo, la densidad aparente continuó aumentando hasta el segundo año a 1,63 g/cc y permaneció estable, sin presentar diferencias significativas, en los últimos tres años de evaluación (Tabla 9). La densidad real no varió durante los cuatro años de evaluación, obteniéndose un valor promedio de 1,65 g/cc. Se confirmó la relación inversamente proporcional entre densidad aparente y porosidad, encontrándose los valores más altos de porosidad al inicio del pastoreo, y una reducción, en forma significativa, especialmente en los últimos tres años, con un promedio de 38%, probablemente por efecto del pisoteo del ganado. Con respecto a los pastos se demostró una mayor densidad aparente en el suelo donde estaba el Toledo, superior ($P < 0,05$) con respecto a los otros dos pastos. De igual forma, la porosidad del suelo con este pasto fue menor.

Tabla 9. Densidad aparente del suelo durante 48 meses de pastoreo en tres pastos y a dos profundidades, en C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Variable de respuesta	Densidad aparente (g cc ⁻¹)	Densidad real (g cc ⁻¹)	Porosidad (%)
Inicio del pastoreo	1,42 d*	2,65 a	46,4 a
1 mes de pastoreo	1,44 d	2,65 a	45,7 a
2 meses de pastoreo	1,54 c	2,65 a	41,9 b
3 meses de pastoreo	1,55 c	2,64 a	41,3 b
12 meses de pastoreo	1,59 b	2,65 a	40,0 c
24 meses de pastoreo	1,63 a	2,66 a	38,7 d
36 meses de pastoreo	1,64 a	2,64 a	37,9 d
48 meses de pastoreo	1,66 a	2,65 a	37,4 d
Pastos:			
Toledo	1,61 a	2,66 a	39,5 b
Mulato	1,57 b	2,65 a	40,8 a
<i>B. decumbens</i>	1,56 b	2,65 a	41,1 a
Profundidad:			
1 a 10 cm	1,54 b	2,64 b	41,7 a
10 a 20 cm	1,61 a	2,66 a	39,5 b
Significancia	0,001	0,001	0,001
Cv. (%)	4,3	5,7	7,6
Antes de labranza 1 a 10 cm	1,36	2,64	48,5
Antes de labranza 11 a 20 cm	1,49	2,65	43,8

* Promedios con letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$), según la prueba de Tukey.

El pasto Toledo tiene un crecimiento erecto, permitiendo áreas de suelo descubiertas, que al no tener capa vegetal protectora es compactado por el pisoteo de los animales al estar en contacto directo con la pezuña del animal (Pinzón y Amézquita, 1987). Esto no ocurre con los pastos Mulato y *B. decumbens*, ya que desarrollan macollas con tallos que se anclan al suelo. Estos suelos

bajo pastoreo se caracterizaron por una mayor densidad aparente a la mayor profundidad evaluada, entre 11 y 20 cm; resultado similar encontraron Pinzón y Amézquita (1987) en suelos del Piedemonte amazónico, en condiciones de lomerío, terraza media y vega con pasto *B. decumbens* y guaduilla (*Homolepis aturensis*), hasta una profundidad de 15 cm. En varios trabajos se ha encontrado el efecto de la pezuña del bovino sobre la compactación del suelo, especialmente cuanto este tiene alta saturación de humedad (Scholefield y Hall, 2006).

Altillanura bien drenada

En condiciones de la Altillanura, las praderas degradadas presentaban una densidad aparente de 1,59 g/cc, antes de hacer la intervención con labranza. A los cinco meses, una vez cosechado el maíz e iniciado el pastoreo, la densidad aparente se vio favorecida con la labranza y la siembra de la asociación maíz-pastos, ya que disminuyó a 1,32 g/cc (Tabla 10). Sin embargo, después de un año de pastoreo con bovinos, esta característica física volvió al estado original que tenía el suelo antes de la labranza y siguió aumentando al tercer año de pastoreo, obteniéndose un valor de 1,65 g/cc.

Tabla 10. Características físicas de los suelos de las fincas donde se estableció la asociación maíz-pastos, después de tres años de pastoreo, en la Altillanura colombiana

Finca	Densidad aparente (g/cc)	Densidad real (g/cc)	Porosidad (%)
Taluma	1,58 a	2,68	41,0 b
Pradera	1,56 a	2,67	41,5 b
Andremoni	1,51 b	2,66	43,0 a
Mata mata	1,49 b	2,70	44,8 a
Significancia	0,0001	NS	0,0001
Pasto			
Mulato II	1,54	2,68	42,5
Toledo	1,53	2,67	42,7
Significancia	ns	ns	ns
Época			
Antes de la siembra	1,59 b	2,69 a	40,6 bc
Inicio del pastoreo	1,32 c	2,63 b	49,7 a
1 año de pastoreo	1,58 b	2,67 ab	40,8 b
3 años de pastoreo	1,65 a	2,72 a	39,2 c
Significancia	0,0001	0,0001	0,0001
Profundidad			
0 a 10 cm	1,52 b	2,68	43,1 a
10 a 20 cm	1,54 a	2,66	42,1 b
Significancia	0,03	ns	0,02
Cv. (%)	4,5	3,4	7,2

* Promedios en una misma columna con letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$).

Con respecto a los pastos, estos no ejercieron efecto sobre las propiedades físicas de los suelos, y en cuanto a las localidades evaluadas, la densidad aparente fue mayor especialmente en suelos con mayor contenido de arena, como sucedió en Taluma. En la Altillanura también se encontró una mayor densidad aparente en la profundidad de 10 a 20 cm. La densidad real presentó una menor variación, con excepción del valor encontrado al inicio el pastoreo. La porosidad estuvo entre 39 y 49%, coincidiendo estos extremos con el inicio del pastoreo y el tercer año bajo pastoreo.

El efecto de la labranza ejerció un mejoramiento momentáneo en las características físicas del suelo, porque una vez iniciado el pastoreo la densidad aparente se incrementó, obteniendo valores muy similares tanto en el Piedemonte llanero como en la Altillanura bien drenada (Figura 12). En la Altillanura se apreció en forma más clara este efecto, ya que de una densidad aparente de 1,6 g/cc disminuyó a 1,3, para tener al cabo del tercer año de pastoreo un valor de 1,65 g/cc.

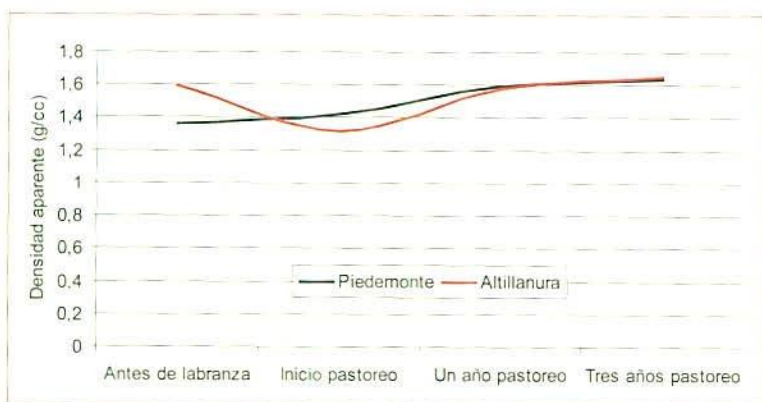


Figura 12 Evolución de la densidad aparente de los suelos durante tres años de pastoreo en suelos establecidos con la asociación maíz-pastos, en el Piedemonte y en la Altillanura bien drenada.

Estudio de caso

Cambios en la fertilidad de los suelos durante cinco años en rotación de cultivos y cuatro años de pastoreo

Caso Hacienda Santana, Puerto López, Meta

Se presenta la información de los cambios ocurridos en el suelo durante cinco años de cultivos de maíz y soya, en la finca Santana, y su posterior establecimiento de pastos y producción ganadera en los suelos mejorados. En la Tabla 11 se resume la cantidad de insumos aplicados cada año para la producción de cultivos, destacándose la aplicación anual de cal dolomítica y yeso agrícola, y al final de los cinco años se aplicó un total de 4 y 1,8 t/ha, respectivamente.

Tabla 11. Fertilizantes aplicados (kg/ha) durante cinco años de rotación con cultivos. Finca Santana, en la Altillanura plana

Fertilizante	Año					Total (kg/ha)
	2001	2002	2003	2004	2005	
Cal dolomítica	2.000	500	500	500	500	4.000
Roca fosfórica			125			125
Yeso agrícola	300	400	400	300	400	1.800
Urea	150	100	175	75		500
DAP	150	200				350
KCl	100	150				250
Nitromin		20				20
Sulfato de zinc	5	8				13
Nitraber	50					50
Raios			350			350
Minox			100			100
Azutek			300			300
Andino				350		350
Kalmag				125	350	475
26-0-13-5-6				250	350	600
26-0-13-5-6				250	150	400
26-0-26					150	150
Andino + Kieserita					400	400

Los minerales contenidos en los insumos aplicados durante cinco años se presentan en la Tabla 12; el Ca fue el elemento aplicado en mayor cantidad, con 1.522 kg/ha, seguido por el N con 675 kg/ha,

Tabla 12. Elementos aplicados en los fertilizantes durante cinco años de rotación de cultivos. Finca Santana, en la Altillanura plana

Elementos aplicados	Año					Total
	2001	2002	2003	2004	2005	
Ca	554	197	229	223	319	1.522
Mg	200	50	50	72	113	485
P	67	90	95	42	42	336
S	45	60	60	45	60	270
K	50	75		98,6	137	360
N	96	82	80,5	206	211	675

Se realizó seguimiento a 200 ha cultivadas con maíz y soya desde el año 2002 hasta 2005, y posteriormente sembradas con pasto Mulato II y sometidas a pastoreo desde 2006 hasta 2009. Se muestrearon los suelos a dos profundidades (0 a 10 cm y 10 a 20 cm) y cada año se tomaron entre 10 y 12 muestras. Los resultados fueron analizados y se determinó la media y la desviación estándar de cada elemento durante cinco años (Tabla 13).

Tabla 13. Cambios en las concentraciones de minerales en suelos cultivados hasta el año 2005 y con pastoreo hasta el año 2009, Hacienda Santana, en la Altillanura colombiana

Año	2002		2003		2005		2008		2009	
	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20
pH										
Media	4,52	4,55	4,98	4,89	4,74	4,70	4,49	4,41	4,90	4,69
D. estándar	0,04	0,06	0,17	0,09	0,20	0,14	0,40	0,20	0,12	0,08
Materia orgánica										
Media	2,82	2,20	2,74	1,94	2,44	2,02	3,01	2,13	3,95	3,32
D. estándar	0,14	0,22	0,45	0,36	0,26	0,42	0,21	0,22	0,93	0,17
Fósforo										
Media	1,00	1,00	27,75	6,50	23,75	12,40	22,00	3,70	8,96	4,98
D. estándar	1,00	1,00	11,17	2,76	5,45	16,17	14,10	1,95	6,09	2,17
Aluminio										
Media	2,17	2,20	1,34	1,96	2,41	2,65	1,35	1,70	0,83	1,19
D. estándar	0,47	0,45	0,66	0,60	0,55	0,60	0,79	0,58	0,36	0,28
Calcio										
Media	0,29	0,18	2,25	1,81	1,80	1,24	1,41	0,71	1,08	0,69
D. estándar	0,08	0,04	0,46	0,32	0,49	0,33	0,66	0,14	0,18	0,17
Magnesio										
Media	0,12	0,09	0,54	0,38	0,52	0,40	0,44	0,21	0,33	0,20
D. estándar	0,02	0,00	0,11	0,10	0,12	0,13	0,21	0,05	0,08	0,06
Potasio										
Media	0,05	0,03	0,38	0,39	0,15	0,11	0,27	0,13	0,12	0,07
D. estándar	0,01	0,01	0,03	0,08	0,04	0,06	0,13	0,04	0,09	0,04
Azufre										
Media	1,33	2,00	34,45	55,50	48,24	65,69	12,60	18,70	3,60	7,33
D. estándar	0,52	0,82	8,00	20,09	11,22	10,01	5,87	4,40	2,37	2,69
Boro										
Media	0,37	0,39	0,14	0,14	0,01	0,01	0,28	0,32	0,17	0,17
D. estándar	0,05	0,12	0,05	0,04	0,01	0,00	0,05	0,07	0,09	0,06
Cobre										
Media	0,65	0,48	1,72	1,48	1,21	0,78	0,90	0,53	0,61	0,41
D. estándar	0,10	0,05	1,00	1,29	0,33	0,32	0,37	0,16	0,27	0,19
Zinc										
Media	0,38	0,18	4,77	1,70	3,93	2,08	4,23	1,11	2,23	1,07
D. estándar	0,18	0,05	1,91	0,62	1,36	1,42	2,29	0,67	0,76	0,41
Nº de análisis	12	12	12	12	12	12	10	10	10	10

La variación observada en el pH puede ser apreciada en la Figura 13, encontrándose un valor inicial de 4,5 en las dos profundidades evaluadas. En los años siguientes, el pH fue mayor de 0 a 10 cm. Aunque el pH aumentó por efecto de los insumos aplicados a los cultivos hasta el año 2005, se vio un descenso en el año 2008, cuando estos suelos se encontraban bajo pastoreo; sin embargo, en 2009 se pudo apreciar que estos valores fueron superiores con respecto a los demás años.

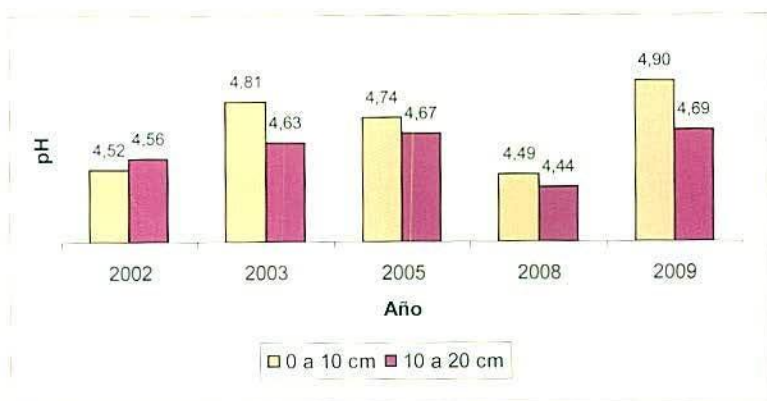


Figura 13 Cambios en el pH en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

Durante los años con cultivos, los suelos presentaron una leve disminución en la materia orgánica, con respecto a los valores iniciales. Después de establecidos los pastos y sometidos a pastoreo, se pudo apreciar un efecto positivo en el contenido de la materia orgánica del suelo, ya que se presentaron incrementos importantes, alcanzando valores de 3,9% y 3,3%, a profundidades de 10 y 20 cm, respectivamente, en el año 2009 (Figura 14). Esto es importante en fertilidad de suelos, si se considera que en condiciones de sabana nativa, la materia orgánica promedio en la Altillanura es de 2,5% (Rincón, 2012).

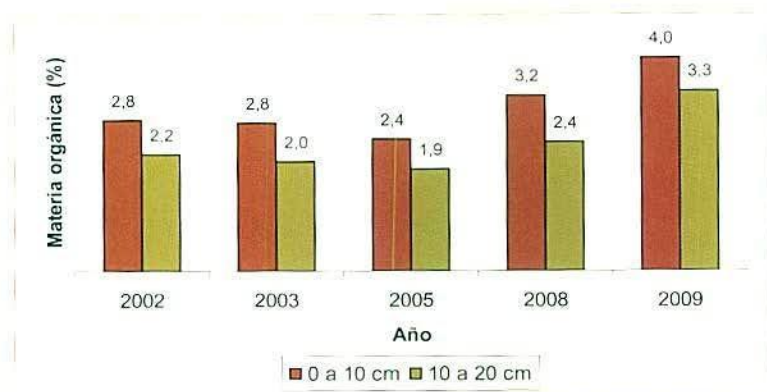


Figura 14 Cambios en la materia orgánica en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

El P fue uno de los elementos de mayor aumento desde los primeros años de establecidos los cultivos, ya que de 2,8 mg/kg encontrados antes del establecimiento de los cultivos, pasó a 24,6 mg/kg en el segundo año de siembras. Estas altas concentraciones se sostuvieron durante los cuatro años con cultivos; sin embargo, en la fase de pastoreo, desde 2006 hasta 2009, se presentó

una disminución, llegando hasta 9 mg/kg en los primeros 10 cm de profundidad. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la diferencia existente en la concentración de este mineral en las dos profundidades evaluadas, evidenciando un mejoramiento más alto (73%) en los primeros 10 cm (Figura 15).

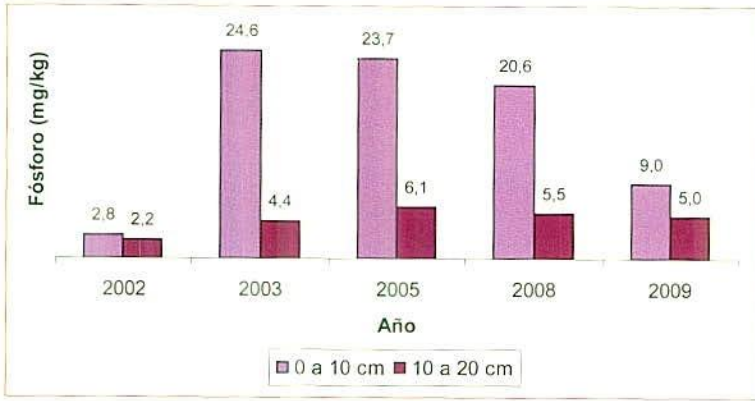


Figura 15. Cambios en el fósforo en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

La concentración de Al se redujo al segundo año de realizados los cultivos; sin embargo, al final del periodo, en 2005, este elemento aumentó principalmente a la profundidad de 20 cm, con un valor de tres cmol/kg. En el periodo de pastoreo se encontraron valores más bajos, especialmente en el año 2009, con 0,8 cmol/kg a los 10 cm de profundidad. En todos los casos, con excepción del estado inicial, el Al presentó más concentración a mayor profundidad (Figura 16).

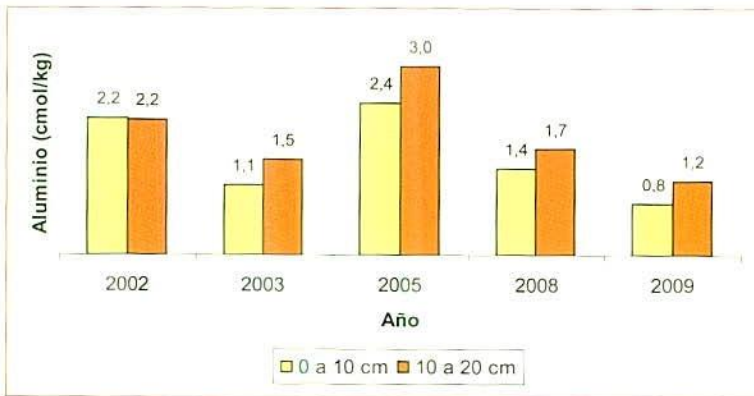


Figura 16. Cambios en el aluminio en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

El Ca es otro de los minerales que presentó un incremento importante en su concentración en el suelo, como respuesta a los insumos aplicados, especial-

mente de cal dolomítica y yeso agrícola. De 0,3 cmol/kg, antes de intervenir, llegó a 1,8 cmol/kg al final del periodo de cultivos, en 2005 (Figura 17). Durante la fase de pastoreo, la concentración de este elemento ha disminuido a 1,1 cmol/kg a 10 cm de profundidad. Es importante considerar que esta concentración sigue siendo superior al estado inicial, teniendo en cuenta que desde el año 2005 no se han aplicado fertilizantes o correctivos.

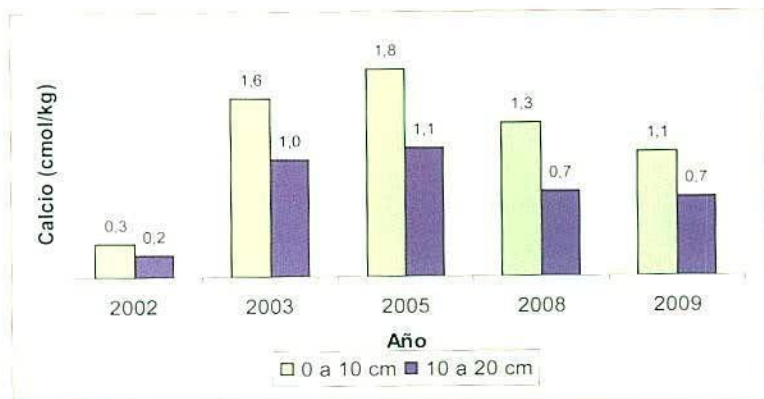


Figura 17 Cambios en el calcio en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

El Mg presentó un comportamiento similar al Ca, ya que alcanzó los máximos valores en 2005, cuando terminaron las siembras de cultivos, y durante la fase de pastoreo se ha reducido; sin embargo, aún presenta concentraciones adecuadas para el buen desarrollo de los pastos. Como la mayoría de los nutrientes, las mayores concentraciones se presentaron en los primeros 10 cm de profundidad (Figura 18).

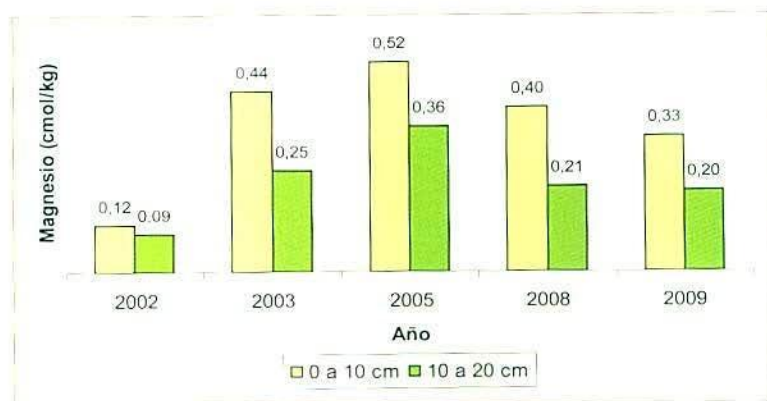


Figura 18. Cambios en el magnesio en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

La concentración de K en los suelos ácidos de la Altillanura ha sido considerada como muy baja y este suelo no fue la excepción, ya que se encontró de 0,05 cmol/kg en los primeros 10 cm y 0,03 cmol/kg en los 10 a 20 cm de profundidad. Un año después de la aplicación de los insumos y de la siembra de cultivos se incrementó a 0,24 cmol/kg y al cuarto año disminuyó a 0,15 cmol/kg. Sin embargo, se ha visto una fluctuación en la concentración de este nutriente: en 2008 aumentó a 0,26 cmol/kg y luego disminuyó a 0,12 cmol/kg al año siguiente (Figura 19).

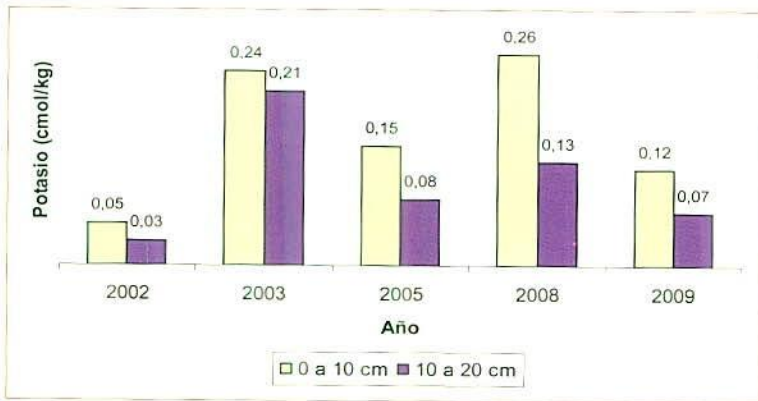


Figura 19 Cambios en el potasio en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

El S presentó un incremento alto, al pasar de 1,3 mg/kg en 2002 a 48 mg/kg en el último año de cultivos. Este es uno de los nutrientes que presenta mayor disminución después del pastoreo, pues al cuarto año, en los primeros 10 cm, es de 3,6 mg/kg, acercándose al valor inicial antes de la intervención de los suelos. En todos los años se presentó una mayor concentración de S a la profundidad de 10 a 20 cm (Figura 20).

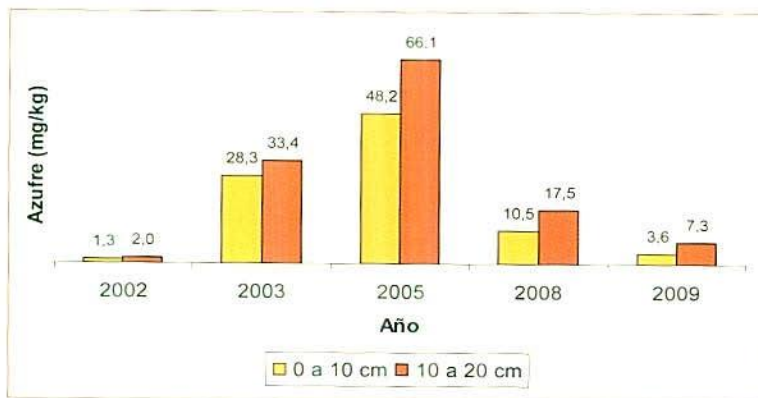


Figura 20 Cambios en el azufre en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

La concentración de B en el suelo no se incrementó con la aplicación de enmiendas, fertilizantes y siembras de cultivos (Figura 21), lo cual se evidenció por la mayor concentración de este microelemento antes de la intervención de los suelos, con 0,37 mg/kg a las dos profundidades evaluadas. Al final del periodo de cultivos, en 2005, llegó a valores muy bajos de 0,01 mg/kg; sin embargo, en la fase de pastoreo la concentración mejoró.

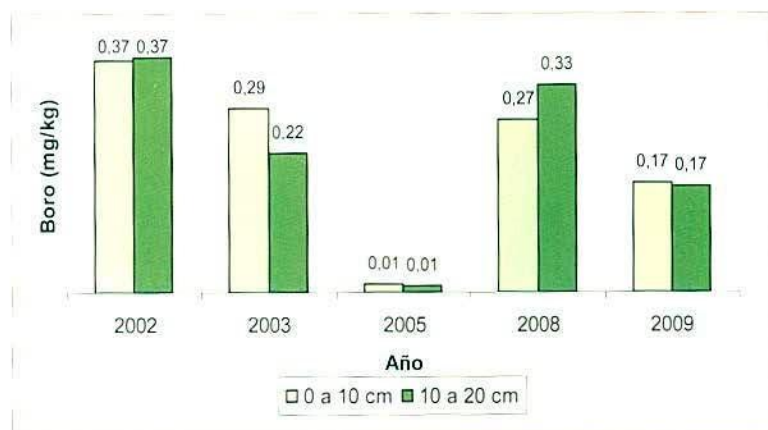


Figura 21 Cambios en el boro en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

El Cu presentó incrementos importantes, especialmente en los primeros 10 cm, ya que de 0,65 mg/kg en 2002, pasó a 1,21 mg/kg en 2005, siendo el doble de lo encontrado a la profundidad de 10 a 20 cm. La concentración de este microelemento en la fase de pastoreo ha descendido a los valores iniciales que tenían en el suelo antes de su intervención (Figura 22).

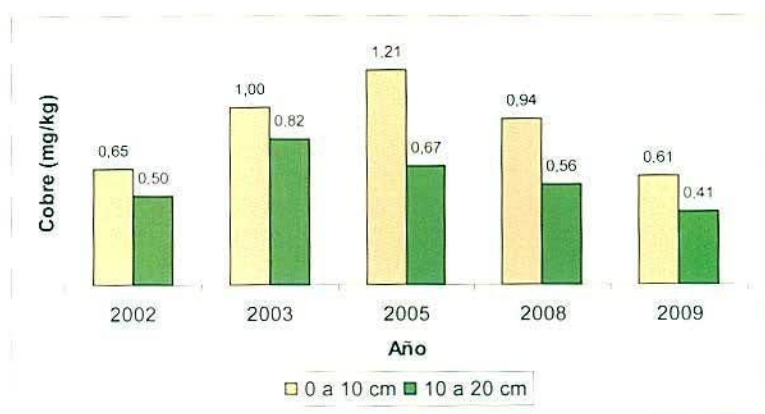


Figura 22 Cambios en el cobre en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

El Zn presentó una concentración de 0,4 mg/kg en 2002, pero con todo el proceso de siembras de cultivos y luego con el pastoreo, llegó a concentraciones de 4,4 mg/kg en los primeros 10 cm; sin embargo, la concentración de Zn a la profundidad de 10 a 20 cm solo fue una cuarta parte de la encontrada a nivel superficial. En 2009, la concentración de Zn ha disminuido a 2,2 mg/kg, la cual sigue siendo superior a los valores iniciales que tenía el suelo (Figura 23).

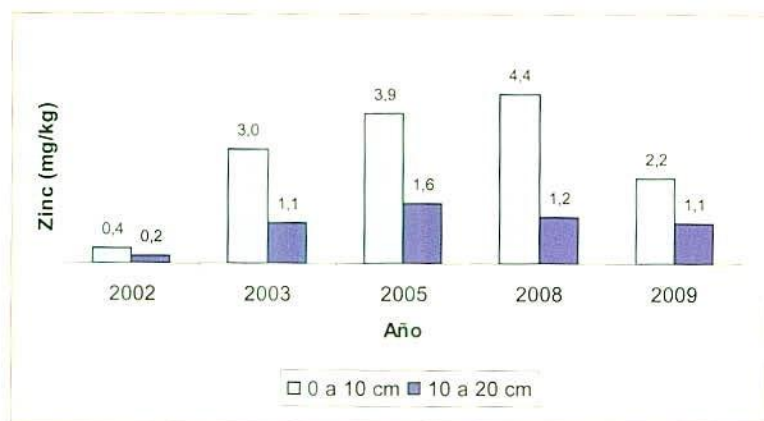


Figura 23 Cambios en el zinc en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

La saturación de bases, que era de 20%, con la siembra de cultivos se logró aumentar a 60% en los primeros 10 cm y a 45% en los siguientes 10 cm. Un aspecto positivo que ha tenido el pastoreo es que esta saturación de bases se ha conservado especialmente a nivel superficial del suelo (Figura 24).

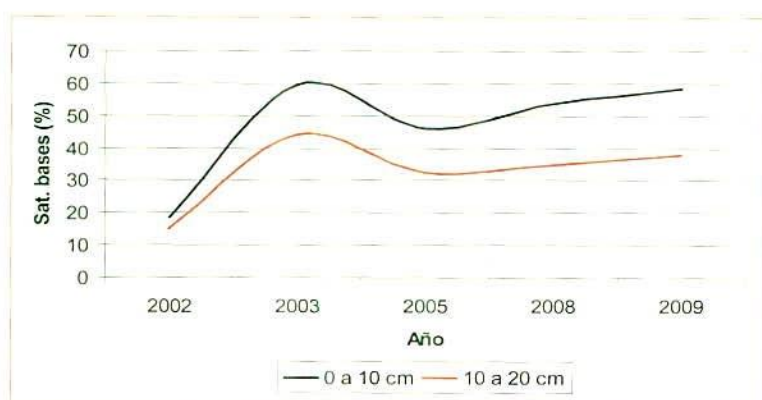


Figura 24 Cambios en la saturación de bases en suelos con rotación de cultivos durante cinco años y cuatro años de pastoreo. Finca Santana, en la Altillanura plana.

Conclusiones

- La fertilidad del suelo se mejora cuando se utilizan cultivos como el maíz para el establecimiento o renovación de praderas, lo que contribuye a una mayor productividad de carne y leche bovina, por la mayor disponibilidad de forraje de mejor calidad. Sin embargo, después de tres años de pastoreo esta fertilidad disminuye, lo cual puede contribuir a la degradación de las praderas. Para evitar una pérdida en la productividad de estas praderas es necesario aplicar fertilización de mantenimiento o volver a sembrar cultivos para restaurar los nutrientes del suelo.
- El mejoramiento de los suelos mediante la rotación de cultivos se logró a nivel superficial, ya que la mayor concentración de minerales, con excepción del azufre, se dio en los primeros 10 cm del suelo. Esto es una limitante para el desarrollo de las raíces de los pastos, por consiguiente, es necesario replantar el sistema de labranza, para que permita el mejoramiento de los suelos a una mayor profundidad.
- Las condiciones físicas de los suelos se mejoran cuando se establecen cultivos para la renovación de praderas; pero cuando estas praderas mejoradas se someten al pastoreo, características físicas como la densidad aparente, vuelven rápidamente a su estado inicial antes de la labranza.

Bibliografía

- Andrew, C.S. & Vander Berg, P.J. (1973). *The Influence of Aluminum on Phosphate Adsorption by Whole Plants and Excised Roots of Some Pasture Legumes*. Aust. J. Agric. Res. 24: 341- 351.
- Belalcázar, D.; Lemus, L.H. & Duran, C.V. (1995). *Especies forrajeras tropicales de interés para pasturas en suelos ácidos de Colombia*. Fascículo 2 de la serie capacitación en tecnología de producción de pastos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia. 211 p.
- Bernal, J.E. (2003). *Pastos y forrajes tropicales. Producción y manejo*. Ed. Ángel Agro-Ideagro. Bogotá, Colombia. 691 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. (1986). *Manejo de la fertilización fosfatada de pastos tropicales en suelos ácidos de América Latina*. Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Salinas, J.G. & León, L.A. Cali, Colombia. 60 p.
- Clarkson, D.T. (1965). The Effect of Aluminum in Some Other Trivalent Cations on Cell Division in Root Apices of *Allium Cepa*. En: *Ann Bot.* 28: 309-315.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. (2005). *Recomendaciones básicas para cultivar maíz en sistemas de rotación en la altillanura plana colombiana*. Pulido, S.X. & Jaramillo, C.A. (eds.). Boletín divulgativo N°14. Corpoica, MADR. Villavicencio, Meta, Colombia. 18 p.
- Dávila, G.; Guerrero, R. & Rojas, E. (1998). Disponibilidad de K en algunos suelos palmeros de los Llanos Orientales de Colombia. En: *Suelos ecuatoriales*, 28. Pp. 71-80.
- Dias-Filho, M. (2005). *Degradação de pastagens. Processos, causas e estratégias da recuperação*. 2ª edición. EMBRAPA, Amazônia Oriental, Belém, Brasil. 173 p.
- Dubeux, J.C.; Cuadros, H.S. & Solleberg, L.E. (2004). Ciclagem de nutrientes: Perspectivas de aumento da sustentabilidade da pastagem manejada intensivamente. En: *Fertilidade do solo para pastagens*

- productivas. Silveira, C.G; de Moura, J.C. & de Faria, V.P. (eds.). Anais do 21º Simpósio sobre manejo das pastagens. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, FEALQ. Piracicaba, SP. Brasil. Pp. 357-400.
- Espejo, G. (1995). *Manejo del suelo en programas de cebsa intensiva. Factores que determinan un programa de equilibrio en fertilidad*. Seminario sobre manejo integral de programas de cebsa intensiva, abril 18 y 19 de 1996. Fedegán, Cicadep. Armenia, Colombia. 66 p.
- Foy, C.D. (1992). Soil Chemical Factors Limiting Plant Root Growth. En: *Adv. Soil Sci.* 19: 97-149.
- Hammond, L.L.; León, L.A. & Montes, G. (1982). Efecto inicial y residual de dos fuentes de P en los rendimientos de maíz (*Zea Mays*) y Caupi (*Vigna unguiculata*) en un suelo del CIAT Quilichao, deficiente en P. En: *Suelos ecuatoriales*. 12(1): 5-13.
- Lascano, C.; Pérez, R.; Plazas, C.; Medrano, J.; Pérez, O. & Argel, P.J. (2002). *Pasto Toledo (Brachiaria brizantha CIAT 26110), gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana*. CIAT, Corpoica, MADR. Villavicencio, Colombia. 18 p.
- McDowell, L.R.; Velásquez-Pereira, J. & Valle, G. (1997). *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Departamento de ciencia animal. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida, Gainesville, University of Florida, USA. 84 p.
- McDowell, L.R.; Conrad, J.H.; Ellis, G.L. & Loosli J.K. (1994). *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Departamento de ciencia animal. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida, Gainesville y Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Usaid. 92 p.
- Mejía, L. (1996). Génesis y características de los oxisoles y suelos tóxicos de los Llanos Orientales de Colombia y su relación con la fertilidad. En: *Suelos ecuatoriales*, 26 (1). Pp. 7-34.
- Pardo, O.; Rincón, A. & Hess, D. (1999). *Alternativas forrajeras para los Llanos Orientales de Colombia*. Boletín técnico No. 18 Corpoica-Pronatta. Villavicencio, Colombia. 55 p.
- Pereira de Oliveira, I. & Pacheco, Y.L. (2003). Implantação e conducto do Sistema Barreirao. En: *Integração Lavoura – Pecuária. Embrapa, arroz e feijão*. Kluthcouski, J.; Stone, L.F. & Aidar, H. (eds.). San Antonio de Goiás, Brasil. Pp. 267–302.
- Pinzón, A. & Amézquita, E. (1987). Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. En: *Pasturas tropicales* N° 12(1). Pp. 21-26.
- Plaster, J.E. (2005). *La ciencia del suelo y su manejo*. Segunda reimpresión. Internacional Thompson Editores. Madrid, España. 419 p.
- Rincón, A. (2012). Concentración de minerales en suelos y fertilización de pastos en los Llanos Orientales de Colombia. En: *Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia*. Eds.: Rincón, A. & Jaramillo, C. Corpoica, MADR. Villavicencio, Colombia. Pp. 113-164.
- _____. (2010). Degradación de praderas y estrategias para su recuperación. En: *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos*. Eds.: Rincón, A. & Jaramillo, C. Corpoica, MADR, Fedegán. Villavicencio, Colombia. Pp. 141 – 197.
- _____. (2007). Asociación maíz-pastos para establecimiento y renovación de praderas en los Llanos Orientales. Boletín de investigación No. 09. Corpoica, Colciencias. Villavicencio, Colombia. 71 p.
- Rincón, A.; Cuesta, P.A.; Pérez, R.; Bueno, G.; Pardo, O. & Gómez, J.E. (2002). *Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de la Orinoquia y el piedemonte caqueteño*. Corpoica, Fedegán, Colciencias, MADR. 76 p.
- Salinas, J.G. (1989). *Fertilización de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. 215 p.
- Salisbury, F.B. & Ross, C.W. (1992). *Fisiología vegetal*. Ed. Iberoamérica S.A. México. Pp. 319–338.
- Scholefield, D. & Hall, D.M. (2006). *A Recording Penetrometer to Measure the Strength of Soil Relation to the Stresses Exerted by a Walking Cow*. *J. Soil Sci.* 37: 165-172.
- Valencia, R. (2005). *Corpoica La Libertad 4. Variedad de soya para los sistemas de producción de la altillanura colombiana y su manejo agronómico*. Boletín técnico No. 45. Corpoica. Villavicencio, Colombia. 32 p.
- Vilela, L.; Gomes de Sousa, D.M. & Martha Junior, G.B. (2007). Adubação com enxofre e gessarem. Em: *Cerrado, uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens*. Eds. Martha Junior, G.B., Vilella, L. & Gomes de Sousa, D.M. Embrapa cerrados, Planatina DF. Pp. 107–115.
- Wilcke, W. & Lilienfein, J. (2005). *Nutrient Leaching in Oxisols Under Native and Managed Vegetation in Brazil*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1256-1265.

CAPÍTULO 4.

BANCO DE PROTEÍNA ARBORIZADO (BPA) EN SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES

Álvaro Rincón Castillo

Un componente principal en los sistemas ganaderos es el árbol, integrado a sistemas silvopastoriles o agrosilvopastoriles. La presencia de árboles favorece a los sistemas de producción en aspectos tales, como: ciclaje de los nutrientes, aumento en la diversidad de especies y brinda protección física al suelo de los efectos del sol, de los vientos y las lluvias intensas; a los animales brinda sombra, reduciendo el estrés por calor y la radiación directa, y disponibilidad de forraje en cantidad y calidad; igualmente, reducen la evapotranspiración, la velocidad del viento y el impacto de las gotas de lluvia. Adicionalmente, la introducción de árboles se puede orientar a una reforestación o arborización de áreas degradadas y a la formación de corredores biológicos, que a la final se traduce en una menor presión sobre los bosques primarios. De esta manera se reduce la degradación de los recursos suelo, agua y biodiversidad (Bueno, 2010).

El banco de Proteína Arborizado, BPA, (Figura 1) cumple dos funciones importantes en beneficio de los bovinos, que tienen que ver con el bienestar animal: servir como sombrío y como fuente de alimentación proteica.

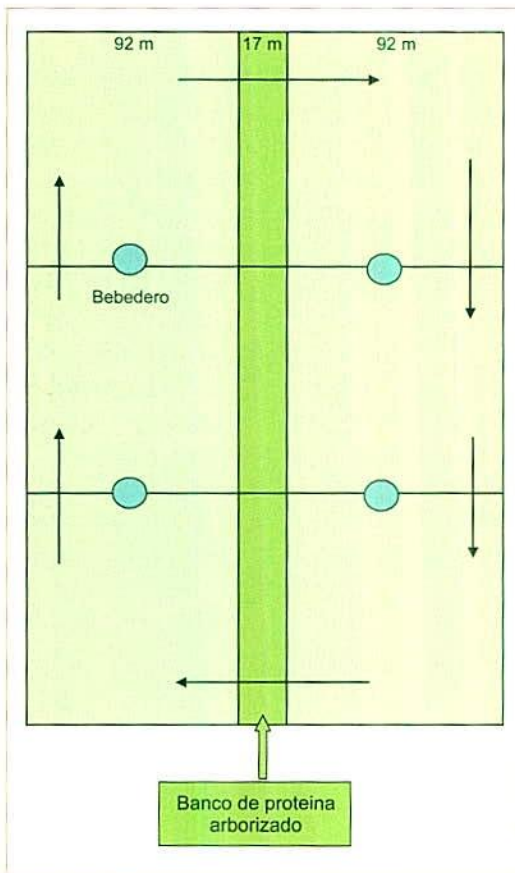
Establecimiento

Como ejemplo se presenta el establecimiento de un BPA en un potrero de 10 ha (200 m x 500 m), el cual se ha dividido en seis potreros iguales para hacer un pastoreo rotacional, que dependiendo del pasto puede estar con un

1. I.A. PhD. Investigador de Corpoica C.I. La Libertad. Villavicencio, Meta, Colombia.



Figura 1. Banco de proteína arborizado establecido en Corpoica C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta.



período de ocupación de seis días y 30 días de descanso. Un pasto como Toledo puede tener una capacidad de carga de 3 an/ha, por consiguiente, en los seis potreros, con un área total de 10 ha, se podrán sostener 30 novillos con un peso promedio de 350 kg/an. El BPA se establecerá en la división de los potreros (Figura 2), en un ancho de 17 m, área que deberá ser bien protegida, en lo posible con alambre de púas, para evitar que los animales dañen los arbolitos y puedan afectar el normal desarrollo.

Figura 2. Esquema de un área de 10 ha con una división de seis potreros con BPA. (Las flechas indican el sentido de la rotación de los bovinos en los potreros).

El área de cada potrero será de 1,52 ha y la del respectivo sombrío de 1.400 m²; de esta forma, el área total de cada uno de los seis potreros será de 1,6 ha; por consiguiente, en este ejemplo, el BPA ocupará un 8,4% de las 10 ha en pastoreo.

Los arbolitos, primero se desarrollan en condiciones de vivero, donde se regulan los rayos solares con polisombra; inicialmente en germinadores, luego las plántulas se pasan a bolsas (Figuras 3 y 4), en las que permanecen hasta que tengan una altura promedio de 40 cm. Posteriormente, se ponen en condiciones de libre radiación solar, para que se vayan adecuando a las condiciones de campo.



En este ejemplo se establecerán tres surcos de árboles, pero también se pueden establecer dos surcos para tener una franja más angosta (10 m). El área donde se va a sembrar el BPA debe estar libre de especies vegetales, por eso se recomienda que la siembra de los pastos no se realice donde se van a establecer los árboles, de lo contrario debe guadañarse o hacer control de la vegetación con herbicida. El suelo puede ser preparado con labranza (Figura 5) o simplemente se ahoya el sitio donde quedará establecido el arbolito.

Los árboles recomendados son aquellas especies adaptadas, como: *Eucalipto pellita*, árboles nativos como el Yopo (*Anadenanthera peregrina*) y el Cañafistol (*Cassia grandis*).



Figura 5. Preparación de suelos para la siembra del BPA.

- El *Eucalipto pellita* es un árbol maderable de rápido crecimiento y su establecimiento en el BPA se hace para que en un futuro el ganadero tenga una fuente de madera y así evitar la presión sobre los bosques de galería.
- El Yopo es un árbol con una arquitectura que lo hace ideal para sombrío, por su rápido establecimiento; es una leguminosa que contribuye a fijar nitrógeno en el sistema. Sus hojas, con pequeños folíolos, se descomponen rápidamente y permiten un permanente reciclaje de nutrientes; la estructura de sus ramas y hojas regula la entrada de rayos solares hasta el estrato herbáceo, propiciando un buen desarrollo de los forrajes de pastoreo bajo su copa.
- El Cañafistol es un árbol nativo, con un desarrollo más lento que los árboles ya mencionados. Es leguminosa que fija nitrógeno, y además de permitir entrada de luz al estrato herbáceo, se caracteriza por la calidad de su madera.

El establecimiento de los árboles, como se presenta en la Figura 6, se hace en tres surcos separados cada uno a 7 m, y también 7 m entre plantas, sembradas en forma alterna en cada surco, para así tener un bosque variado de tres especies. La cerca protectora va a cada lado de la franja, a una distancia mínima de 1,5 m, para evitar el ramoneo por los animales. De esta forma, la franja de bosque arborizado con tres surcos tendrá un ancho de 17 m y una longitud que dependerá del tamaño de los potreros.

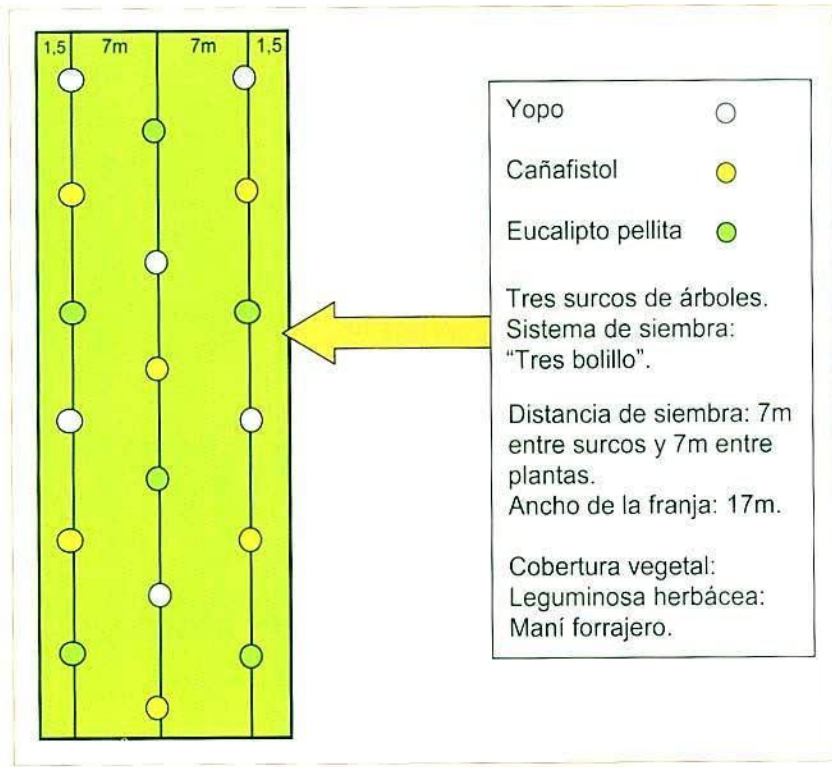


Figura 6 Esquema de un BPA con tres surcos de los árboles Yopo, Cañafistol y Eucalipto pellita, establecidos al "Tres bolillo" en forma alterna.

En el ejemplo de 10 ha, la longitud de la franja es de 500 m, que con tres surcos de árboles distanciados a 7 m se requiere un total de 216 árboles (72 Yopos, 72 Cañafistol y 72 E. pellita).

Fertilización

Una de las actividades más importantes en la siembra de árboles en suelos ácidos deficientes de nutrientes, es la adecuada nutrición del árbol para que este tenga un rápido desarrollo y se pueda aprovechar la sombra en un tiempo corto. Debe hacerse la fertilización de establecimiento con insumos de lenta solubilidad, como: la roca fosfórica, la cal dolomítica y el yeso agrícola, y con fertilizantes de rápida disponibilidad, como: el DAP, el sulpomag y el borzínco. En la Tabla 1 se presentan las cantidades requeridas para la fertilización de 430 árboles que se establecen en un km de BPA; estos insumos deben estar muy bien mezclados y, en el momento de la siembra, aplicar por cada sitio 400 g, el cual debe ser mezclado con la tierra que se saca del hueco donde se sembrará el árbol (Figura 7).

Tabla 1 Fertilización para el establecimiento y mantenimiento de los árboles en un kilómetro de BPA.

Insumo	Para 430 árboles en un km de banco de proteína arborizado	
	Fertilización de establecimiento (kg)	Fertilización de mantenimiento (kg)
Roca fosfórica	50	
Cal dolomítica	50	
Yeso agrícola	30	
Fosfato diamónico	20	50
Sulpomag	15	50
Borozinco	5	
Total	170	100
Fertilización por árbol	0,400	0,250

La fertilización de mantenimiento se inicia dos meses después de la siembra, aplicando en corona 250 g de una mezcla de fosfato diamónico y sulpomag. Se debe repetir cada dos meses, durante el primer año, lo que asegura un desarrollo vigoroso del árbol.

Se ha evaluado en condiciones de la Altillanura, el crecimiento de los árboles de *Eucalipto pellita*, *Acacia mangium* y *Gmelina arborea*, comprobando que es posible tener sombra después de tres años de sembrados. Al cabo de 36 meses, *A. mangium* presentó una altura superior a 6 m, en tanto, *E. pellita* y *G. arborea* alcanzaron 5 m de altura (Figura 8).



Figura 7. Siembra del árbol en el sitio definitivo.

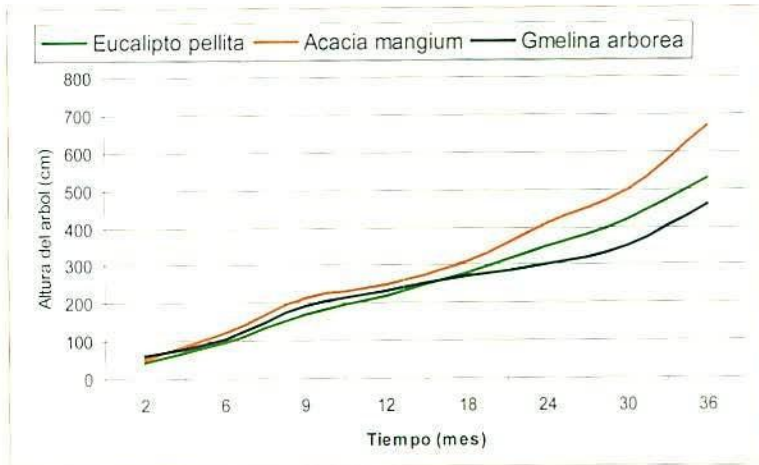


Figura 8. Crecimiento de los árboles en las condiciones de la Altillanura plana.

Establecimiento de la leguminosa forrajera

El maní forrajero (*Arachis pintoii*) que cumple la función de banco de proteína y cobertura vegetal, se adapta bien en regiones tropicales con alturas de 0 a 1.800 msnm y con precipitación de 2.000 a 3.500 mm anuales. Se desarrolla adecuadamente en diversos tipos de suelos, desde los oxisoles, ácidos y pobres en nutrientes, hasta aquellos de mejor fertilidad encontrados en la zona cafetera. En los Llanos Orientales, su establecimiento ha sido bueno en suelos franco arcillosos con contenidos de materia orgánica superiores al 3%. Los elementos que más influyen en el buen desarrollo de la planta son el calcio, el magnesio y azufre. Por otra parte, tolera la sombra moderada, por lo cual puede usarse como cobertura de suelo en cultivos de café, palma africana, cítricos, etc.

El maní forrajero es una planta que produce abundantes estolones y genera nuevas plantas en los nudos, lo cual favorece una cobertura rápida del suelo. La capacidad que tiene de competir con gramíneas agresivas se puede explicar en parte por su tolerancia a la sombra; esta cualidad le permite tener usos alternativos como cobertura del suelo y mejoramiento del mismo. Las coberturas del suelo constituyen un método efectivo para reducir la pérdida de la valiosa capa arable, la subsiguiente degradación de la fertilidad y la estructura del suelo, y la disminución de la productividad de las plantaciones.

Dos factores importantes hacen que el maní forrajero sea idóneo como cultivo de cobertura y para ayudar a conservar el suelo: su capacidad de crecer en condiciones de sombra y la densa formación de estolones enraizados, que protegen el suelo de la precipitación de gran intensidad (Pizarro y Rincón, 1993). El maní forrajero se ha caracterizado, a diferencia de otras leguminosas

liberadas (Kudzú, Capica, Vichada), por la excelente persistencia en las asociaciones bajo pastoreo, con las especies rastreras e invasoras (Fisher y Cruz, 1995). El mecanismo que confiere al maní forrajero la persistencia bajo circunstancias adversas, como sobrepastoreo o quema, es la reserva de semilla en el suelo. Muestreos llevados a cabo en campos de multiplicación (semilleros) y en pasturas asociadas bajo pastoreo, indican que la producción de semilla es apreciable (2 t/ha), especialmente en los lotes de mayor edad (Rincón *et al.*, 1992).

La siembra de la leguminosa *Arachis pintoi* cv maní forrajero se realiza con material vegetativo, colocando uno a dos trozos de tallo en cada sitio de siembra, a una distancia entre 50 y 100 cm entre plantas (Rincón, 1994). La siembra de la leguminosa se realiza después de la siembra de los árboles, previo control de las malezas con un herbicida sistémico como el glifosato, en una dosis de 1,5 litros/ha. Para un rápido establecimiento de la cobertura vegetal de maní forrajero en el BPA, con un ancho de 17 m y una longitud de 1.000 m (1,7 ha), se debe fertilizar con una mezcla de 200 kg de fosfato diamónico, 200 kg de Sulpomag y 10 kg de Borozinco, que debe ser aplicada al voleo después de realizada la siembra de la leguminosa. Para facilitar un buen establecimiento del maní forrajero es importante hacer control de otras especies, como las gramíneas, cuya frecuencia dependerá de la invasión de estas plantas. Un control efectivo se realiza mediante corte con guadaña manual, por lo menos dos veces en cada semestre.

Para mejorar la disponibilidad de proteína, también se pueden establecer plantas arbustivas en medio de los árboles, como el Botón de oro, *Cratylia argentea*, u otra fuente de proteína para ramoneo por los bovinos.

En el Piedemonte del Meta, por la mayor fertilidad de los suelos, el BPA ha podido ser aprovechado por los animales a los dos años después de la siembra (Figura 9); por lo tanto, se puede quitar la cerca de protección y permitir el libre acceso de los animales.

Costos de establecimiento de un km de banco de proteína arborizado

Para el establecimiento de un km de BPA con un ancho de 17 m, es necesaria la instalación de un km de cerca eléctrica con un costo de \$2.309.200. Sin embargo, si no se tienen las precauciones para que esta cerca funcione bien, lo recomendable es instalar cerca de púas con al menos tres hilos y postes cada 6 m. Los costos de siembra de los 430 árboles con los fertilizantes requeridos y la mano de obra suman \$1.295.000 y el establecimiento del banco de proteína de maní forrajero tiene un costo de \$990.000 (Tabla 2).



Figura 9. Banco de proteína arborizado (BPA) con dos años de edad, en el Piedemonte llanero.

Tabla 2. Costos para el establecimiento de un kilómetro de BPA

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unit.	Valor total
Cerca ecléctica (1 km)				
Postes (cada 15 metros)	unidad	80	14 000,0	1 120 000,0
Grapas	kilo	1	4 000,0	4 000,0
Alambre acerado No. 12	kilo	90	6 000,0	540 000,0
Tensor metálico	unidad	8	5 200,0	41 600,0
Cable aislador	metro	40	700,0	28 000,0
Aislador inicio-fin	unidad	16	1 200,0	19 200,0
Cinta autofundente	rollo	1	15 000,0	15 000,0
Tubo aislador	metro	20	70,0	1 400,0
Contrato para la construcción de un km	postes	80	5 000,0	400 000,0
Transporte	postes	70	1 000,0	70 000,0
Otros accesorios (impulsor, pararrayos, polo a tierra)				70 000,0
Subtotal				2 309 200,0
Siembra de los árboles:				
Árboles: 3 hileras/franja a 7 m entre plantas	planta	430	700	301 000
Roca fosfórica	bulto	1	15 000	15 000
Cal dolomítica	bulto	1	10 000	10 000
Yeso agrícola	bulto	1	25 000	25 000
Fosfato diamónico	bulto	5	80 000	400 000
Sulpomag	bulto	5	70 000	350 000
Borizincó	bulto	0,2	70 000	14 000
Mano de obra	jornal	6	30 000	180 000
Subtotal				1 295 000
Siembra del mani forrajero:				
Material vegetativo de mani forrajero	bulto	15	10 000	150 000
Fosfato diamónico	bulto	4	80 000	320 000
Sulpomag	bulto	4	70 000	280 000
Mano de obra	jornal	8	30 000	240 000
Subtotal				990 000
Total				4 594 200

Conclusiones

El uso de BPA en los potreros establecidos o renovados con cultivos, contribuyen a un mejoramiento de los sistemas ganaderos, porque la leguminosa presente en el estrato herbáceo aporta proteína a la dieta del bovino, y el árbol, al cabo de dos años, por su buen desarrollo da sombra para bienestar del ganado que se encuentra en pastoreo.

Bibliografía

- Bueno, G. (2010). Sistemas silvopastoriles. Arreglos y usos. En: *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos*. Eds. Rincón, A. & Jaramillo, C. Corpoica, MADR, Fedegán. Villavicencio, Colombia. Pp. 201-230.
- Fisher, M. & Cruz, P. (1995). *Algunos aspectos de la ecofisiología de Arachis pintoii. Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. Pp. 45-56.
- Pizarro, E. & Rincón, A. (1995). Experiencia regional con Arachis forrajero en América del Sur. En: *Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*. Kerridge, P. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. 227 p.
- Rincón, A.; Cuesta, P.; Pérez, B.R.; Lascano, C.E. & Ferguson, J. (1992). *Maní forrajero perenne (maní forrajero Krapovickas y Gregory), una alternativa para ganaderos y agricultores*. Boletín Técnico ICA No. 219. ICA-CIAT. Cali, Colombia. 23 p.
- Rincón, A. (1994). Propagación vegetativa y producción de semilla de *Arachis pintoii* en monocultivo y asociado con *Brachiaria sp.* bajo pastoreo. En: *Achagua*. Vol. 1. No. 1. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. Regional 8. Villavicencio, Colombia. Pp. 20-29.