



**POTENCIAL PRODUCTIVO Y ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LOS
PASTOS TROPICALES EN LA RENOVACIÓN DE PRADERAS
BAJO CONDICIONES DE SUELOS ÁCIDOS DEL PIEDEMONTES
LLANERO**

ARTICULOS CIENTIFICOS

ALVARO RINCON CASTILLO

BOGOTA, Noviembre de 2006

PROFESOR CONSEJERO

I.A. Ph.D. Gustavo Ligarreto. Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, U.N.

MIEMBROS COMITÉ CONSEJERO

I.A. Ph.D. Fabio Leiva. Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, U.N.

I.A. Ph.D. Gerard Fisher. Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, U.N.

I.A. Ph.D. Idupulapati Rao. Investigador Nutrición Pastos CIAT

ORIENTADOR DE CORPOICA

Zoot. Ph.D. Pablo Antonio Cuesta. Investigador en recursos Forrajeros, C.I. Tibaitata

COLABORADORES

I.A. Ph.D. Rolando Barahona (Coordinador del programa de fisiología y nutrición animal de CORPOICA, C.I Tibaitata)

I.A. M.Sc Jaime Bernal. Investigador en Fisiología de cultivos CORPOICA, C.I la Libertad.

I.A. M.Sc Samuel Caicedo. Investigador en Cultivos anuales CORPOICA, C.I la Libertad

I.A. M.Sc. Rubén Valencia Investigador en Fitomejoramiento CORPOICA, C.I la Libertad

I. Agr. Edgar Almanza. Investigador en Física de suelos CORPOICA, C.I la Libertad

I. Q. Orlando Arguello Investigador en Química de suelos CORPOICA, C.I la Libertad

I.A.M.Sc. Judit Guevara Investigadora en Entomología CORPOICA, C.I la Libertad

Zoot.M.Sc. Oscar Pardo Investigador en Nutrición animal CORPOICA, C.I la Libertad

Zoot.M.Sc. Beatriz Abadía. Laboratorio de Nutrición animal CORPOICA, C.I Tibaitata

MVZ.M.Sc. Mauricio Álvarez Investigador en Agroecosistemas CORPOICA, C.I la Libertad

MVZ .M.Sc.Jorge Luis Parra. Investigador en Salud Animal CORPOICA, C.I la Libertad

M.Sc Norha cubillos. Transferencia de tecnología CORPOICA, C.I la Libertad

M.Sc. Cesar Jaramillo. Transferencia de tecnología CORPOICA, C.I la Libertad

I.A. Ph.D. Casilda do Valle, Investigadora en Citogenética Vegetal, EMBRAPA- CNPAC, Brasil

I.A. Ph.D. Claudio Motta Macedo, Investigador en Suelos y nutrición mineral en pastos, EMBRAPA- CNPAC, Brasil

Auxiliar de técnico Carlos Toro, Investigación pecuaria, CORPOICA, C.I la Libertad

Auxiliar de técnico Manuel Ostos, Investigación pecuaria, CORPOICA, C.I la Libertad

INTRODUCCIÓN

El fortalecimiento de mercados internacionales enmarcados en tratados de libre de comercio entre países, conlleva al desarrollo de estrategias para mejorar la productividad agropecuaria en los diferentes productos que el país posee ventajas comparativas. La ganadería Colombiana, puede llegar a ser competitiva mediante la implementación de tecnologías que permitan aumentar la producción de carne y/o leche y la capacidad de carga de las pasturas acompañado de programas de mejoramiento genético de los bovinos, bajo un manejo de buenas practicas que aseguren un equilibrio con el ecosistema.

La población ganadera en Colombia ha fluctuado entre 22 y 26 millones de cabezas en los últimos 10 años, actualmente es de 24 millones de cabezas cuya explotación ocupa un área de 29 millones de hectáreas, que es el 57% de la superficie nacional agropecuaria (DANE, 2001) por consiguiente, la carga animal es de 0.8 cabezas/ha.

La población de ganado vacuno de Colombia está en el puesto noveno en el mundo con una participación de 2.1% sobre un total mundial que es de 1.351 millones de cabezas. Es el primer productor entre los países de la Comunidad Andina (Perú, Venezuela, Ecuador, Bolivia, Colombia) con una participación del 46% y en América, es el quinto productor contribuyendo con el 6.1% (Espinal *et al.*, 2005; Martínez y Acevedo, 2002).

La ganadería bovina de la Orinoquía tiene una población aproximada de 5 millones de cabezas, que representan el 23 % de la ganadería nacional y el 40 % del hato de carne del País, con una histórica especialización, basada en el suministro de animales para ceba en el Piedemonte a partir de las zonas de cría de la Llanura inundable y la Altillanura. Alrededor de ello se ha venido desarrollando en los últimos 20 años el sistema de producción carne bovina en el Piedemonte, orientado a abastecer los mercados locales.

En el piedemonte del departamento del Meta, la ganadería de ceba y de doble propósito se constituye en unas de las principales actividades económicas cuyos productos benefician a la población humana que se concentra en esta región y a grandes ciudades como la capital de la Republica a donde anualmente son transportados 250.000 novillos para su sacrificio. Por tradición, la fuente alimenticia de estos animales han sido los forrajes de pastoreo, con predominio del *Brachiaria decumbens* gramínea que se introdujo en la década de los sesenta adaptándose a las condiciones de clima, suelo y al manejo por parte del productor que lo ha llevado a un estado de degradación, que contribuye a la pérdida de productividad animal ocasionada por la baja disponibilidad de forraje en los potreros. Este problema se ha manifestado en más de 1.500.000 ha en la Orinoquia Colombiana, y se extiende a todas las regiones ganaderas del País y a otros importantes países productores de carne bovina como el Brasil donde reportan que este problema ha aumentado desde la década de 1980 causada por el mal manejo animal, practica culturales inadecuadas y falta de reposición de nutrientes, este proceso de degradación esta en 70 a 80% de las áreas cultivadas con pastos (Macedo, 2004).

La degradación de praderas, explica en gran parte los bajos índices productivos de la ganadería de la región, con producciones de leche entre 3 y 4 botellas vaca⁻¹ día⁻¹ las ganancias diarias de peso en animales de ceba son de 200 a 300 g animal⁻¹ día⁻¹ y de 90 a 150 kg ha.⁻² año⁻¹. El periodo de ceba ocurre entre 27 y 41 meses, en tanto que en condiciones de buen manejo de las praderas fluctúa entre 16 y 20 meses (Rincón, 1999). Adicionalmente, la capacidad de carga varía entre 1.0 y 0.6 animales ha⁻¹ para las épocas de lluvia y seca respectivamente, mientras que los porcentajes de natalidad no son mayores del 55% para el hato doble propósito (Parra, 2004).

La principal limitante para el desarrollo y producción de cultivos, entre los cuales se encuentran los pastos, ha sido la baja fertilidad natural de los suelos que aquí predominan. Estos se originaron a partir de los sedimentos transportados por los ríos que bajan de la cordillera oriental y han sufrido más de un proceso de meteorización. Además, el efecto del clima tropical, con alternancia de períodos secos y húmedos ha provocado un intenso lavado de los minerales. Como consecuencia de esto, los suelos se caracterizan por ser ácidos, con contenidos de fósforo inferior a 3 ppm, baja saturación de bases intercambiables, el contenido de materia orgánica es cercano al 2% y el contenido de aluminio es considerado como tóxico para la mayoría de los cultivos porque la saturación de este elemento está entre el 70 y 80%. (Botero y López, 1982, CIAT, 1983)

Las praderas en sus estados iniciales, tienen alta producción de biomasa por la mayor disponibilidad de nutrientes, producto de la mineralización ocurrida en el proceso de labranza y por los fertilizantes aplicados en el establecimiento, bajo estas condiciones se pueden sostener más de 1 animal ha⁻¹, sin embargo, al no realizar la fertilización de mantenimiento, se disminuyen las reservas nutricionales del suelo y la producción y calidad del forraje se ven afectadas. Aunque se han obtenido forrajes adaptados a la baja fertilidad, es necesario suplir los nutrientes limitantes para sostener una producción de forraje adecuada durante varios años. En estas circunstancias, es frecuente encontrar baja disponibilidad de forraje en las praderas, que requiere una reducción en la carga animal, sin embargo, en la mayoría de los casos se llega al sobrepastoreo ocasionando daños en la planta y en el suelo. En la planta por la severidad de la defoliación que hace el animal, son removidos los puntos donde se encuentran los carbohidratos de reserva y retardan la aparición de nuevas hojas limitando de esta forma el potencial fotosintético de los pastos (Vecchiatti, 2002). Las características físicas del suelo son afectadas por el pisoteo de los animales porque lo compacta superficialmente causando la reducción del espacio poroso, con cambios desfavorables en la relación suelo-planta-aire, y su efecto negativo el desarrollo radicular de la planta por falta de oxígeno (Pinzón y Amezcuita, 1991; Spain y Gualdrón, 1985; CIAT, 1990).

La baja disponibilidad y calidad nutritiva de los forrajes, reducen la producción de carne y leche de los bovinos; en los análisis de calidad de *B. decumbens* se ha encontrado contenidos de fósforo de 0.13% y Ca de 0.21% que no llenan los requerimientos de los animales. La principal deficiencia del forraje que consume el ganado en el Piedemonte llanero, es el bajo contenido de proteína (4 a 6%), hecho favorecido por la implantación de un monocultivo de esta gramínea. El costo para mejorar este parámetro nutricional es bastante alto y poco efectivo si se utiliza fertilizantes químicos altamente volátiles, fácilmente lixiviables, acidificadores del suelo como es la urea (Orozco, 1999). Durante varios años se ha comprobado el beneficio de las praderas asociadas de gramíneas y leguminosas sobre la producción de carne y leche y sobre el suelo, sin embargo, por la baja persistencia de estas asociaciones, esta tecnología ha sido poco adoptada por los ganaderos. Entre otras causas, la baja persistencia de las leguminosas se ha presentado por la baja fertilización utilizada en el establecimiento y mantenimiento de las praderas y por el inadecuado manejo de pastoreo.

La integración agricultura con la ganadería, consiste en una diversificación de la producción, posibilita el aumento de eficiencia en la utilización de los recursos naturales, la preservación del medio ambiente, la estabilidad de producción y la renta del productor. La utilización de cultivos como el maíz, arroz, soya y millo como alternativa para recuperar praderas, tiene grandes posibilidades en el Piedemonte llanero dado el gran número de hectáreas en proceso de degradación. 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 y gracias a la disponibilidad de mejores pastos la productividad animal es mayor en un tiempo más corto.

Los sistemas agropastoriles se presentan como una buena alternativa para incrementar la producción de carne y leche en la región; sin embargo, no se tiene el conocimiento sobre las especies forrajeras adecuadas para establecerlas en estos sistemas de producción, no se ha determinado el efecto de competencia entre estos cultivos asociados sobre la productividad de los mismos, de igual forma poca investigación se ha realizado sobre aspectos de manejo agronómico como requerimientos nutricionales, épocas, sistemas y densidades de siembra, crecimiento, desarrollo y potencial de rendimiento en relación con las necesidades fisiológicas de las plantas y las condiciones de clima y suelo. Para contribuir a mejorar la productividad de praderas degradadas mediante el sistema maíz - pastos y otras prácticas de manejo, se desarrolló este proyecto con el propósito de generar conocimiento y recomendaciones prácticas a técnicos y productores, para la generación de una ganadería más competitiva en la región le Piedemonte Llanero de Colombia.

El proyecto se desarrollo durante dos años, cuyos resultados se presentan en cinco artículos científicos, los cuales se relacionan a continuación:

Artículo 1: Efecto del nitrógeno en la renovación de praderas de *Brachiaria decumbens* por medio de la asociación maíz – pastos en el Piedemonte Llanero Colombiano.

Artículo 2: Crecimiento del maíz y los pastos establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del Piedemonte Llanero Colombiano. (Trabajo de pregrado de Danny Sanjuanelo para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia)

Artículo 3: Propiedades químicas de los suelos y dinámica de nutrientes en el establecimiento de la asociación maíz – pastos para renovar praderas, en suelos ácidos del Piedemonte Llanero Colombiano

Artículo 4: Producción de forraje en los pastos *Brachiaria decumbens* cv amargo y *Brachiaria brizantha* cv Toledo, sometidos a tres frecuencias y a dos intensidades de defoliación en condiciones del Piedemonte llanero Colombiano. (Trabajo de pregrado de Edwin Garay para obtener el título de Zoocultivista en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia)

Artículo 5: Productividad de la asociación maíz – pastos, en suelos ácidos del Piedemonte llanero Colombiano

Bibliografía

- Botero, P.J. y López D. 1982. Los suelos de los Llanos Orientales (Una visión general sintetizada). Suelos Ecuatoriales, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Volumen XII No. 2, Bogotá, Colombia. pp. 18-29.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. Oxisoles y ultisoles de América Tropical. Distribución, importancia y propiedades físicas; guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Salinas J. G. Valencia, C. A. Cali, Colombia. 56p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1990. Programa de pastos Tropicales, informe anual. Cali, Colombia.
- DANE- Proyecto SISAC, 2001. Encuesta Nacional Agropecuaria 2000
- Espinal, C. F., Martínez, H.J., Gaitán, X.A., Rodríguez, F.G. 2005. La industria de carnes frescas en Colombia. Documento de trabajo No.85, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agro cadenas Colombia. 57p.
- Macedo, M. C. 2004. Análise comparativa de recomendações de adubação em pastagens. En: Fertilidade do solo para pastagens produtivas. Anais do 21º simposio sobre manejo da pastagens. Ed. C.G. Silveira Pedreira, J.C. de Moura y V.P. de Faria. FEALQ, Piracicaba, Brasil. pp.317-355.
- Martínez, C.H. y Acevedo, G.X. 2001. La cadena de alimentos balanceados para animales en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Bogotá Colombia. 32p
- Orozco, F.H. 1999. Biología del nitrógeno, conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 231p.
- Parra, J.L. 2004. Características tecnológicas productivas y aspectos de salud del ternero en el sistema bovino doble propósito, Piedemonte llanero. Boletín de investigación N°5. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Programa nacional de transferencia de tecnología Agropecuaria, PRONATTA, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Villavicencio, Meta. 52.
- Pinzón, A. y Amezcua, E. 1991. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el Piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas tropicales, 12(1) . Cali, Colombia. pp.21-26.
- Rincón, A. 1999. Degradación y recuperación de praderas en los Llanos orientales de Colombia. Boletín técnico No. 19. CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Meta. 48p
- Spain, J.M.; Gualdrón, R. 1985. Rehabilitación de pasturas en la época lluviosa (agosto – septiembre), en la transición lluvia a seca (noviembre -diciembre) en la época seca (Febrero – marzo) y en la transición seca a lluvia (abril – mayo). CIAT. Cali, Colombia. 11p
- Vecchiatti, A. 2002. Reservas orgánicas, índice de área foliar e producto de forragem em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a intensidades de pastejo por bovinos de corte. Tesis de doctorado, Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, Brasil. 160p.

Productividad de la asociación maíz – pastos, en suelos ácidos del Piedemonte llanero Colombiano

Resumen

En una pradera degradada del Piedemonte llanero de Colombia, se estableció en forma simultánea el cultivo de maíz híbrido "Master" en asociación con los pastos híbrido de *Brachiaria* cv "Mulato", *Brachiaria brizantha* cv "Toledo", y *Brachiaria decumbens*. Para determinar el efecto del N en el desarrollo y producción de grano de maíz y biomasa de pasto, se evaluaron las dosis de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados en forma fraccionada al surco del maíz, a los 15 y 35 días después de la siembra de la asociación. La producción total de biomasa a los 50, 75, 90 y 140 días después de la siembra fue de 7.000, 11.400, 15.500, y 16.000 kgMS ha⁻¹, respectivamente. La producción de grano de maíz asociado con pasto Toledo fue superior significativamente (P<0.05) con 5.836 kg ha⁻¹ frente a un promedio de 5.100 kg ha⁻¹ obtenido en las asociaciones con pasto Mulato y *B. decumbens*. El forraje en oferta durante la época lluviosa fue de 1037 kgMS ha⁻¹ y en la época seca de 1045 kgMS ha⁻¹. Las evaluaciones bajo pastoreo con bovinos de ceba tuvo una duración de 12 meses, obteniéndose una productividad de carne de 505, 335 y 328 kg ha⁻¹ año⁻¹ en los pastos Toledo, Mulato y *B. decumbens* respectivamente, resultando ser superior a la productividad regional en las praderas de *B. decumbens* degradadas, que ha estado entre 85 y 150 kg ha⁻¹ año⁻¹. No se obtuvieron diferencias significativas en la producción de forraje ni de carne en las dosis de N evaluadas. El establecimiento de la asociación de maíz – pastos, presentó un costo de \$2.232.000 y los ingresos obtenidos por la venta de las 4 t de maíz fueron de \$1.920.000, La diferencia entre estos dos valores fue de \$312.000 que viene a ser el costo real de la renovación de la pradera. Cuando la pradera es renovada mediante las practicas donde no se utiliza maíz, los costos son de \$682.000, por consiguiente en al renovación hecha con maíz el productor estaría ahorrando un 55% de los costos de producción.

Palabras claves: pasturas degradadas, asociación cultivos-pastos, maíz, forraje, producción, pastoreo, producción animal.

Abstract

In a degraded grassland of the Piedmont of the Oriental plains of Colombia, were established in simultaneous form, the hybrid corn "Master" in association with the hybrid grass of *Brachiaria* cv "Mulato", *Brachiaria brizantha* cv "Toledo", and *Brachiaria decumbens*. To determine the effect of the N in the development and production of grain of corn and grass biomass, the levels of 100 and 200 kg ha⁻¹ of N were evaluated, applied in fractional form to the row of the corn, to the 15 and 35 days after the sowing of the association. The total production of biomass at the 50, 75, 90 and 140 days after the sown it was of 7.000, 11.400, 15.500, and 16.000 kgMS ha⁻¹, respectively. The production of grain of corn associated with grass Toledo was superior significantly (P< 0.05) with 5.836 kg ha⁻¹ in front of an average of 5.100 kg ha⁻¹ obtained in the associations with grass Mulato and *B. decumbens*. The forage in offer during the rainy time was of 1037 kgMS ha⁻¹ and in the dry time of 1045 kgMS ha⁻¹. The evaluations under grazing with beef cattle had duration of 12 months, being obtained a productivity of meat of 505, 335 and 328 kg ha⁻¹ year⁻¹ in the grasses Toledo, Mulato and *B. decumbens* respectively. This yield animal was great to the regional productivity in the degraded grassland of *B. decumbens* that it has been between 85 and 150 kg ha⁻¹ year⁻¹.

With the levels of N evaluated, don't having significant differences in the yield of the forage and the meat. The establishment of the association of corn with grasses presented to cost of \$2.232.000 (US\$970) and the ingress obtained by the sale of the 4 t of corn were of \$1.920.000 (US\$834). The difference among these two values was of \$312.000 (US\$136) that is the real cost of the renovation of the grassland. When the grassland is renovated without corn, the cost is of \$682.000 (US\$296), consequently in to the renovation made with corn the producer it would be saving 55% of the costs of production.

Keywords: degraded pastures, association crop-pasture, corn, grasses, forage, yield, grazing, animal production.

Introducción

La población ganadera en Colombia es aproximadamente de 24 millones de vacunos, que se explotan en 37 millones de hectáreas de pasturas, equivalentes a 57% de la superficie nacional agropecuaria (DANE, 2001). En consecuencia, la carga animal es de 0.65 an ha⁻¹ (Martínez y Acevedo, 2002). 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 (Fedegan, 2003), por lo tanto, se debe mejorar la productividad animal mediante el mejoramiento genético y 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.

Con el propósito de mejorar la productividad de los bovinos que se obtiene en los pastos nativos, en los que se requiere 5 a 10 ha para sostener un animal con rendimientos de 30 kg ha⁻¹ año⁻¹, se introdujo germoplasma forrajero (CIAT 1986, 1987, 1988) en su mayoría proveniente de África y después de un proceso de selección, los pastos que mejor se adaptaron fueron los del género *Brachiaria* con los cuales se ha llegado a sostener 1 a 2 animales ha⁻¹ con unas ganancias de peso entre 180 y 350 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Pérez y Lascano 1992; Pardo *et al.*, 1999; Pérez y Cuesta, 1994; Pérez *et al.*, 2000; Rincón 1999).

Las praderas introducidas en los Llanos están constituidas principalmente por la gramínea *Brachiaria decumbens*, especie de buena adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad (Miles *et al.*, 2004) que ha sido base para el desarrollo de una ganadería más productiva en los últimos 30 años, generando productos que benefician a la población humana de esta región y a grandes ciudades como la capital de la Republica a donde anualmente son transportados 250.000 novillos para su sacrificio, no obstante, en la actualidad la productividad animal es baja, como consecuencia de la degradación de praderas ocasionada por varios factores como, falta de fertilización en el establecimiento y mantenimiento de las praderas, presencia de plagas como el mión de los pastos (*Aeneolamia* spp) y hormigas (*Atta* y *Acromirmex*) y sobrepastoreo, lo cual ha hecho que la carga animal sea de solo 0.7 animales por hectárea y la productividad animal de 150 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Rincón, 1999).

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 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 praderas esta 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; en donde se están dejando de producir 154.000 toneladas de carne al año, que equivale a 342.000 novillos con un peso de 450 kg animal⁻¹.

Se han desarrollado tecnologías para dar solución a esta problemática como son la labranza, fertilización, asociación con leguminosas y recientemente la integración de cultivos con pastos, demostrando el beneficio ambiental y económico. Actualmente se disponen de nuevos materiales forrajeros con alta capacidad de producción dentro de los cuales se encuentra el pasto Mulato, primer híbrido comercial de *Brachiaria*, producto de trabajos iniciados hace 15 años, en el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), con cruces entre el único *Brachiaria* sexual diploide, (*B. ruzuziensis*), el cual tuvo que ser tratado con colchicina para duplicar el número de cromosomas y tener una planta tetraploide que se pudiera cruzar con *B. brizantha* cv. Marandu especie tetraploide apomictica y resistente al miñón de los pastos. (Miles y do Valle, 1998). El pasto Mulato es una gramínea con buen desarrollo de macollas y alta producción de forraje (25 a 30 tMS ha⁻¹ año⁻¹) de buena calidad y excelente palatabilidad (CIAT, 2003; Plazas, 2006). Otro material de importancia para integrarla a los sistemas ganaderos, es el pasto Toledo, variedad de *Brachiaria brizantha* originaria de África y liberada a los productores de Colombia en el año 2002. Es una planta con alta capacidad de producción de biomasa, (30 tMS ha⁻¹ año⁻¹), que permiten utilizar cargas superiores a 2.5 animales por hectárea con un periodo de descanso entre 21 y 28 días (Argel *et al.*, 2000; Lascano *et al.*, 2002).

La utilización de leguminosas forrajeras en asocio con gramíneas en los suelos ácidos de los Llanos orientales de Colombia, han demostrado su efectividad en el mejoramiento de la calidad del forraje consumido por el ganado, en el mejoramiento del suelo y en una mejor ganancia de los parámetros productivos y reproductivos de los animales en pastoreo. Una de estas leguminosas que ha sido exitosa por su fácil asociación con gramíneas del género *Braquiaria*, adaptación a oxisoles y persistencia en la pradera durante varios años, es el maní forrajero (*Arachis pinto*). La productividad animal en las asociaciones de *Brachiaria* sp con maní forrajero en condiciones de la Orinoquia Colombiana a llegado a 600 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Pardo *et al.*, 1999; Pérez y Cuesta, 1994; Pérez *et al.*, 2000; Rincón 1999; Rincón *et al.*, 2002, Rincón, 2004)

Los cultivos como el maíz, arroz y soya, se presentan como una alternativa de alta viabilidad para recuperar praderas, en la Orinoquia Colombiana dado el gran número de hectáreas en proceso de degradación. Este sistema trae beneficios al suelo porque se mejora su fertilidad, a los bovinos, porque disponen de mayores producciones de forraje de mejor calidad que contribuye a mayor productividad animal en un tiempo más corto y al productor porque con la cosecha del cultivo cubre en gran medida los costos de la renovación de la pradera (Valencia *et al* 2006; Vilela *et al.*, 2004).

El Brasil, es el país que más adelantos tiene en el desarrollo de sistemas agropastriles en 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 anuales. Se fundamenta en la producción asociada de cultivos de granos como el maíz, sorgo, millo, arroz y soya, con especies forrajeras tropicales especialmente del género *Brachiaria*. Las tecnologías adoptadas por los productores denominadas "sistema Barreirao" y "sistema Santafe", , donde además de mejorar la productividad animal en la finca, se mejoran las condiciones químicas y físicas de

los suelos, se favorece el enraizamiento profundo de las forrajeras, mejor cobertura y menor degradación de los suelos, reducción del ritmo de apertura de nuevas áreas especialmente en la Amazonia, reducción de la erosión de las cuencas de los ríos, reducción en el 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 en las condiciones químicas de los suelos a lo cual ha 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 (CORPOICA, 2002; CORPOICA, 2003; Sanz *et al.*, 1999). El éxito de los resultados obtenidos permitió validar y ajustar esta tecnología en áreas comerciales de fincas de productores. Durante los 3 últimos años se han sembrado más de 10.000 ha de maíz en la Altillanura Colombiana, con un rendimiento promedio de 4.0 t ha⁻¹. Las experiencias en estas fincas han demostrado que a nivel comercial se pueden obtener hasta 6 t ha⁻¹ de grano.

Sin embargo, ante los aumentos de los costos de producción de los cultivos, que difícilmente son cubiertos con las cosechas obtenidas, y teniendo en cuenta el potencial que tiene la región para la producción de carne bovina, se considera que mediante la integración de los cultivos como el maíz y los pastos, puede desarrollarse una actividad agropecuaria competitiva con grandes beneficios para la región. Para confirmar la viabilidad productiva y económica de la asociación maíz pastos, se desarrollo este trabajo con el fin de contribuir a la solución de la degradación de praderas, principal problemática que tiene la actividad ganadera en el Piedemonte llanero.

Materiales y Métodos

El experimento se desarrolló entre Agosto del 2004 y mayo del 2006 en un Oxisol de terraza media del Centro de Investigaciones Corpoica La Libertad, ubicado en el municipio de Villavicencio (Meta, Colombia) a 9° 6' de latitud norte y 73° 34' de longitud oeste, a 330 m.s.n.m., la precipitación anual promedio de los últimos 30 años ha sido de 2800 mm, el promedio de temperatura es de 26 °C y una humedad relativa de 85% en la época lluviosa y 65% en la época seca. Los suelos clasificados como oxisoles son muy ácidos (pH de 4.4), con una saturación de aluminio de 71,7% mientras que la saturación de bases fue 24,7%. Los nutrientes mas deficientes fueron fósforo con 1 ppm, calcio y magnesio con 0.37 y 0.11 me 100 g de suelo⁻¹, respectivamente.

En una pradera degradada se estableció en forma simultanea, el cultivo de maíz híbrido "Master" en asociación con los pastos híbrido de *Brachiaria* cv "Mulato", *Brachiaria brizantha* cv "Toledo", y *Brachiaria decumbens*. El maíz "master" es un híbrido de alta producción de grano amarillo, en condiciones de los Llanos Colombianos, y una de sus principales características es su resistencia al volcamiento por los tallos gruesos y fuertes. Los pastos Mulato y Toledo son materiales de alta producción y calidad nutritiva que se adaptan a suelos de mejor fertilidad, en tanto el *B. decumbens* es una gramínea con buena adaptación a suelos ácidos y de mayor difusión en la Orinoquia Colombiana.

La renovación de la pradera con la asociación maíz-pastos, se hizo por el mejoramiento de la fertilidad de los suelos debido a las enmiendas y fertilizantes aplicados al maíz, que posibilita la introducción de especies forrajeras de alto potencial productivo para sistemas intensivos de producción animal y por el beneficio económico que se obtiene con el grano de maíz producido, en la reducción de los costos ocasionados en la renovación de praderas.

Para determinar el efecto del N en el desarrollo y producción de grano de maíz y biomasa de pasto, se evaluaron las dosis de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados en forma fraccionada al surco del maíz, a los 15 y 35 días después de la siembra de la asociación.

Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, con la siguiente asignación:

Parcela principal: Gramínea forrajera (área de 3 ha)

Subparcela: niveles de nitrógeno (área de 1 ha)

Numero total de unidades experimentales: 18 (3 pastos x 2 niveles de nitrógeno x 3 repeticiones).

Tratamientos

El cultivo de maíz se estableció en asocio con los pastos y con dos niveles de N, bajo los siguientes tratamientos:

Maíz en asocio con el híbrido de *Brachiaria* cv Mulato + 100 kg de N

Maíz en asocio con el híbrido de *Brachiaria* cv Mulato +200 kg de N

Maíz en asocio con el *Brachiaria brizantha* cv Toledo + 100 kg de N

Maíz en asocio con el *Brachiaria brizantha* cv Toledo + 200 kg de N

Maíz en asocio con el *Brachiaria decumbens* + 100 kg de N

Maíz en asocio con el *Brachiaria decumbens* + 200 kg de N

Establecimiento del experimento

La labranza se inició con un pase de rastra con el fin de reducir la cobertura de pasto y brindar mejores condiciones para la acción del cincel rígido, que trabajó a una profundidad entre 20 y 25 cm. Posteriormente se aplicó, una mezcla de cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola por medio de una encaladora y luego se incorporó con un pase de rastra, para reducir la saturación de aluminio y para corregir las deficiencias de calcio, fósforo, magnesio y azufre de estos suelos; La fertilización que se aplicó a la asociación maíz-pastos fue la siguiente:

1500 kg ha⁻¹ de cal dolomítica (399 kg de Ca, 88,5 kg de Mg)

400 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (50 kg de P, 99,6 kg de Ca)

300 kg ha⁻¹ de yeso agrícola (55 kg de Ca, 44,4 kg de S)

150 kg ha⁻¹ fosfato diamónico (29 kg de P, 27 kg de N)

150 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (75 kg de K)

20 kg ha⁻¹ de Borozinco (3000 g de Zn, 100 g de Cu, 500 g de B y 1200 g de S).

De acuerdo a estas cantidades de insumos, la dosis por hectárea fue de 555 kg de Ca, 88 kg de Mg, 79 kg de P, 75 kg de K y 44 de S.

La única fuente de variación en fertilidad fue el nivel de nitrógeno aplicado (100 y 200 kg de N ha⁻¹). La fertilización nitrogenada se aplicó en forma fraccionada a los 15 y 35 días después de la siembra, en partes iguales. En el momento de la siembra se aplicó a todos los tratamientos 27 kg ha⁻¹ de N contenidos en los 150 kg ha⁻¹ de DAP aplicados.

El maíz se estableció con una densidad de siembra de 22 kg ha⁻¹ en surcos separados a 80 cm con 5 a 6 plantas por metro lineal, con una maquina sembradora-abonadora, la cual depositó la semilla a una profundidad promedio de 3 cm y el fertilizante de establecimiento (fósforo + potasio + zinc) en el mismo surco del maíz, a una profundidad promedio de 5 cm. Las gramíneas forrajeras se sembraron inmediatamente después de realizada la siembra del maíz, con otra sembradora en surcos separados a 50 cm con una densidad de siembra de 4 kg ha⁻¹, en sentido perpendicular a la siembra del maíz. Durante el ciclo del cultivo se realizaron los controles necesarios de plagas, mediante control biológico e inhibidores de quitina.

Evaluaciones

Producción de biomasa de maíz y pastos

La biomasa producida por el maíz y por los pastos asociados con el maíz, se evaluó a los 50, 75, 90 y 140 días después de la siembra (dds) de la asociación.

Producción de grano de maíz

A los 140 dds se realizó la cosecha del maíz, con combinada. La evaluación de producción se hizo en 50 plantas de cada tratamiento, en el momento de la cosecha se realizó evaluación de población final de plantas de maíz.

Producción de forraje bajo pastoreo

Antes de iniciar el pastoreo definitivo, se determinó la disponibilidad inicial de forraje para calcular la carga animal en cada tratamiento. Durante la fase del pastoreo, en la época lluviosa y en la época seca, se midió el forraje disponible al iniciar el periodo de ocupación, después de 28 días de descanso de los potreros, también se evaluó la composición botánica de cada tratamiento. Terminados los 14 días de ocupación o pastoreo por los animales, se evaluó el forraje residual que dejaron los animales.

Calidad nutritiva del forraje

Al finalizar los 28 días del periodo de descanso y antes de entrar los animales a pastoreo, se evaluó la calidad nutritiva del forraje mediante fraccionamiento de la proteína cruda, fraccionamiento de los carbohidratos estructurales y solubles (Cornell Net carbohydrate and protein system), digestibilidad, FDN, FDA y lignina (Van Soest., P.J. and Wine R.H. 1967), P, Ca, Mg, S, Zn, B, Cu (espectrofotometría).

Producción de carne bovina

Una vez cosechado el maíz, se realizó un pastoreo con 100 vacas durante 12 días para disminuir el volumen de biomasa presente en el área. Después de este pastoreo, se realizó uniformización de las praderas con guadaña mecánica, para iniciar la fase de pastoreo en todos los tratamientos bajo las mismas condiciones. Posteriormente se hicieron las divisiones

de los potreros con cerca eléctrica y al cabo de 30 días de descanso de las praderas, se inició la evaluación productiva bajo pastoreo con bovinos machos cebú comercial, los cuales iniciaron el pastoreo del experimento con un peso promedio de 242 kg animal⁻¹ (edad entre 1 y 1.5 años). Se estableció un sistema de pastoreo rotacional en las tres replicaciones de cada tratamiento, con 14 días de ocupación y 28 de descanso. El número de animales por cada tratamiento o carga animal se calculó de acuerdo a la disponibilidad de forraje. Los grupos integrados por 10 a 12 animales, fueron distribuidos al azar en cada tratamiento con una carga inicial que fluctuó entre 1.8 y 2.5 u.a ha⁻¹, considerando a 400 kg de peso vivo como una unidad animal. En el momento del pesaje inicial estos animales fueron tratados para el control de parásitos internos. Se evaluó las ganancias diarias de peso y producción de carne por ha durante un período de un año.

Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System). Se realizaron los análisis de varianza respectivos y para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey. Para la determinación de ecuaciones de regresión se utilizó el programa Excel.

Resultados y discusión

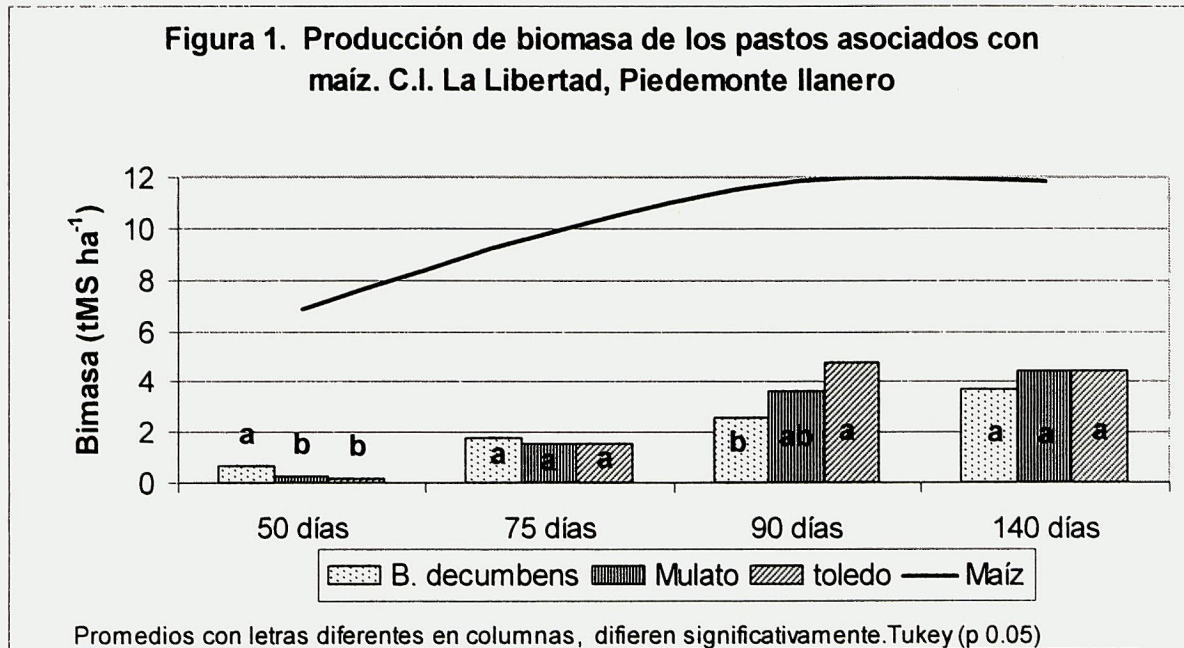
Producción de biomasa de maíz y de pasto

La producción de biomasa del maíz (hojas y tallos) en asociación con los pastos fue de 6828, 9800 y 11.800 kgMS ha⁻¹ a los 50, 75 y 90 dds respectivamente. A los 140 dds en el momento de la cosecha del maíz, la biomasa de maíz fue igual a la de los 90 dds, en tanto la biomasa de los pastos en promedio fue de 4200 kgMS ha⁻¹.

A los 50 dds la biomasa aérea del *B. decumbens* fue superior significativamente ($P < 0.05$) con 682 kg MS ha⁻¹ frente a solo 220 kg MS ha⁻¹ de los otros dos pastos. A los 75 días no se presentaron diferencias significativas entre los tres pastos pero posteriormente a los 3 meses, el pasto Toledo aventajó significativamente al *B. decumbens* y al Mulato, con una producción de 4374 kg MS ha⁻¹. A los 140 días la biomasa de los pastos Mulato y Toledo fue superior significativamente ($P < 0.05$) con relación al *B. decumbens*, en 685 kg (Figura 1). Con respecto a los niveles de N aplicados, no se presentaron diferencias significativas en la producción de biomasa de los pastos en las cuatro épocas de evaluación.

La producción total de biomasa (maíz + pasto) a los 50, 75, 90 y 140 dds fue de 7.000, 11.400, 15.500, y 16.000 kgMS ha⁻¹, respectivamente, lo cual indica que entre el periodo de 50 y 75 dds la asociación de maíz y pastos tuvo una producción diaria de 300 kgMS ha⁻¹, entre los 75 y 90 dds, de 267 kgMS ha⁻¹ y finalmente entre los 90 y 140 dds, periodo en el cual el maíz se encontraba en proceso de secado, la producción diaria de biomasa fue de 10 kgMS ha⁻¹.

Figura 1. Producción de biomasa de los pastos asociados con maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero



Producción de grano de maíz

La cosecha del maíz se realizó a los 140 dds, cuando el grano tenía una humedad del 18%. La producción de grano de maíz asociado con pasto Toledo fue superior significativamente ($P < 0.05$) con 5.836 kg ha^{-1} frente a un promedio de 5.100 kg ha^{-1} obtenido en las asociaciones con pasto Mulato y *B. decumbens*. Este rendimiento superior en la asociación con el pasto Toledo, se debió a la mayor población de plantas de maíz ($39,384 \text{ plantas ha}^{-1}$) en el momento de la cosecha. La población del maíz a los 15 dds fue de $4.5 \text{ plantas m}^{-1}$ lineal lo cual equivalía a tener $50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$. A los 50 dds la población ya se había reducido a $3.9 \text{ plantas m}^{-1}$ ($48,750 \text{ plantas ha}^{-1}$). En el momento de la cosecha se obtuvo un promedio de $3.1 \text{ plantas m}^{-1}$, equivalentes a $38,640 \text{ plantas ha}^{-1}$ (Tabla 1). De acuerdo a estos resultados, la población del maíz se redujo en un 22% durante todo el ciclo del cultivo ocasionado en gran parte por el ataque inicial de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y posteriormente por el gusano barrenador del tallo (*Diatrea sp.*) No obstante esta reducción en la población, los rendimientos estuvieron dentro del promedio obtenido en la región.

Los tratamientos de fertilización con 100 y 200 kg ha^{-1} de N, no afectaron en forma significativa ($P > 0.05$) el rendimiento de maíz, que fue de 5360 y 5350 kg ha^{-1} de grano respectivamente. Este comportamiento de no respuesta a una mayor fertilización nitrogenada, es un reflejo del contenido de nitratos y amonio en el suelo y del contenido de N en las hojas del maíz, casos en los cuales tampoco se presentaron diferencias significativas bajo los dos niveles de N. Considerando que el maíz requiere de 20 a 25 kg ha^{-1} de N por cada tonelada de grano producido, esto se cumplió con la dosis de 100 kg ha^{-1} de N. A la no respuesta a 200 kg ha^{-1} de N, pudieron contribuir las pérdidas de N por volatilización influenciada por la buena humedad del suelo y la temperatura durante los días posteriores a la fertilización (Bundy and Andraski, 2005).

Tabla 1. Rendimiento de maíz asociado con tres pastos y con dos niveles de N. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	Población (Plantas ha ⁻¹)	Rendimiento (kg planta ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
<i>B. decumbens</i>	38.475 a	0.131 a	5.000 b
Mulato	38.061 a	0.138 a	5.243 ab
Toledo	39.384 b	0.147 a	5.836 a
Nitrógeno:			
100 kg ha ⁻¹	38.850 a	0.137 a	5.370 a
200 kg ha ⁻¹	38.431 a	0.140 a	5.350 a
CV (%)	11.9	8.61	12.9

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

Disponibilidad de forraje al iniciar el pastoreo

A los 30 días de hecha la uniformización de las praderas y antes de iniciar el pastoreo definitivo, se realizó una evaluación de disponibilidad de forraje inicial (Tabla 2), encontrándose que esta fue mayor en el pasto Toledo con 2870 kg ha⁻¹ de forraje seco, siendo significativamente superior ($P < 0.05$) al *B. decumbens* y al Mulato, los cuales tuvieron una producción promedio de 2000 kg ha⁻¹. Los tres pastos presentaron una proporción de materia seca de 28% y no se observaron diferencias de producción de forraje con respecto a los niveles de N empleados en el establecimiento de estos pastos con el maíz.

Tabla 2. Disponibilidad de forraje antes de iniciar el pastoreo definitivo en praderas establecidas con la asociación maíz-pastos. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	Forraje verde (kg ha ⁻¹)	Materia seca (%)	Forraje seco (kg ha ⁻¹)
<i>B. decumbens</i>	7240 b	28.8 a	2060 b
Mulato	7130 b	26.9 a	1940 b
Toledo	10210 a	28.2 a	2870 a
Nitrógeno:			
100 kg ha ⁻¹	7.850 a	28.6 a	2230 a
200 kg ha ⁻¹	8.540 a	27.3 a	2350 a
CV (%)	26.7	8.5	24.0

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

Disponibilidad de forraje durante las épocas lluviosa y seca

El pastoreo se inició en el mes de abril de 2005 con las praderas en buenas condiciones, sin embargo la alta precipitación durante los meses de abril, mayo y junio que totalizó 1200 mm,

la humedad relativa de 86% y la temperatura de 26 °C favorecieron la aparición de plagas y enfermedades que afectaron al pasto Mulato y al *B. decumbens*.

Las plantas de Mulato fueron afectadas por la escama *Antonina graminis* cuyo ataque se inició con la aparición de puntos cloróticos y luego necrosis a lo largo de la hoja, los cuales se fueron ampliando hasta cubrir toda el área foliar. En forma simultánea, en aquellas áreas alta con saturación temporal de humedad en el suelo después de la ocurrencia de fuertes lluvias, las plantas de Mulato fueron afectadas por una enfermedad de la raíz cuyo agente causal fue el hongo *Rhizoctonia* sp. eliminando aproximadamente el 30 % de las plantas de pasto Mulato. Por otra parte, las pasturas de *B. decumbens* fueron atacadas por la plaga mión de los pastos (*Aeneolamia* sp) causando necrosis foliar en un 60 % de toda el área de este pasto. A este ataque contribuyó la acumulación de residuos vegetales o liter después de la cosecha del maíz (Tabla 3), que favoreció el desarrollo de las ninfas de esta plaga porque las protegió de los rayos solares y además las condiciones de alta humedad y temperatura permitió el desarrollo de una alta población de la plaga que afectó la disponibilidad de forraje de esta especie susceptible a esta plaga. La acumulación de liter en las praderas de *B. decumbens* y Mulato, fue superior significativamente ($P<0.05$) con 6117 y 5648 kg ha⁻¹ respectivamente, a los 10 meses después de cosechado el grano de maíz. Las praderas del Toledo presentaron una acumulación significativamente inferior de 2797 kg ha⁻¹ de liter.

Tabla 3. Acumulación de liter en las praderas que fueron establecidas con maíz, a los 10 meses después de la cosecha del grano. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	Liter (kg MS ha ⁻¹)
<i>B. decumbens</i>	6117 a
Mulato	5648 ab
Toledo	2797 b
D.M.S	3265
Nitrógeno:	
100 kg ha ⁻¹	5130 a
200 kg ha ⁻¹	4577 a
D.M.S.	2076
C.V. (%)	32.6

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p<0.05$) según la prueba de Tukey

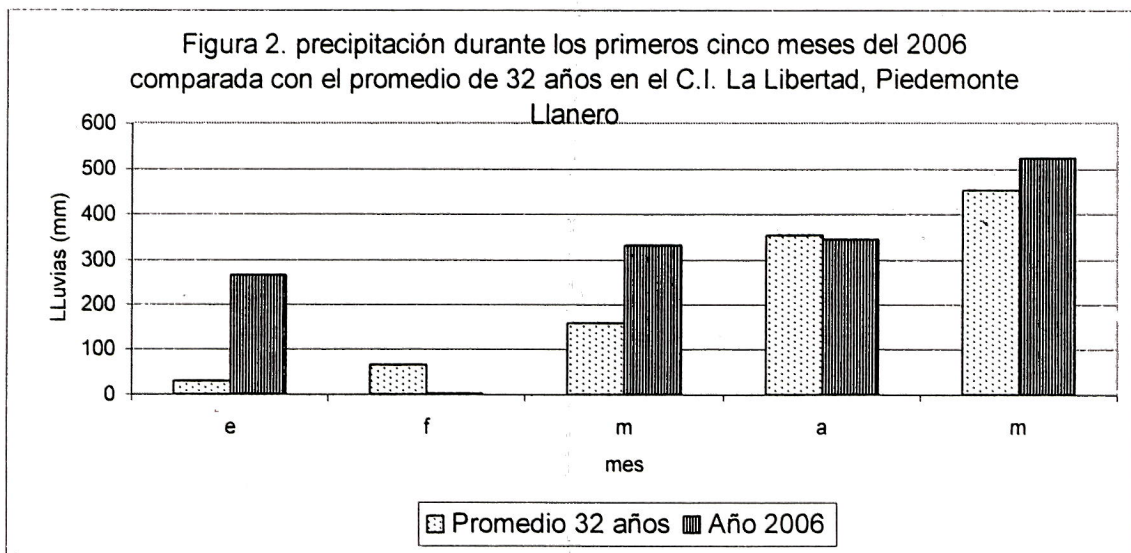
Después de 28 días de descanso de las praderas, se encontró una disponibilidad de forraje en la época lluviosa (mayo a noviembre), de 1294, 1061 y 796 kgMS ha⁻¹ para los pastos Toledo, Mulato y *B. decumbens* respectivamente (Tabla 4), siendo significativamente superior ($P<0.05$) a los valores encontrados en los dos primeros. De igual forma el forraje residual medido al terminar el periodo de ocupación, fue superior en el pasto Toledo (1053 kgMS ha⁻¹) con respecto a los otros pastos. Sin embargo la cobertura del suelo fue mayor en el pasto Mulato y *B. decumbens* con 93 y 91%, respectivamente, mientras que en el pasto Toledo fue de 74%, debido su crecimiento erecto. Durante la época seca (enero a marzo del 2006) la precipitación presentó un comportamiento atípico porque el mes de enero ha tenido

una precipitación promedio de 30 mm en los últimos 32 años, sin embargo, en este año fue de 266 mm (Figura 2) beneficiando al desarrollo de las plantas porque no se vieron afectadas por estrés hídrico, como ocurre normalmente en este periodo. Por consiguiente, en la época seca los pastos presentaron una disponibilidad de forraje promedio de 1040 kgMS ha⁻¹, similar a la de la época lluviosa que fue de 1050 kgMS ha⁻¹ inclusive fue un tanto superior en los pastos Mulato y *B. decumbens*, considerando que estos pastos fueron afectados por plagas y enfermedades en la época lluviosa. El forraje residual evaluado después del pastoreo, fue de un 46% en la época lluviosa y de un 43% en la época seca, del total producido.

Tabla 4. Disponibilidad de forraje y forraje residual en praderas de *B. decumbens*, Mulato y Toledo bajo pastoreo rotacional (14 días de ocupación y 28 días de descanso). C.I. La Libertad, Piedemonte llanero.

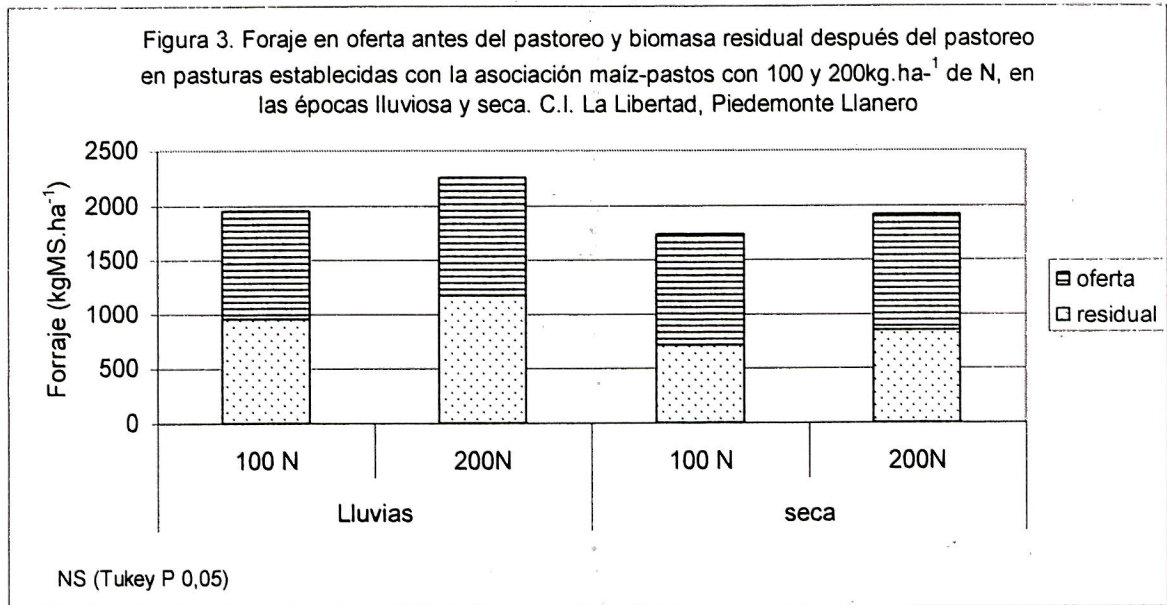
Pasto	Forraje disponible (kgMS ha ⁻¹)		Forraje residual (kgMS ha ⁻¹)	
	Lluvias	seca	Lluvias	seca
<i>B. decumbens</i>	796 b	931 a	883 b	671 b
Mulato	1061 ab	1151 a	765 b	806 a
Toledo	1294 a	1066 a	1053 a	845 a
C.V. (%)	25,5	28,1	22,5	21,9

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey



Las dosis de N de 100 y 200 kg ha⁻¹ aplicadas en el establecimiento de los pastos en asociación con el maíz, no afectaron significativamente la disponibilidad de forraje ni al forraje residual durante las épocas lluviosa y seca (Figura 3). Durante el periodo de lluvias en la dosis de 100 kg de N se obtuvo 1000 y 953 kgMS ha⁻¹ de forraje en oferta y residual respectivamente, en tanto con 200 kg de N fue de 1073 y 1181 kgMS ha⁻¹ en el mismo orden. Durante la época seca, en al dosis de 100 kg de N se obtuvo 1024 y 712 kgMS ha⁻¹ y con 200 kg de N 1065 y 848 kgMS ha⁻¹ de forraje en oferta y residual respectivamente.

Por consiguiente, el forraje en oferta durante la época lluviosa fue de 1037 kgMS ha⁻¹ y en la época seca de 1045 kgMS ha⁻¹, mientras que el forraje residual fue de 1067 y 780 kgMS ha⁻¹ en las épocas lluviosa y seca respectivamente.



Composición botánica de las praderas

A los 120 y 270 días después de la siembra de los pastos con el cultivo de maíz, que coincidió con los meses de agosto del 2005 y enero del 2006, representativos de las épocas lluviosa y seca respectivamente, se encontró que las praderas de *B. decumbens* establecidas con el maíz en una dosis de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N, la disponibilidad de esta gramínea conservó su proporción entre un 81 y 86% y la grama amarga (*Homolepis aturensis*) fue de 13% en la mayoría de todos los casos. El maní forrajero establecido en el tratamiento donde se aplicó 100 kg ha de N, fue de solo 2%.

Tabla 5. Composición botánica (%) de las pasturas de *B. decumbens*, Mulato y Toledo renovadas con la asociación maíz-pastos bajo dos niveles de N, durante las épocas lluviosa y seca. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Especie	Pastura de <i>B. decumbens</i>		Pastura de Mulato		Pastura de Toledo	
	Lluvias	Seca	Lluvias	Seca	Lluvias	Seca
100 kg ha⁻¹ N						
<i>B. decumbens</i>	83	83	24	37	9	5
Mulato			53	43		
Toledo					85	91
Gramina	13	13	10	17	4	2
<i>A. pintoii</i>	2	2	2	2	2	2
200 kg ha⁻¹ N						
<i>B. decumbens</i>	81	86	16	40	9	9
Mulato			64	50		
Toledo					86	89
Gramina	4	13	12	10	5	2

Las praderas de pasto Mulato se caracterizaron por una mayor diversidad de especies, destacándose además del Mulato, la presencia de *B. decumbens*. En los primeros 120 días, se pudo determinar que la proporción del pasto Mulato fue de 53% y 64% en las dosis de 100 y 200 kg de N respectivamente, sin embargo a los 270 días que coincidió con la época seca, el pasto Mulato disminuyó su proporción a 43 y 50% mientras que el *B. decumbens* aumentó a 37 y 40% en las dosis de 100 y 200 kg de N, por consiguiente, la población de pasto Mulato ha disminuido y ha sido reemplazada por el *B. decumbens*, especie que se encontraba originalmente en estas áreas que fueron renovadas. La grama amarga es la otra especie presente con un 10 a 12% en la época lluviosa y un 17 a 10% en la época seca, permaneciendo más estable que los pastos introducidos. El *A. pintoii* solo se presentó en un 2%.

La proporción del pasto Toledo se aumentó de 86% a los 120 días o época lluviosa a un promedio de 90% a los 270 días o época seca, mientras que el *B. decumbens* conservó una proporción del 9% y la grama disminuyó a solo el 2%. El *A. pintoii* en este caso también solo se presentó en un 2% confirmando la baja presencia y disponibilidad de esta leguminosa que fue establecida con material vegetativo cuando la asociación de maíz y pasto tenían una edad de 30 días.

El *A. pintoii* leguminosa sembrada con los tres pastos donde la dosis de N fue de 100 kg ha⁻¹, fue afectada en su establecimiento por la gran cantidad de biomasa que cubrió el suelo después de realizada la cosecha del maíz, a lo cual contribuyó en gran parte, el paso de la combinada que acostó el pasto que se encontraba en alta disponibilidad en el momento de la recolección del grano. Posteriormente el pisoteo ejercido por los 100 animales que hicieron el pastoreo inicial para aprovechar la alta cantidad de forraje, también provocaron acumulación de biomasa sobre las plantas de *A. pintoii* especie que por su crecimiento postrado no pudo competir con las especies de maíz y pasto en sus estados iniciales de establecimiento y por la capa de biomasa que tapó estas plantas durante un periodo prolongado en la fase de pastoreo, las plantas originalmente establecidas desaparecieron en su gran mayoría.

Calidad nutritiva del forraje

La calidad nutritiva de los pastos se evaluó a los seis meses después de iniciado el pastoreo, antes de entrar al periodo de ocupación (14 días) y después de haber completado el periodo de descanso (28 días), mediante muestreos que simulaban la altura de pastoreo de los animales. Se realizó fraccionamiento de la proteína y de los azúcares no estructurales con el fin de determinar la proporción de cada componente en el tejido vegetal. La proteína vegetal, es necesaria como materia prima para la síntesis de carne y/o leche, por lo tanto su disponibilidad en los forrajes determinan la productividad animal.

Los análisis de la proteína cruda y del fraccionamiento de esta proteína no presentaron diferencias significativas entre los tres pastos evaluados ni entre los niveles de N aplicados en su establecimiento en asociación con el maíz, Por lo tanto la discusión de los análisis se hace con base en los promedios obtenidos (Tabla 6). La proteína cruda promedio fue de 8.3% y en N de rápida solubilidad constituido por el N no proteico (PCA) y la PCB1 o proteína celular, totalizó 39,9%. Esta es la proteína que se solubiliza rápidamente en el rumen y puede ser utilizada como fuente de N por las bacterias para la transformación en proteína bacteriana. Los rangos de la composición de proteína soluble en especies forrajeras tropicales con 35 a 42 días de rebrote, están entre 20 y 50% (Fox *et al.*, 2000)

El N asociado a la FDN, corresponde a la proteína ligada a la pared celular (PCB2), estuvo en una proporción de 23% mientras que la proteína de lenta degradabilidad (PCB3) y de degradación en el intestino fue de 32,4%. La proteína que no se degrada (PCC) ni en el rumen ni en el intestino, presento un contenido promedio de 4,4%. Resultados obtenidos en Brasil y México con pastos tropicales reportan un contenido de PCB2 entre 10 y 20%, mientras que los contenidos de PCB3 fluctuaron entre 11 y 55% y de PCC entre 4 y 10% (Fox *et al.*, 2000). Los forrajes evaluados se ubicaron en estos rangos, sin embargo es necesario hacer más estudios para determinar parámetros y rangos mas ajustados a nuestras condiciones. Como en la mayor parte de parámetros evaluados, la fertilización nitrogenada aplicada en el establecimiento de los pastos en asociación con maíz, no afecto la calidad de los pastos al no presentarse diferencias significativas el contenido de las fracciones de proteína.

Tabla 6. Fraccionamiento de proteínas de los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo establecidos con el cultivo de maíz, a los seis meses de pastoreo. C.I. la Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	PC	PCA	PCB1	PCB2	PCB3	PCC
B. decumbens	8,4	21,4	15,9	20,6	37,6	4,4
Mulato	8,6	23,5	15,9	25,6	30,2	4,5
Toledo	7,9	28,2	14,9	23,0	29,1	4,3
Promedio	8,3	24,37	15,57	23,07	32,30	4,40
Nitrógeno:						
100 kg ha ⁻¹	8,3	25,3	15,2	22,8	31,9	4,6
200 kg ha ⁻¹	8,3	23,4	16,0	23,0	33,0	4,2
promedio	8,3	24,35	15,6	22,9	32,45	4,4
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: Diferencias no significativas, (P >0.05) Tukey

En las evaluaciones realizadas se encontró una baja proporción de azúcares solubles de estructura simple, cuyo contenido no alcanzó el 1%, en cambio el contenido de carbohidratos de reserva de estructuras más complejas constituidos por el almidón fue de un 65.2%. Los carbohidratos estructurales que constituyen la pared celular o FDN (celulosa, hemicelulosa, lignina, sílice) a la edad de 28 días de los pastos, fue de 64,8% mientras que la FDA (celulosa y lignina) fue de de 35.4% (Tabla 7)

Tabla 7. Contenido de carbohidratos estructurales y no estructurales en los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo. C.I. La Liberad, Piedemonte llanero.

Pasto	Carbohidratos no estructurales		Carbohidratos estructurales	
	Azúcares solubles	Almidón	FDN	FDA
<i>B. decumbens</i>	0.93	64.7	62.8	34.8
Mulato	0.94	64.6	65.4	35.1
Toledo	0.98	66.4	66.2	36.3
Significancia	ns	ns	ns	ns
Promedio	0.95	65.2	64.8	35.4

ns: Diferencias no significativas, ($P > 0.05$) Tukey

Los elementos P, K, Mg y S, presentaron mayores contenidos ($P < 0.05$) en las hojas de los pastos *B. decumbens* y Mulato. El P fue de 0.22 y 0.24% respectivamente, en tanto el Toledo fue inferior significativamente ($P < 0.05$) en el contenido de este elemento con 0.18%. Los contenidos de K, Mg y S en el *B. decumbens* y el Mulato fueron muy parecidos con un promedio de 1.28, 0.30 y 0.13 respectivamente. El pasto Toledo fue inferior en estos elementos porque en el caso del K fue de 0.9%, del Mg 0.24 y del S 0.09%, Sin embargo estos contenidos cumplen con los requerimientos del ganado de ceba considerando los niveles sugeridos por McDowell *et al.*, 1983. El Ca es el mineral que se encontró en niveles que no llenan los requerimientos de los bovinos de ceba (0.30%), en los pastos *B. decumbens* y Toledo, en cambio el Mulato con 0.37% fue superior a las exigencias de los animales (Tabla 8).

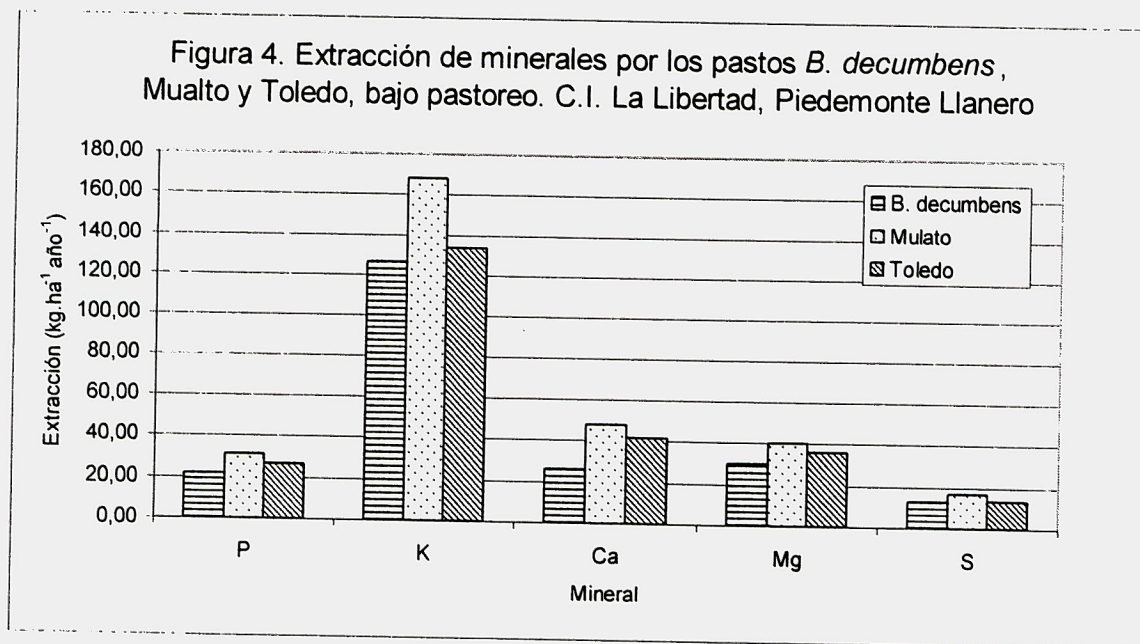
Tabla 8. Contenido de minerales en el forraje de los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo establecidos con el cultivo de maíz, a los seis meses de pastoreo. C.I. la Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	P	K	Ca	Mg	S
<i>B. decumbens</i>	0,22 a	1,27 a	0,26 b	0,30 a	0,13 a
Mulato	0,24 a	1,29 a	0,37 a	0,31 a	0,13 a
Toledo	0,18 b	0,90 b	0,28 b	0,24 b	0,09 b
Nitrógeno:					
100 kg ha ⁻¹	0,21 a	1,1 a	0,29 a	0,26 a	0,12 a
200 kg ha ⁻¹	0,22 a	1,1 a	0,31 a	0,30 a	0,11 a
C.V (%)	10,4	14,1	10,4	15,3	6,5

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

Con una producción de biomasa disponible anual de 9957 kgMS ha⁻¹ de forraje de *B. decumbens*, 13000 kgMS ha⁻¹ de pasto Mulato y 14844 kgMS ha⁻¹ del pasto Toledo, la extracción de minerales realizada por estos pastos se presenta en la Figura 4. El *B. decumbens* se caracterizó por presentar la menor extracción de minerales, lo cual está relacionado con la menor producción de biomasa. Mientras que el pasto Mulato fue el que

mayor cantidad de nutrientes extrajo, aunque no presentó la mayor producción de biomasa. Con respecto al P, la extracción fue de 21.9, 31.2 y 26.7 kg ha⁻¹ en el *B. decumbens*, Mulato y Toledo, respectivamente. El K fue el nutriente mas extraído en los tres pastos con 126, 167 y 133 kg ha⁻¹ en el mismo orden. La extracción de Ca por parte del *B. decumbens* (26 kg ha⁻¹) fue casi la mitad de lo que extrajo en Mulato (48 kg ha⁻¹) mientras que la extracción del Mg por el *B. decumbens*, Mulato y Toledo fue de 30, 40 y 35 kg ha⁻¹, ha respectivamente. El S fue el mineral de menor extracción con 13 kg ha⁻¹ por parte del *B. decumbens* y el Toledo en tanto el Mulato extrajo 17 kg ha⁻¹



Productividad animal

La evaluación productiva de las praderas y su respuesta en la ganancia de peso animal, se desarrollo en un periodo de 12.4 meses, tiempo durante el cual la mayoría de los animales llegaron a un peso superior a los 400 kg. Las ganancias de peso por animal fueron significativamente superiores en los bovinos que pastorearon en las praderas de Mulato y Toledo con 0.482 y 0.454 g an día⁻¹, en tanto las ganancias diarias de peso en el *B. decumbens* fue de 0.438 g an día⁻¹. En los 12.4 meses, el promedio de aumento de peso de cada animal fue de 179.6, 168.8 y 163 kg an⁻¹ para las praderas de Mulato, Toledo y *B. decumbens* respectivamente. (Tabla 9). No se presentó respuesta alguna a los niveles de N aplicados en el establecimiento de los pastos asociados con maíz, sobre las ganancias de peso de los animales.

En la Tabla 10 se resume el comportamiento animal en los seis tratamientos evaluados, en donde se puede apreciar que el peso inicial de los animales estuvo en un rango de 225 a 254 kg an⁻¹ y el peso final alcanzado a los 12.4 meses de pastoreo, fue de 412 en los bovinos que estuvieron en las praderas de Toledo, 452 en los animales que pastorearon en Mulato y 399 en los animales del *B. decumbens*.

Tabla 9. Ganancia de peso animal en praderas establecidas en asociación con maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero.

Pasto	Ganancia de peso animal	
	Kg animal ⁻¹ periodo de ceba ⁻¹	Kg animal ⁻¹ día ⁻¹
<i>B. decumbens</i>	163.0 b	0.438 b
Mulato	179.6 a	0.482 a
Toledo	168.8 ab	0.454 ab
Nitrógeno:		
100 kg ha ⁻¹	170.3 a	0.457 a
200 kg ha ⁻¹	169.2 a	0.454 a
C.V (%)	12.2	12.2

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

La superioridad encontrada en los animales del pasto Mulato se debió al mayor peso inicial y a la mayor ganancia de peso por animal. La carga animal fue superior en el pasto Toledo desde el comienzo hasta el final del pastoreo, ésta inició con un promedio de 2.7 u.a ha⁻¹ (1080 kg de peso vivo por ha) y terminó con 3.44 u.a ha⁻¹ (1376 kg de peso vivo por ha). La carga animal en los pastos Mulato y *B. decumbens* fue similar durante el periodo de pastoreo con un promedio inicial de 1.45 u.a ha⁻¹ (580 kg de peso vivo por ha) y una carga final promedia de 2.37 u.a ha⁻¹ (948 kg de peso vivo por ha). Esta diferencia de carga a favor del pasto Toledo fue la principal razón de la mayor productividad animal obtenida en estas praderas aunque las ganancias por animal fueron similares a las obtenidas con el pasto Mulato. En el periodo de ceba de 12.4 meses, las praderas de pasto Toledo presentaron una producción promedia de carne de 515 kg ha⁻¹ mientras que en el pasto Mulato y en el *B. decumbens* la producción fue de 338 kg ha⁻¹, por lo tanto en el pasto Toledo se obtuvo 177 kg (52%) más de lo obtenido en los otros pastos durante los 12.4 meses de evaluación.

La productividad obtenida en el pasto Toledo alcanzo un promedio de 505 kg ha⁻¹ año⁻¹ mientras que en el pasto Mulato fue de 335 kg ha⁻¹ año⁻¹ y en el *B. decumbens* de 328 kg ha⁻¹ año⁻¹. La productividad regional en las praderas de *B. decumbens* en su mayoría en proceso de degradación con invasión de la grama amarga (*Homolepis aturensis*) ha estado entre 85 y 150 kg ha⁻¹ año⁻¹ por la carga animal que fluctúa entre 0,8 y 1.2 u.a ha⁻¹ y las ganancias de peso entre 300 y 350 g an día⁻¹ (Rincón, 1999, CORPOICA, 2000, CORPOICA, 2001), por consiguiente, con las ganancias de peso obtenidas con el pasto Toledo, la productividad animal se ha aumentado entre 3 y 6 veces y en las praderas de Mulato y *B. decumbens* entre 2 y 4 veces. La productividad de bovinos en los Llanos colombianos tiene características similares a la productividad de los Cerrados Brasileños 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⁻¹ y la productividad animal entre 64 y 145 kg ha⁻¹ año⁻¹. Sin embargo, la integración de la agricultura y la ganadería en varios sistemas evaluados a nivel de productor (Sistema Barrerao y Sistema Santa Fe) han permitido mejorar la productividad de los bovinos de carne a rendimientos que están entre 300 y 517 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Kluthcouski *et al.*, 2003; Kluthcouski y Aidar, 2003)

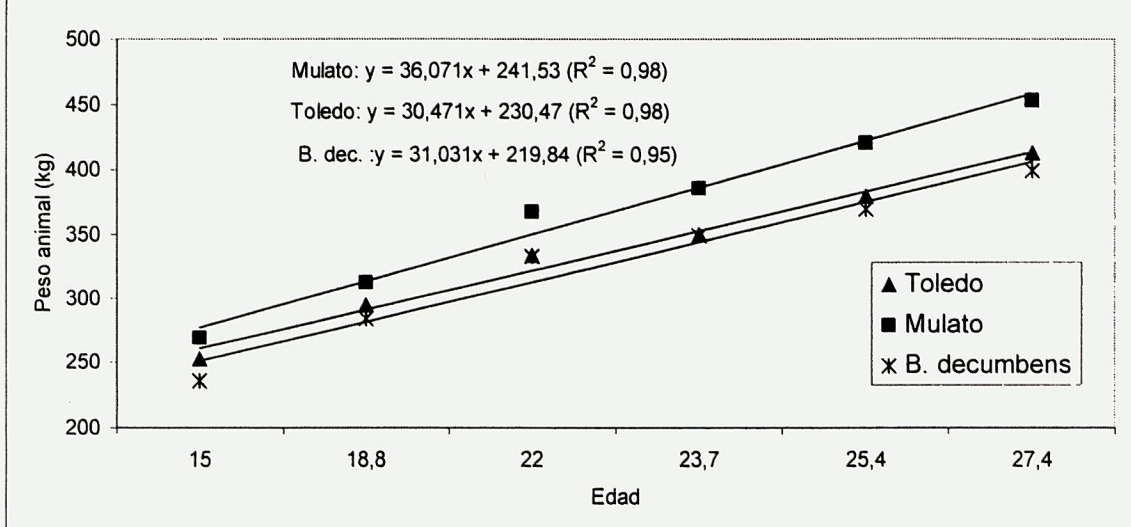
Tabla 10. Producción de carne bovina en praderas establecidas con maíz en el C.I. la Libertad, Piedemonte llanero

Parámetro	Toledo 200N	Toledo 100N	Mulato 200N	Mulato 100N	<i>B. dec.</i> 200N	<i>B. dec.</i> 100N
Peso inicial (kg an ⁻¹)	248,2	254,4	284,3	253,4	246,4	225,4
Peso final (kg an ⁻¹)	412,4	412,5	452,8	452,7	410	388
Carga inicial (u.a ha ⁻¹)	2,69	2,79	1,42	1,48	1,44	1,5
Carga final (u.a ha ⁻¹)	3,44	3,44	2,26	2,26	2,39	2,59
Carga promedio (u.a ha ⁻¹)	3	3,1	1,9	1,9	2	2,1
Periodo de ceba (meses)	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
Producción carne por periodo de ceba (kg an ⁻¹)	173,5	164,2	168,5	190,7	163,6	162,6
Ganancia de peso (g an ⁻¹ día ⁻¹)	0,466	0,441	0,453	0,513	0,440	0,437
Producción carne por periodo de ceba (kg ha ⁻¹)	520,5	509,02	320,15	362,33	327,2	341,46
Producción carne anual (kg ha ⁻¹)	510,7	499,4	314,1	355,5	321,0	335,0

Crecimiento de los bovinos

El desarrollo individual de cada animal se evaluó mediante pesajes durante 372 días (12,4 meses). La edad promedio de los animales que iniciaron el pastoreo fue de 15 meses y permanecieron en el experimento hasta que cumplieron una edad de 27,4 meses (2,28 años), tiempo durante el cual los bovinos que estuvieron en el pasto Mulato llegaron a un peso de 453 kg, los del pasto Toledo a 412 kg y los del *B. decumbens* a 399 kg. Los animales del pasto Mulato a la edad de 2,3 años llegaron aun peso para sacrificio en tanto los del pasto Toledo y el *B. decumbens* requirieron de otros tres y cuatro meses respectivamente, para llegar al peso al sacrificio. En la Figura 5 se representan las curvas de crecimiento de cada grupo de animales en su respectivo pasto, encontrándose una relación lineal positiva entre al edad y la ganancia de peso animal, con un coeficiente de determinación (R^2) superior a 0,95. La ecuación de Pasto Mulato muestra que por cada 2.5 meses (periodo promedio entre los pesajes realizados), los animales ganaron 36 kg, mientras que los animales del pasto Toledo ganaron 30,4 kg y los del *B. decumbens* 31 kg en el mismo periodo.

Figura 5. Crecimiento de bovinos de ceba en praderas establecidas con la asociación maíz-pastos. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero



Beneficios económicos

La renovación de praderas degradadas por medio del cultivo de maíz, trae beneficios económicos al productor, porque se reducen los costos ocasionados para que las praderas vuelvan a ser productivas. El establecimiento de la asociación de maíz – pastos generó un costo de \$2.232.000 y los ingresos obtenidos por la venta de las 4 t de maíz fueron de \$1.920.000, La diferencia entre estos dos valores fue de \$312.000 que viene a ser el costo real de la renovación de la pradera. Cuando la pradera es renovada mediante las practicas donde no se utiliza maíz, los costos son de \$682.000, por consiguiente en al renovación hecha con maíz el productor estaría ahorrando un 55% de los costos de producción.

Los beneficios obtenidos en la producción de carne como respuesta a la disponibilidad de forraje se reflejan en un mayor ingreso obtenido en la pradera renovada con maíz pastos. Por la mayor carga animal en la pradera renovada (3 an ha^{-1}) los costos de manejo animal y costos financieros son mayores, sin embargo, los ingresos obtenidos por la producción de carne, compensan estos costos y queda un ingreso neto de \$972.000 por ha.

Tabla 11. Costos (\$) de la renovación de praderas mediante el cultivo de maíz y bajo el sistema convencional (sin maíz), Piedemonte Llanero.

Insumo/labor	Maíz - pastos	Pastos
Maquinaria en labranza y siembra	385.000	265.000
Fertilizantes	970.000	262.000
Semillas	360.000	120.000
Control de plagas	170.000	
Mano de obra	97.000	10.000
Transporte	100.000	25.000
Cosecha	150.000	
total	2.232.000	682.000

1dolar equivale a \$2400, año 2006

Tabla 12. Costos e ingresos (\$) en la producción de carne bovina en praderas renovadas mediante el cultivo de maíz, y en praderas degradadas del Piedemonte Llanero.

Insumo/labor	Pradera renovada Pasto Toledo	Pradera degradada
Costos fase de pastoreo	405.000	145.000
Sal mineralizada	75.000	25.000
Mano de obra y manejo animal, reparación de cercas.	60.000	30.000
Costo de capital del ganando (18% anual)	270.000	90.000
Ingresos		
Productividad animal (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	510	150
Ingreso bruto (\$2700 kilo en pie)	1.377.000	405.000
Ingreso neto	972.000	260.000

Conclusiones

La renovación de praderas por medio de la asociación maíz – pastos, se constituye en una buena alternativa para ser aplicada por los productores de la región, considerando los beneficios económicos que se obtienen con la producción de grano de maíz y la mayor productividad de carne.

La fertilización con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicada a la asociación maíz pastos en su fase de establecimiento, no presentó diferencias en producción de grano de maíz, producción de forraje y producción de carne. Al parecer a niveles altos de N aplicados, favorecen las pérdidas por volatilización o lixiviación, por las condiciones de alta humedad y temperatura, propias de esta región.

Agradecimientos

Se presenta especial agradecimiento a COLCIENCIAS por la financiación del trabajo de investigación en el marco del proyecto "Potencial productivo y aspectos fisiológicos de los pastos tropicales bajo condiciones de manejo intensivo, como alternativa para recuperar praderas en suelos ácidos del piedemonte Llanero.

Bibliografía

- Argel, P., Hidalgo, C. y Lobo Di Palma. M. 2000. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) Gramínea de crecimiento vigoroso con amplio rango de adaptación a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo. Consorcio tropileche, Costa Rica. Boletín técnico, San José de Costa Rica. 15p.
- Bundy, L.G. and Andraski, T.W. 2005. Recovery of fertilizer nitrogen in crop residues and cover crops on an irrigated sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 69:141-147.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1986. Programa de pastos Tropicales, informe anual. Cali, Colombia.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Programa de pastos Tropicales, informe anual. Cali, Colombia.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1988. Programa de pastos Tropicales, informe anual. Cali, Colombia.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2003. Informe anual 2002. Proyecto gramíneas y leguminosas tropicales Cali, Colombia.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), 2000. Informe anual de actividades, investigación pecuaria del año 2000 C.I. La Libertad, Villavicencio Meta.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), 2003. Informe anual de actividades, investigación Agrícola del año 2003 C.I. La Libertad, Villavicencio Meta.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), 2002. Informe anual de actividades, investigación pecuaria del año 2002 C.I. La Libertad, Villavicencio Meta.
- DANE- Proyecto SISAC, 2001. Encuesta Nacional Agropecuaria 2000.
- Federación de ganaderos de Colombia FEDEGAN. 2003. Datos estadísticos, oficina de planeación. www.fedegan.org.co.
- Kerridge, P. 2001. A 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. Ed. T.Kanno and M.C. Macedo. Jircas Working Report No. 19. 104p.
- 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. t Balbino L.C. 1999. Sistema barreirao: Recuperacion, renovación de pasturas degradadas utilizando cultivos anuales. En: Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina.

- Guimaraes, E., Sanz, J.I., Rao, Y., Amezquita, M. C. y Amezquita, E.(eds). CIAT-EMBRAPA.Cali, Colombia. pp.195-231.
- Kluthcouski, J. y Aidar H. 2003. Implantacao, conducto e resultados obtidos com o sistema Santa Fé.. En: Integracao Lavoura – Pecuaria. EMBRAPA, Arroz e Feijao. Ed. Kluthcouski, J., Stone, L.F y Aidar, H. San Antonio de Goias, Brasil. pp.409 -441
- Kluthcouski, J., Stone, L.F y Aidar H. 2003. Integracao Lavoura – Pecuaria. EMBRAPA, Arroz e Feijao. San Antonio de Goias, Brtasil. 570p.
- Lascano, C., Pérez, R., Plazas, C., Medrano, J., Pérez, O y Argel, P.J. 2002. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería Colombiana. CIAT, CORPOICA, MINAGRICULTURA. Villavicencio, Colombia. 18p.
- Martínez, C.H. 2002. Tendencias de la producción y consumo de carnes en el mundo y en Colombia (1961 – 2001). Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Bogotá Colombia. 59p
- Martínez, C.H. y Acevedo, G.X. 2002. Productividad y competitividad de la carne de bovinos en Colombia. Documento de trabajo No. 20. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Bogotá Colombia. 23p.
- Menezes, J. y Silveira, C.G. 2004. Caracterizacao do Grau de degradacao de pastagens. En: Fertilidade do solo para Pastagens productivas. Anais do 21° simposio sobre anejo da pastagens Ed. Silveira C. G. Moura, C. y Pedroso de Faria V. Fundación de estudios Agrarios Luis de Queiroz, FEALQ. Piracicaba, Brasil. pp. 7- 32.
- Miles, J.W. y do Valle, C.B. 1998. Manipulación de la apomixis en el mejoramiento de *Brachiaria*. En: *Brachiaria*: biología, agronomía y mejoramiento. Ed. J.W. Miles, B.L. Maass y C.B. do Valle. CIAT, CNPGC/EMBRAPA. Cali, Colombia; Campo Grande Brasil. pp. 181 – 195.
- Miles, J. W., Do Valle, C.B., Rao, I.M., Euclides, V.P.B. 2004. Brachiariagrasses. Warm season (C4) Grasses, Agronomy, Monograph n° 45. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. U.S.A. pp. 745-783.
- Pardo, O., Rincón, A. y Hess, D. 1999. Alternativas forrajeras para los llanos Orientales de Colombia. Boletín técnico No. 18 CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Meta.55p.
- Pérez, R. y Cuesta P. 1994. Especies forrajeras para el Piedemonte Llanero, su fertilización y manejo. Producción de pastos en el Piedemonte Llanero. Corpoica-Seagro. Villavicencio, Meta, Colombia. 35p
- Pérez, R., Rincón, A., Bueno, G., Vargas, O. Y Cuesta, P. 2000. Alternativas de establecimiento de praderas. Innovación y cambio tecnológico. 1(2):56-61.
- Pérez R.A. y Lascano C.E., 1992. Potencial de producción animal de asociaciones de gramíneas y leguminosas promisorias en el Piedemonte de la Orinoquía Colombiana En. Pizarro E.A (ed.), 1ª. Reunión sabanas de la Red Internacional de Evaluación de

Pastos Tropicales (RIEPT), 23-26 de Noviembre de 1992, Brasilia, Brasil: Resúmenes de trabajos. Documento de trabajo No. 117. CPAC/EMBRAPA y CIAT, Cali, Colombia, pp. 585-589.

- Pizarro, E., Rincón, A. 1995. Experiencia Regional con Arachis Forrajero en América del Sur. En: Kerridge, P. Biología y Agronomía de Especies Forrajeras de Arachis. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. pp.155-169
- Plazas, C.H. 2006. Experiencias en el establecimiento de Brachiaria híbrido cv Mulato CIAT 36061 como alternativa para rehabilitar pasturas degradadas. Pasturas Tropicales. 28(1):9-15.
- Rincón, A. 1999. Degradación y recuperación de praderas en los Llanos orientales de Colombia. Boletín técnico No. 19. CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Meta. 48p.
- 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, FEDEGAN, COLCIENCIAS, MINAGRICULTURA. 76p
- Rincón, A.C. 2004. Rehabilitación de pasturas y producción animal en Brachiaria decumbens en la Altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia. Pasturas Tropicales. 26(3):2-12.
- Rippstein, G., Amezcuita, E., Escobar, G., Grollier, C. 2001. Condiciones naturales de la sabana. En: Agroecología y Biodiversidad del las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia. Eds. G. Rippstein, G. Escobar, F. Motta. CIAT -CIRAD..., Cali Colombia. pp.1-23.
- Sanz, J.I., Zeigler, R.S., Sarkarung, S. Molina, D.L. y 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. Guimaraes, e. Sanz, J.I., Rao, Y., Amezcuita, M. C. y Amezcuita, E.(eds). CIAT-EMBRAPA.Cali, Colombia. pp.232-244.
- Valencia, R., Pardo, O., Rincón, A., Bueno G. 2006. Corpoica Taluma 5, Variedad de soya para sistemas de producción de la Orinoquia Colombiana. Boletín técnico No. 48. CORPOICA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Coagro. Villavicencio, Meta, Colombia. 32p.
- Vilela, L., Macedo M.C., Martha Júnior, G.B., Kluthcouski. 2003. Benefícios da integração Lavoura-Pecuária. En: Integração Lavoura – Pecuária. EMBRAPA, Arroz e Feijão. Ed. Kluthcouski, J., Stone, L.F y Aidar, H. San Antonio de Goias, Brasil. pp.145 – 170.

Efecto del nitrógeno en la renovación de praderas de *Brachiaria decumbens* por medio de la asociación maíz – pastos en el Piedemonte Llanero Colombiano.

Resumen

En el Piedemonte Llanero, se estableció la asociación de maíz con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo como medio para renovar una pradera degradada. Se evaluó el efecto del N con 100 y 200 kg ha⁻¹ aplicados al maíz a los 15 y 35 días después de la siembra. La disponibilidad de N en el suelo se determinó con el contenido de nitratos y amonio, el contenido de N en la planta se determinó mediante el análisis de N foliar total y el contenido de clorofila fue medido con un clorofilometro Minolta® SPAD 502. El N disponible en el suelo en forma de nitrato permaneció en cantidades de 42 y 43 kg ha⁻¹ de N a los 15 y 35 dds respectivamente, coincidiendo con la fertilización nitrogenada aplicada al maíz, pero a los 60 días disminuyó a 11.9 kg ha⁻¹ de N. El N disponible en forma de amonio fue de 82, 84 y 72 kg ha⁻¹ a los 15, 35 y 60 dds respectivamente. Al inicio de la floración, el N foliar en el maíz asociado con *B. decumbens* y con el pasto Toledo fue de 2.9 y 2.83% respectivamente, mientras que en la asociación con pasto Mulato fue de 2.66%. El N foliar en los pastos Mulato y Toledo fue de 3.31 y 3.20% respectivamente. En la fase de llenado de grano, el N foliar en el maíz no presentó diferencias significativas al estar asociado con los tres pastos, obteniéndose un promedio de 2.59%. Los tratamientos con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados al maíz, no afectaron el contenido de N en las hojas de maíz y pasto, tanto en el momento de la floración como en el llenado del grano. El contenido de clorofila medido en grados SPAD en las hojas de maíz no presentó diferencias significativas en las asociaciones del maíz con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, cuyos valores promedios fueron de 50.4 y 50.8 unidades SPAD a los 35 y 60 días respectivamente. Los rendimientos de maíz no se afectaron por los dos niveles de N utilizados.

Palabras claves: Nitrógeno, asociación cultivos-pastos, maíz, pastos, nitrato, amonio, SPAD.

Abstract

In the Piedmont of the Oriental plains of Colombia, the association of corn with the grasses *B. decumbens*, Mulato and Toledo was established, to renovate degraded pasture. The effect of the N was evaluated with 100 and 200 kg ha⁻¹ applied to the corn to the 15 and 35 days after the sowing (d.a.s). The availability of N in the soil was determined with the content of nitrates and ammonium, the content of N in the plant was determined by means of the analysis of N to leaf total and the chlorophyll content was measured with a clorofilometro Minolta® SPAD 502. The available N in the soil in nitrate form remained in 42 and 43 kg ha⁻¹ of N to the 15 and 35 d.a.s respectively, coinciding with the fertilization of N applied to the corn, but to the 60 days it reducing to 11.9 kg ha⁻¹ of N. The available N in ammonium form was of 82, 84 and 72 kg ha⁻¹ to the 15, 35 and 60 d.a.s respectively. To the beginning of the flowering, the N leaf in the corn associated with *B. decumbens* and with the grass Toledo was respectively of 2.9 and 2.83%, while in the association with grass Mulato was of 2.66%. The N leaf in the grasses Mulato and Toledo was respectively of 3.31 and 3.20%. In the phase of filled grain of corn, the N leaf in the corn didn't present significant differences when being associated with the three grasses, being obtained an average of 2.59%. The treatments with 100 and 200 kg ha⁻¹ of N applied to the corn, they didn't affect the content of N in the leaves of corn and grass, so much in the moment of the flowering like in the one filled of the grain. The chlorophyll

content measured in grades SPAD in the leaves of corn didn't present significant differences in the associations of the corn with the grasses *B. decumbens*, Mulato and Toledo whose you value averages they were of 50.4 and 50.8 units SPAD to the 35 and 60 days respectively. The yields of corn were not affected by the two levels of N utilized.

Keywords: Nitrogen, association crop-pasture, corn, grasses, nitrate, ammonium, SPAD.

Introducción

El nitrógeno (N) es necesario en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas, hormonas, clorofila y otros compuestos esenciales en el desarrollo de las plantas. Su presencia en la composición del tejido vivo es pequeña comparada con el carbono, hidrogeno y oxigeno, elementos que pueden ser fácilmente adquiridos a partir de sus reservas naturales, en cambio el N, aunque se encuentra en la atmósfera en un 78%, solo una pequeña fracción de este nutriente se encuentra disponible para ser absorbido por las plantas y animales (Orozco, 1999). De los nutrientes considerados esenciales para el desarrollo de las plantas, el N es el que promueve los mayores aumentos de producción de materia seca. La respuesta de las plantas a la fertilización con N es bastante variada, por consiguiente, el conocimiento de aspectos metabólicos y fisiológicos de las plantas puede contribuir a un mejor entendimiento del papel del N como activador y regulador del crecimiento y consecuentemente de su efecto sobre la producción y calidad del forraje (Menezes, 2004).

El N es el nutriente más importante en los forrajes tropicales para la alimentación de rumiantes, por la respuesta en producción de biomasa y en el contenido de proteína, factores importantes que determinan los rendimientos de carne y/o leche. Los suelos de los Llanos Colombianos, entre una de sus limitantes en fertilidad, es el bajo contenido de materia orgánica, fuente de N para la producción de pastos en esta región. En 170 análisis de suelos realizados en fincas del Piedemonte llanero se ha encontrado que en 120 de estos análisis (70%), el contenido de materia orgánica estuvo en un rango de 1,2 a 2,7% en tanto, en solo 7 análisis este valor alcanzó a 3,7%. Esta deficiencia en materia orgánica es más evidente en suelos de la Altillanura que han sufrido un mayor proceso de meteorización y de lavado de nutrientes (Mejia, 1996; Botero y López, 1982).

La consecuencia del bajo aporte de N por los suelos de los Llanos, es el desarrollo de pastos con escaso vigor, manifestado por la baja capacidad de rebrote, color amarillo de las hojas, alta susceptibilidad al ataque de plagas, aspectos que se traducen en una degradación de praderas manifestada con la invasión de otras especies de bajo valor forrajero y pérdida de la productividad animal en mas de un 70% (Martha Júnior *et al.*, 2004; Rincon, 1999; Rincón *et al.*, 2002). Para resolver esta problemática se han desarrollado tecnologías para que estas praderas vuelvan a ser productivas, donde la integración de pastos con cultivos se constituye en una alternativa de alta viabilidad en la explotación ganadera (Vilela *et al.*, 2003; Sans *et al.*, 1999; Rincón, 1993).

Los elevados requerimientos de N que tiene el cultivo de maíz y el impacto sobre el rendimiento, hace necesario un adecuado diagnóstico de su disponibilidad en el suelo. La determinación de la cantidad y momento de aplicación del fertilizante, deben buscar mayor eficiencia (cantidad de grano producido por unidad de nutriente aplicado) y mayor beneficio económico, principalmente en los actuales momentos, que exigen alta productividad con tecnologías de bajo costo. (Mengel y Barber, 1974; Varvel *et al.*, 1997).

El uso eficiente de N requiere de la detección previa de su deficiencia y del potencial de respuesta económica a la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Attanandana y Yost, 2003). El maíz necesita alrededor de 20 a 25 kg ha⁻¹ de N por cada tonelada de grano producida (Sánchez, 1976). En tanto, la eficiencia de conversión del N del fertilizante en forraje de gramíneas forrajeras tropicales puede alcanzar valores promedios de 26 kgMS

ha⁻¹ por kg de N aplicado. Las mayores eficiencias se han obtenido con dosis de 150 kg ha⁻¹ de N. La respuesta en producción de forraje a la fertilización con N depende de la especie forrajera, de los niveles de otros nutrientes en el suelo, del manejo del pastoreo y de las características de clima y suelo de la región (Martha Júnior *et al.*, 2004)

El N se encuentra en los suelos principalmente en forma nítrica (NO₃) y en forma amoniacal (NH₄). Ambas formas pueden ser absorbidas por las plantas en proporciones dependientes de la especie, estado de desarrollo, disponibilidad de carbohidratos, pH del suelo y factores ambientales (Deane y Glass, 1983). El nitrato absorbido en general es translocado por el xilema hacia la parte aérea donde puede ser almacenado o reducido, sin embargo, en algunas especies es reducido en el sistema radicular (Oaks, 1982; Andrade *et al.*, 2001). Por otra parte, altos niveles de amonio en la planta, son tóxicos y provocan daño a la membrana celular, por este motivo todo el amonio absorbido o generado es rápidamente asimilado o almacenado en la vacuola de la célula (Taiz y Zeiger, 2002 citado por Menezes, 2004; Orozco, 1999).

Cramer y Lewis (1993) demostraron que los cultivos usan cantidades apreciables de amonio, si este está presente en el suelo. Ciertos híbridos de maíz tienen un alto requerimiento de amonio y la absorción en esta forma del N ayuda a incrementar el rendimiento de grano. Salinas (1985) evaluó el desarrollo de los pastos *B. humidicola*, *B. dictyoneura* y *B. decumbens*, utilizando fertilización nitrogenada en forma de nitrato y amonio. Las tres especies presentaron un mayor desarrollo cuando la forma de N fue nitrato, sin embargo, al suministrar N como amonio, el crecimiento de *B. humidicola* no se inhibió como si sucedió en el *B. decumbens* y en el *B. dictyoneura*. Castilla y Jackson (1991) citados por Rao *et al* (1998), comprobaron que el pasto *B. brizatha* cv Marandú puede tomar solo pequeñas cantidades de N-NH₄, en cambio *B. humidicola* pudo absorber ambas formas de N. Esta característica en especies de *Brachiaria* es uno de los atributos que tienen para su adaptación a suelos de baja fertilidad (Miles *et al.*, 2004).

Para conocer el contenido de N en el suelo y en la planta, existen metodologías que determinan nitrato y N total, respectivamente. También se puede determinar índice de verdor que esta directamente relacionado con el contenido de clorofila en las hojas de la planta, mediante el medidor de clorofila Minolta® SPAD 502 (Soil PLant Análisis Development). Este instrumento permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja por medio de la luz transmitida a través de la hoja en 650 nm y 940 nm. Su utilización ha dado resultados satisfactorios en cuanto a la evaluación del estado nutricional de N en varios cultivos (Sainz y Echeverría, 1998, Zoratelli *et al.*, 2003, Caires *et al.*, 2005).

Teniendo en cuenta la importancia que tiene el N en el establecimiento de la asociación Maíz – pastos, y su efecto en la producción de grano de maíz y la biomasa y calidad de los forrajes, se evaluaron dos niveles de N utilizando como fuente la urea, para determinar los contenidos de este nutriente en el suelo, en las hojas de las plantas y su incidencia en el rendimiento de grano de maíz, bajo condiciones del Piedemonte llanero Colombiano.

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló entre Agosto y diciembre del 2004 en un Oxisol de terraza media del Centro de Investigaciones Corpoica La Libertad, ubicado en el municipio de Villavicencio (Meta, Colombia) a 9° 6' de latitud norte y 73° 34' de longitud oeste, a 330 m.s.n.m., la precipitación anual promedio de los últimos 30 años ha sido de 2900 mm, el promedio de temperatura es de 26 °C y una humedad relativa de 85% en la época lluviosa y 65% en la época seca. Los suelos son muy ácidos (Tabla 1) con una saturación de aluminio de 71,7% mientras que la saturación de bases fue 24,7%. Los nutrientes mas deficientes fueron fósforo, calcio y magnesio.

Tabla 1. Características químicas del suelo de la terraza media del Centro de investigaciones (C.I.) La Libertad, CORPOICA. Piedemonte llanero.

Parámetro	Valor
pH	4.4
M.O (%)	2.4
P (ppm)	1.0
Ca (me/100 gr)	0.37
Mg (me/100 gr)	0.11
K (me/100 gr)	0.10
Na (me/100 gr)	0.26
Al (me/100 gr)	2.1
Fe (ppm)	126
B (ppm)	0.15
Cu (ppm)	0.8
Zn (ppm)	0.5
CIC efectiva	3.44
Saturación de bases (%)	24.7
Saturación de aluminio (%)	71.7
Saturación de calcio (%)	12.5
Saturación de magnesio (%)	3.7
Saturación de potasio (%)	3.36

En una pradera degradada se estableció en forma simultanea, el cultivo de maíz híbrido "Master" en asociación con los pastos híbrido de *Brachiaria* cv "Mulato", *Brachiaria brizantha* cv "Toledo", y *Brachiaria decumbens*. El maíz "master" es un híbrido de alta producción de grano amarillo, en condiciones de los Llanos Colombianos, y una de sus principales características es su resistencia al volcamiento por los tallos gruesos y fuertes. Los pastos Mulato y Toledo son materiales de alta producción y calidad nutritiva que se adaptan a suelos de mejor fertilidad, en tanto el *B. decumbens* es una gramínea con buena adaptación a suelos ácidos y de mayor difusión en la Orinoquia Colombiana.

La renovación de la pradera con la asociación maíz-pastos, se hizo por el mejoramiento de la fertilidad de los suelos debido a las enmiendas y fertilizantes aplicados al maíz, que posibilita la introducción de especies forrajeras de alto potencial productivo para sistemas intensivos de producción animal y por el beneficio económico que se obtiene con el grano de maíz producido, en la reducción de los costos ocasionados en la renovación de praderas.

Para determinar el efecto del N en el desarrollo y producción de grano de maíz y biomasa de pasto, se evaluaron las dosis de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados en forma fraccionada al surco del maíz, a los 15 y 35 días después de la siembra de la asociación.

Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, con la siguiente asignación:

Parcela principal: Gramínea forrajera (área de 3 ha)

Subparcela: niveles de nitrógeno (área de 1 ha)

Numero total de unidades experimentales: 18 (3 pastos x 2 niveles de nitrógeno x 3 repeticiones).

Tratamientos

El cultivo de maíz se estableció en asocio con los pastos y con dos niveles de N, bajo los siguientes tratamientos:

Maíz en asocio con el híbrido de *Brachiaria* cv Mulato + 100 kg de N

Maíz en asocio con el híbrido de *Brachiaria* cv Mulato +200 kg de N

Maíz en asocio con el *Brachiaria brizantha* cv Toledo + 100 kg de N

Maíz en asocio con el *Brachiaria brizantha* cv Toledo + 200 kg de N

Maíz en asocio con el *Brachiaria decumbens* + 100 kg de N

Maíz en asocio con el *Brachiaria decumbens* + 200 kg de N

Establecimiento del experimento

La labranza se inició con un pase de rastra con el fin de reducir la cobertura de pasto y brindar mejores condiciones para la acción del cincel rígido, que trabajó a una profundidad entre 20 y 25 cm. Posteriormente se aplicó, una mezcla de cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola por medio de una encaladora y luego se incorporó con un pase de rastra.

Las enmiendas y fertilizantes aplicados se realizaron teniendo en cuenta los resultados del análisis químico de los suelos y las exigencias nutricionales del maíz en suelos ácidos. La cal dolomítica, la roca fosfórica y el yeso agrícola se usaron como enmienda, para reducir la saturación de aluminio y para corregir las deficiencias de calcio, fósforo, magnesio y azufre de estos suelos; además por tratarse de fertilizantes de lenta solubilidad que posteriormente beneficiaría a los pastos. Estos tres insumos fueron mezclados y aplicados 45 días antes de la siembra, para mejorar la saturación de bases para un buen desarrollo del maíz. La aplicación de la roca fosfórica obedeció a la alta deficiencia de fósforo y a la necesidad de tener una reserva en el suelo para aprovechamiento posterior por parte de los pastos, ya que por su lenta solubilidad, el P no estaría disponible para suplir las necesidades del cultivo de maíz, para lo cual se aplicó fosfato diamónico (DAP), fertilizante con P de rápida disponibilidad.

La fertilización que se aplicó a la asociación maíz-pastos fue la siguiente:

1500 kg ha⁻¹ de cal dolomítica (399 kg de Ca, 88,5 kg de Mg)

400 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (50 kg de P, 99,6 kg de Ca)

300 kg ha⁻¹ de yeso agrícola (55 kg de Ca, 44,4 kg de S)

150 kg ha⁻¹ fosfato diamónico (29 kg de P, 27 kg de N)

150 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (75 kg de K)

20 kg ha⁻¹ de Borozinco (3000 g de Zn, 100 g de Cu, 500 g de B y 1200 g de S).

De acuerdo a estas cantidades de insumos, la dosis por hectárea fue de 555 kg de Ca, 88 kg de Mg, 79 kg de P, 75 kg de K y 44 de S.

La única fuente de variación en fertilidad fue el nivel de nitrógeno aplicado (100 y 200 kg de N ha⁻¹). La fertilización nitrogenada se aplicó en forma fraccionada a los 15 y 35 días después de la siembra, en partes iguales. En el momento de la siembra se aplicó a todos los tratamientos 27 kg ha⁻¹ de N contenidos en los 150 kg ha⁻¹ de DAP aplicados.

El maíz se estableció con una densidad de siembra de 22 kg ha⁻¹ en surcos separados a 80 cm con 5 a 6 plantas por metro lineal, con una maquina sembradora-abonadora, la cual depositó la semilla a una profundidad promedio de 3 cm y el fertilizante de establecimiento (fósforo + potasio + zinc) en el mismo surco del maíz, a una profundidad promedio de 5 cm. Las gramíneas forrajeras se sembraron inmediatamente después de realizada la siembra del maíz, con otra sembradora en surcos separados a 50 cm con una densidad de siembra de 4 kg ha⁻¹, en sentido perpendicular a la siembra del maíz.

Evaluaciones

Las evaluaciones se realizaron para determinar el contenido de N en el suelo y en las plantas, coincidiendo con estados importantes en el desarrollo cultivo de maíz como es la floración y el llenado de grano a los 35 y 60 días después de la siembra respectivamente, mediante tres formas:

1. Contenido de nitratos y amonio en el suelo a los 15, 35 y 60 días después de la siembra de la asociación maíz –pastos, por el método de AOAC, 1995, mediante muestreos de suelo a una profundidad de 20 cm
2. N total en hojas de maíz y pasto a los 35 y 60 días después de la siembra determinado mediante Micro-kjeldahl. Se muestrearon hojas de maíz y del pasto del tercio medio de la planta y luego se sometieron a una temperatura de 70°C durante 72 horas en un horno para extraerles el agua.
3. Contenido de clorofila o índice de verdor en las hojas en el momento de floración del maíz, a los 35 días después de la siembra, por medio del medidor de clorofila Minolta® SPAD 502 (Soil Plant Analysis Development).

La información obtenida fue analizada mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). Los resultados se sometieron a análisis de varianza para determinar la significancia y la comparación de medias se determinó mediante la prueba de comparación de Tukey. Los coeficientes de determinación y regresión se calcularon mediante el programa Excel.

Resultados y discusión

Contenido de nitratos y amonio en el suelo

Antes de iniciar la labranza se midió el contenido de nitratos en el suelo, encontrándose un valor promedio de 0.10 mg Kg⁻¹ (0.05 Kg ha⁻¹ de N), mientras que el N en forma de amonio fue de 7.5 mg Kg⁻¹ (11.6 Kg ha⁻¹ de N). Esta deficiencia de N en el suelo, contribuyó a la clorosis y escaso vigor del pasto *B. decumbens* que se encontraba antes de iniciar los tratamientos. Después de realizada la labranza y antes de la siembra, se determinó el contenido de amonio y nitratos en el suelo, obteniéndose valores de 46.6 mg kg⁻¹ (72.5 Kg ha⁻¹ de N) y 74.6 mg kg⁻¹ (33.6 Kg ha⁻¹ de N) respectivamente, obteniéndose un aumento de N disponible, con la labranza del suelo, favoreciendo la descomposición de la materia orgánica (Kluthcouski y Stone, 2003; Ayarza y Spain, 1988).

En las evaluaciones realizadas a los 15 días después de la siembra (dds), cuando ya se había hecho la primera fertilización con urea al maíz, el contenido de nitratos en el suelo fue de 90, 93 y 95 mg kg⁻¹ en los tratamientos de maíz asociado con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo respectivamente, siguiendo este mismo orden, el contenido de amonio fue de 55, 53 y 51 mg kg⁻¹ sin existir diferencias significativas ($p>0.05$) entre los contenidos de las dos formas de N inorgánico en el suelo (Tabla 2). A los 35 dds, después la segunda fertilización con urea, los contenidos de nitrato y amonio en el suelo tampoco presentaron diferencias significativas entre las asociaciones con los tres pastos, conservando la misma tendencia obtenida a los 15 dds con contenidos promedios de 96.4 mg kg⁻¹ y 54.9 mg kg⁻¹ de nitrato y de amonio respectivamente.

A los 60 dds cuando el cultivo de maíz se encontraba en llenado de grano, el contenido de nitratos en el suelo fue de 18.7 mg kg⁻¹ en la asociación con *B. decumbens*, 28 mg kg⁻¹ en la asociación con pasto Mulato y 32.7 mg kg⁻¹ en la asociación con pasto Toledo, como se puede ver los contenidos variaron, pero las diferencias no fueron significativas ($p>0.05$), y el promedio fue de 26.4 mg kg⁻¹ de nitrato. El contenido de amonio a los 60 dds tampoco fue diferente significativamente ($p>0.05$) entre las tres asociaciones, obteniéndose un promedio de 46.6 mg kg⁻¹.

Los tratamientos de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados, no afectaron significativamente ($p>0.05$) al N disponible en el suelo, en las tres épocas que fue evaluado.

Tabla 2. Contenido de nitrato y amonio en el suelo establecido con la asociación de maíz con tres pastos y con dos niveles de N. C.I. la Libertad, Piedemonte Llanero

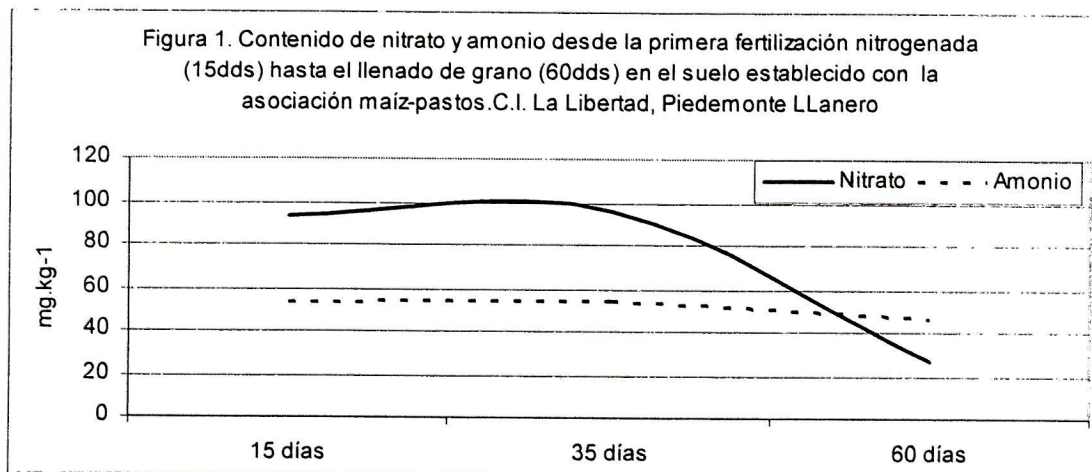
Maíz asociado con los pastos:	Nitrato (mg kg ⁻¹)			Amonio (mg kg ⁻¹)		
	15 dds ¹	35 dds	60 dds	15 dds	35 dds	60 dds
<i>B. decumbens</i>	90.1	93.3	18.7	55.2	60.7	42.0
Mulato	93.4	93.3	28.0	53.3	52.3	51.3
Toledo	95.3	102.7	32.7	51.3	51.7	46.7
Promedio	92.9	96,4	26,5	53,3	54,9	46,7
Nitrógeno:						
100 kg ha ⁻¹	79.5	99.5	28.6	46.6	46.7	43.5
200 kg ha ⁻¹	93.4	93.3	24.9	62.1	62.2	49.8
Promedio	86,5	96,4	26,8	54,4	54,5	46,7
CV (%)	28,2	19,3	26,4	42,3	46,2	27,2
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ dds= días después de la siembra

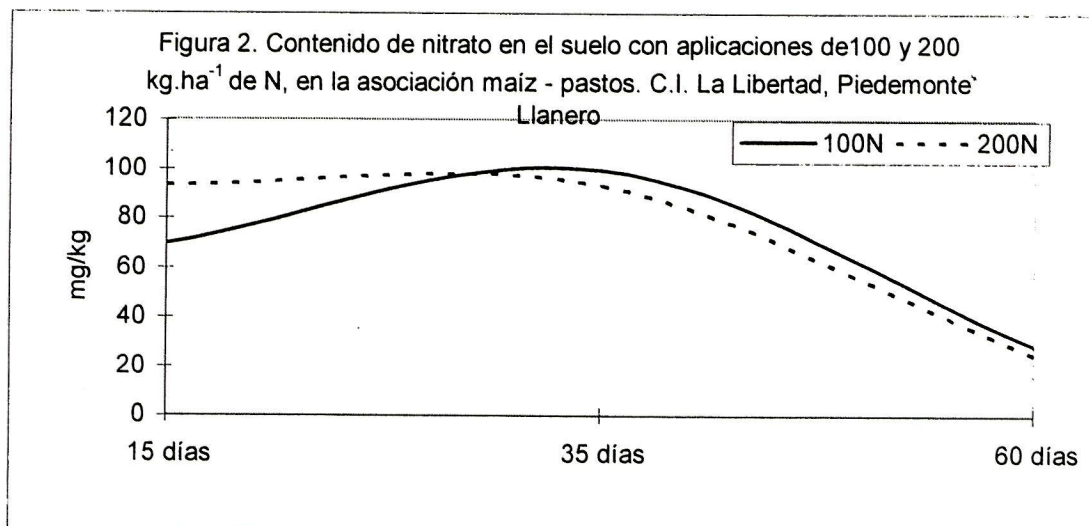
El cultivo dispuso en promedio de 92.9 mg kg⁻¹ de NO₃ a la edad de 15 días cuando el maíz se encontraba en buen desarrollo vegetativo y de 96.4 mg kg⁻¹ a los 35 días época en la cual se inició la floración, coincidiendo con la fertilización nitrogenada fraccionada en estas dos épocas. Sin embargo, los valores de NO₃ en el suelo descendieron hasta 26.5 mg kg⁻¹ a los 60 días (Figura 1), coincidiendo con el inicio del llenado de grano y de alta demanda de N para lograr una buena cosecha. No obstante, la cantidad de N que se mueve desde los tejidos vegetativos hasta la mazorca durante el proceso de llenado, varía considerablemente, habiéndose informado de un rango de 20 a 60% del N total del grano derivado de la absorción por las raíces, antes de la antesis y depositado en el tallo para luego movilizarse hacia la mazorca. La cantidad de N movilizado depende del cultivar, de la cantidad y del momento de la aplicación del N como fertilizante (Lafitte, 2002; Santibáñez y Fuenzalida, 1989)

El contenido de amonio en estos suelos se conservó en forma constante durante los 60 días de evaluación, con un promedio de 50 mg kg⁻¹ (Figura 1). El N en forma de nitrato es

absorbido por la mayor parte de las plantas y además es fácilmente llevado a capas más profundas del suelo ya que por su carga negativa no es retenido en el complejo de cambio del suelo (Sims *et al.*, 1998, Cabral *et al.*, 2005), en cambio el amonio por su carga positiva si es retenido en los sitios de intercambio cationico de las arcillas y materia orgánica (Potash and phosphate Institute, 1997). Esto explica la estabilidad del amonio en el suelo mientras que el nitrato presentó disminución con el paso del tiempo.

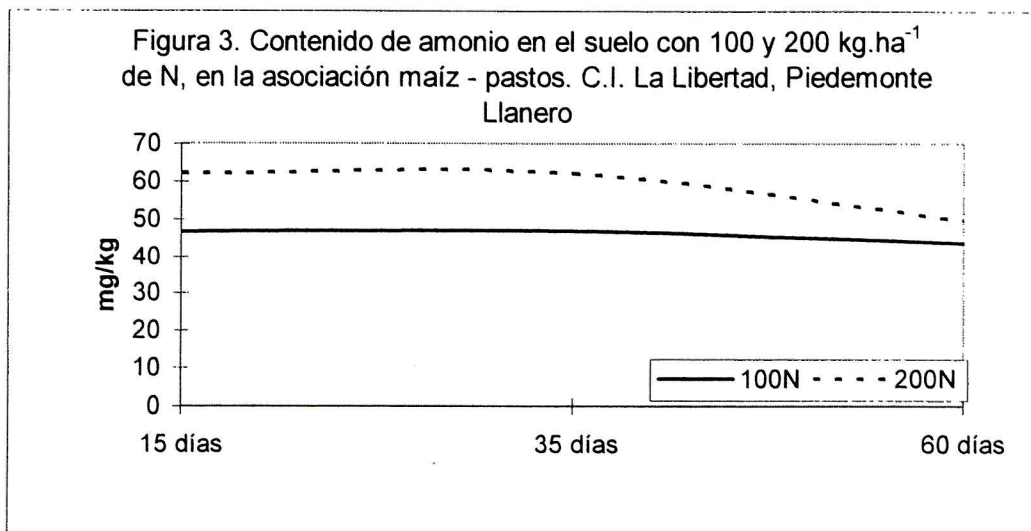


Después de la primera fertilización nitrogenada, en el tratamiento con 100 kg ha⁻¹ de N, la disponibilidad de N en forma de nitrato fue de 69.5 mg kg⁻¹ (31.4 kg ha⁻¹ de N) en tanto el tratamiento con 200 kg ha⁻¹ de N, fue de 93.4 mg kg⁻¹ (42.2 kg ha⁻¹ de N). En la segunda aplicación de N a los 35 días, la disponibilidad de nitratos en el suelo fue similar tanto con 100 como con 200 kg ha⁻¹, de N, obteniéndose un promedio de 96,5 mg kg⁻¹ (44.3 kg ha⁻¹ de N en forma de nitrato) A los 60 días dds, la disponibilidad de nitratos se redujo a 26.5 mg kg⁻¹ (11.9 kg ha⁻¹ de N) en los tratamientos con los dos niveles de N aplicados. (Figura 2).



La disponibilidad de N en forma de amonio en el suelo, en el tratamiento donde se aplicó 100 kg ha⁻¹ de N permaneció estable en 46 mg kg⁻¹ (71.5 kg ha⁻¹ de N) a los 15 y 35 días, y a los 60 días se presentó una leve disminución a 43,5 mg kg⁻¹. En la dosis de 200 kg ha⁻¹ de N, a los 15 y 35 días se obtuvo contenidos de 62 mg kg⁻¹ de amonio (96.4 kg

ha⁻¹ de N) y a los 60 días se redujo a 50 mg kg⁻¹ (77.7 kg ha⁻¹ de N). Como se puede apreciar en la Figura 3, después de la segunda aplicación de N en forma de urea, el contenido de amonio en el suelo trató a igualarse tanto con 100 como con los 200 kg ha⁻¹ de N aplicados a la asociación maíz-pastos.



En condiciones favorables para el crecimiento de la planta, la mayor parte del amonio se convierte en nitrato por medio de las bacterias nitrificantes, el cual será aprovechado por las plantas y microorganismos del suelo, sin embargo debe considerarse que este proceso de nitrificación es bajo en suelos ácidos (Orozco, 1999)

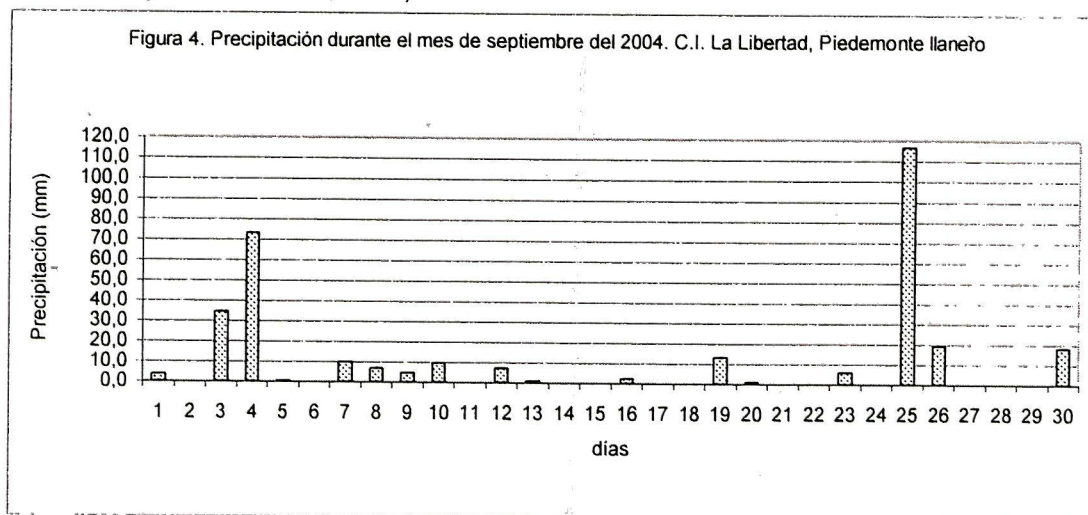
El maíz absorbe gran parte del N en forma de nitrato (Salvagiotti *et al.*, 2000, Potash and phosphate Institute, 1997), por lo tanto, en dos etapas importantes del desarrollo de este cultivo (a los 15 y a los 35 días), tuvo una disponibilidad total de 85.5 kg ha⁻¹ de N proveniente del nitrato (42 kg a los 15 días y 43.5 kg a los 35 días). En estos periodos de desarrollo del maíz, se aplicaron los dos tratamientos de fertilización nitrogenada: 100 y 200 kg ha⁻¹ de N en forma de urea.

En el momento de la siembra de las asociaciones maíz-pastos, se aplicaron 27 kg ha⁻¹ de N utilizando como fuente al fosfato diamónico, que con una eficiencia del fertilizante del 60%, la asociación tuvo una disponibilidad de 16.5 kg ha⁻¹ de N para ser aprovechado en los primeros 15 días de desarrollo del maíz, junto con los 33,6 kg ha⁻¹ provenientes del nitrato disponible por acción de la labranza.

Considerando que la oferta de N a las plantas, proviene de nitratos disponibles en el suelo en el momento de la siembra, de la mineralización de la materia orgánica (2% a 2.5% de N está disponible para las plantas anualmente) y del fertilizante (Montesano *et al.*, 2003) y teniendo en cuenta que la eficiencia de la urea es de aproximadamente 60% (Meisinger, 1984), en el tratamiento donde se aplicó 100 kg ha⁻¹ a los 15 y 35 dds, la disponibilidad de N para las plantas proveniente de la urea fue de 60 kg ha⁻¹. Por otra parte, con 2,4% de materia orgánica, con una densidad aparente de 1.3 g cc⁻¹ y una mineralización anual de 2%, la disponibilidad de N para el cultivo proveniente de la materia orgánica de este suelo, fue de 31 kg ha⁻¹, por lo tanto, la cantidad de N total proveniente de la fertilización y de la mineralización de la materia orgánica fue de 91 kg ha⁻¹, cantidad cercana a los 85.5 kg ha⁻¹ de N disponible en forma de nitrato en el suelo, para ser tomado por el cultivo a los 15 y 35 dds.

Durante el mes de septiembre del 2004 cuando se hizo la fertilización nitrogenada a los 15 y 35 dds, la precipitación fue de 328 mm que pudo favorecer la lixiviación de nitratos en el suelo, sin embargo, como se puede apreciar en la Figura 4, en los días 8 y 28 de septiembre cuando se hizo la aplicación de la urea, la precipitación no superó los 7 mm. Fox *et al.* (1983), informan que es necesario la ocurrencia de una precipitación superior a 10 mm para que la urea sea incorporada en el perfil del suelo, de lo contrario ocurre la volatilización en forma de NH_3 . Las condiciones de humedad del suelo y la temperatura diurna de 31°C durante este mes pudieron contribuir a la volatilización de la urea, ocasionando pérdidas de N que no alcanzó a ser tomado por las plantas. Esto pudo ocurrir principalmente en el tratamiento donde se aplicó doble cantidad de N (200 kg ha^{-1}), con esta dosis, las plantas teóricamente deberían disponer de 120 kg ha^{-1} de N proveniente de la fertilización y de 31 kg ha^{-1} producto de la mineralización de la materia orgánica para un total de 151 kg ha^{-1} , sin embargo, no se presentaron diferencias significativas en el contenido de nitratos y amonio en los suelos fertilizados con 100 y 200 de kg ha^{-1} N, al parecer las pérdidas de N son mayores cuando los niveles de fertilización son mas altos, como lo pudieron comprobar Barbieri y Echeverría (2003) quienes determinaron las pérdidas de N-NH_3 al fertilizar una pastura de *Thinopirum ponticum* con 0, 90 y 180 kg de N utilizando como fuente la urea. Las pérdidas de N-NH_3 por volatilización fueron de 3, 14 y 63 kg ha^{-1} respectivamente, y estas pérdidas ocurrieron en mayor proporción durante los primeros 7 días después de la fertilización, un factor que favoreció la volatilización del N-NH_3 fue la alta humedad del suelo en el momento de la fertilización y la temperatura superior a 22°C .

También se pueden presentar altas pérdidas de N-NO_3 , como lo reportado por Zhao *et al.* (2006), Quienes en ocho ciclos sucesivos del cultivo de maíz, compararon una fertilización óptima con 511 kg ha^{-1} de N y una fertilización convencional con 2400 kg ha^{-1} de N, encontrando una alta acumulación de NO_3 a una profundidad entre 90 y 200 cm del perfil del suelo, mientras que en la zona radicular del cultivo los niveles fueron muy bajos, además, bajo estos dos niveles de N no se presentaron diferencias significativas en la producción de grano de maíz. En recientes estudios se ha comprobado que al aplicar altos niveles de N no se presentan diferencias en producción de maíz solo o asociado con pastos, sin embargo, se reduce la eficiencia de este nutriente y se incrementa las pérdidas como NO_3 o como NH_4 (Wachendorf *et al.*, 2006; Martha *et al.*, 2004; Nevens, 2003, Bundy and Andraski, 2005)



La disponibilidad de N-NH_4 en el suelo, a los 15 y 35 dds de la asociación maíz – pastos, fue de 83 kg ha^{-1} , en tanto la disponibilidad de N-NO_3 fue de 43 kg ha^{-1} . Estas diferencias se ampliaron a los 60 dds en 6 veces a favor de la disponibilidad de NH_4 (Tabla 3). Es

importante la reserva de este N presente en el amonio almacenado en las arcillas del suelo, que representa un 70% de todo el N inorgánico. Trabajos realizados por Cramer y Lewis, (1993) demostraron que los cultivos usan cantidades apreciables de amonio, si este está presente en el suelo. Ciertos híbridos de maíz tienen un alto requerimiento de amonio y la absorción en esta forma del N ayuda a incrementar el rendimiento de grano. Una de las razones por las que se obtienen rendimientos más altos con la absorción de una parte del N en forma de amonio, es que la reducción del nitrato dentro de la planta requiere de energía (El nitrato es reducido a amonio que luego se convierte en aminoácidos dentro de la planta). Esta energía es proporcionada por carbohidratos, los mismos que podrían ser usados para el crecimiento y formación de granos (Potash and phosphate Institute, 1997).

Tabla 3. Contenido de N inorgánico en el suelo desde la primera fertilización nitrogenada hasta el inicio del llenado de grano en el cultivo de maíz asociado con pastos. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Época (dds)	Nitrato			Amonio			N inorgánico en suelo kg ha ⁻¹
	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	N (kg ha ⁻¹)	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	N (kg ha ⁻¹)	
15	93.0	186.0	42.0	53.2	106.4	82.7	124.7
35	96.4	193.0	43.5	54.9	109.0	84.7	128.2
60	26.4	53.0	11.9	46.6	93.2	72.4	84.3

Una de las metodologías más aceptadas para cuantificar la dinámica de N en el sistema suelo-planta, es el balance que simula procesos de ganancias, pérdidas y transformaciones del elemento en el sistema (Salvagiotti *et al.*, 2000). El método de balance de N ha sido propuesto por Meisinger (1984) y es generalmente empleado para cultivos anuales en sistemas productivos en equilibrio. Para ello se debe cuantificar la cantidad del nutriente disponible al momento de la siembra del cultivo y el aporte por mineralización desde la fracción orgánica del suelo. Además, se deben determinar las pérdidas por volatilización, desnitrificación y lixiviación. Una alternativa ante la imposibilidad de determinar las pérdidas, es considerar la eficiencia con que cada una de las fuentes de N es aprovechada. En general, los valores de eficiencia para el N inicial y el proveniente de los fertilizantes podrían considerarse similares y con valores de entre 40 y 60%, mientras que la eficiencia de utilización del N mineralizado es de 70% a 80%.

De esta forma se puede determinar la cantidad de fertilizante nitrogenado requerido por el cultivo de acuerdo a la siguiente ecuación (Meisinger, 1984):

$$N_{\text{fert}} = \frac{(N_{\text{cul}} \times \text{Rend}) - ((N_{\text{min}} \times E_1) + (N_{\text{inic}} \times E_2))}{E_3}$$

N_{fert} = Requerimiento de fertilizante nitrogenado (kg ha⁻¹)

N_{cul} = Requerimiento de N del cultivo (kg t⁻¹) = 20 kg de N t⁻¹ de grano de maíz

Rend = Rendimiento (t ha⁻¹) = 5 t ha⁻¹ de grano de maíz

N_{min} = N Mineralizado durante el ciclo del cultivo (kg ha⁻¹) = 31 kg ha⁻¹ de N a partir de 2.5% de materia orgánica en el suelo (densidad aparente de 1.3 g cc⁻¹. se mineraliza y queda disponible para las plantas el 2% anual)

N_{inic} = N-NO₃ inorgánico inicial disponible a la siembra (kg ha⁻¹) = 33.6 kg ha⁻¹ de N a partir de 74.6 mg kg⁻¹ de NO₃ obtenidos después de la labranza.

E_1 = Eficiencia de uso del N_{min} = 0.7

E_2 = Eficiencia de uso del N_{inic} = 0.5

E_3 = Eficiencia de uso del $N_{\text{fert.}}$ = 0.6

$$\text{Fertilización con N (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{(20 \times 5) - ((31 \times 0.7) + (33.6 \times 0.5))}{0.6} = 102.5$$

Aplicando esta ecuación, se puede concluir que se tendría que fertilizar con 102.5 kg ha⁻¹ de N, para obtener un rendimiento de 5 t ha⁻¹ de grano de maíz. De acuerdo a este resultado se tiene que en este experimento, el valor obtenido con la ecuación se ajusta a la fertilización aplicada con 100 kg ha⁻¹ de N, sin embargo, con el tratamiento de 200 kg ha⁻¹ de N teóricamente se debería haber obtenido una mayor producción de maíz, pero como se pudo apreciar, el contenido en el suelo de N asimilable por las plantas, no presentó diferencias significativas frente a los dos niveles de N aplicados.

Nitrógeno total en hojas de maíz y pasto

La evaluación del contenido de N en las hojas del maíz y del pasto, se realizó al inicio de la floración e inicio del llenado del grano de maíz, coincidiendo con el periodo de evaluación de nitrato y amonio en el suelo.

Se encontró que al inicio de la floración, el N foliar en el maíz asociado con *B. decumbens* y en el maíz asociado con el pasto Toledo fue superior significativamente ($P < 0.05$) con 2.9 y 2.83% de N respectivamente (Tabla 4), mientras que en la asociación con pasto Mulato, el maíz presentó un contenido de 2.66% de N foliar. En el pasto *B. decumbens*, el N foliar fue significativamente menor ($p < 0.05$) mientras que en los pastos Mulato y Toledo la concentración de N fue de 3.31% y 3.20% respectivamente, resultando ser superiores significativamente ($p < 0.05$). En general se observó que a los 35 dds, el N foliar en el pasto presentó niveles superiores a los encontrados en el maíz.

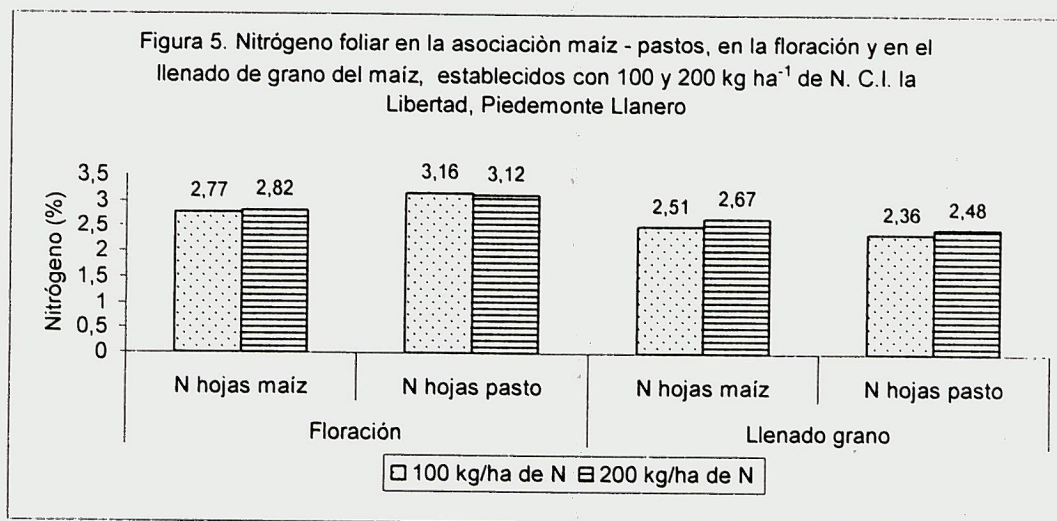
En la fase de llenado de grano (60 dds) el contenido de N foliar en el maíz no presentó diferencias significativas al estar asociado con los tres pastos, obteniéndose un promedio de 2.59%. El N foliar en el maíz fue similar en la floración y en el llenado de grano (Tabla 4). Los pastos tropicales se caracterizan por la disminución del N foliar y aumento de la fibra, cuando están más maduros, hecho que fue confirmado en esta evaluación, sin embargo, el pasto Mulato siguió siendo el de mayor contenido de N con un 2.58% a los 60 días. En cambio el N en las hojas de pasto el Toledo, fue inferior significativamente (2.30 %) con respecto a los otros dos pastos.

Tabla 4. Contenido de Nitrógeno (%) en las hojas de maíz y pasto en el momento de la floración y del llenado de grano del maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Maíz asociado con los pastos:	N en floración de maíz (35 días)		N en llenado de grano de maíz (60 días)	
	En hoja de maíz	En hoja de pasto	En hoja de maíz	En hoja de pasto
<i>B. decumbens</i>	2.90 a	2.91 b	2.60 a	2.40 ab
Mulato	2.66 b	3.31 a	2.53 a	2.58 a
Toledo	2.83 ab	3.20 ab	2.65 a	2.30 b
CV (%)	4.9	6.8	5.6	6.7

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

Los tratamientos con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados al maíz, no afectaron significativamente ($p>0.05$) el contenido de N en las hojas de maíz y pasto, tanto en la floración como en el llenado del grano. En el momento de la floración del maíz, el pasto presentó mayor contenido de N foliar que el maíz, mientras que en el llenado de grano, el maíz tenía mayor contenido de N en sus hojas que lo encontrado en las hojas del pasto. (Figura 5)



El N foliar en el maíz presentó poca variación a los 35 y 60 días de edad, tanto con 100 y con 200 kg ha⁻¹ de N. En la floración el promedio fue de 2.8% y en el llenado de grano de 2.6%, valores que se encuentran en los límites inferiores del rango de 2.75 a 3.25 propuesto por Malavolta *et al.*, 1997, como adecuado. En tanto, los pastos que a los 35 días presentaron más de 3% de N foliar, a los 60 dds disminuyó a valores cercanos de 2.5%.

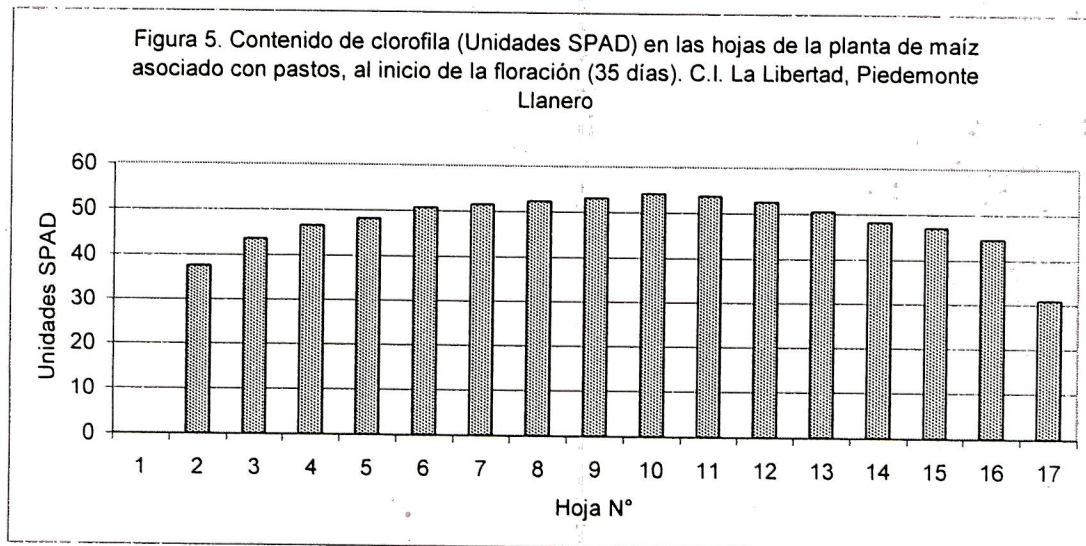
Contenido de clorofila en las hojas

La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con su concentración de N y por lo tanto refleja el estado nutricional con respecto a este importante nutriente. El N es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de la molécula de clorofila está involucrado en el proceso de la fotosíntesis. (Potash and Phosphate Institute, 1997; Salisbury y Ross, 1992; Wolfe *et al.*, 1998) Cantidades adecuadas de N producen hojas de color verde oscuro debido a que estas tienen alta concentración de clorofila, el pigmento verde de la clorofila absorbe la energía de la luz necesaria para iniciar la fotosíntesis.

Para determinar la distribución de la clorofila en la planta de maíz y tener mayor certeza de las hojas que se deben tener en cuenta para futuras evaluaciones con el clorofilómetro Minolta® SPAD 502, se realizaron mediciones en todas las hojas de la planta, encontrándose los contenidos de clorofila más altos significativamente ($p<0.05$), en las hojas 6 hasta la 13. Estos valores se presentaron en un rango de 50 a 54 unidades SPAD, obteniéndose los más altos en las hojas 10 y 11. Estos contenidos de clorofila coinciden con lo reportado por Novoa y Villagran (2002), Sainz y Echeverría (1998), quienes determinaron que un valor adecuado de clorofila para un buen rendimiento de grano de maíz, debe ser superior a las 50 unidades SPAD en estas hojas.

Los valores de clorofila más bajos (30 a 48 unidades SPAD) se encontraron en el tercio inferior y en el tercio superior de la planta de maíz. En el tercio inferior correspondiente a las hojas bajas incluyendo la quinta hoja, se encontraban en proceso de senescencia y

el tercio superior correspondiente a las hojas 14 a 17, estaban en proceso de formación. El N es uno de los elementos más móviles en la planta, con beneficio a la mazorca en formación, por buena disponibilidad de este nutriente en las hojas 7 a 9, sitio donde se desarrolla la mazorca, con valores superiores a 50 unidades SPAD (Figura 5).



Estos resultados permiten concluir que las evaluaciones con el clorofilómetro Minolta® SPAD 502, puede hacerse en las hojas del tercio medio de la planta de maíz. En estas hojas desarrolladas y expandidas, solo una pequeña fracción de los productos de la fotosíntesis permanecen en el sitio de producción y la mayoría son translocados a otros sitios de la planta. Los coeficientes de reparto de la materia seca entre los distintos órganos varía continuamente durante en crecimiento de la planta. Las exportaciones de los productos asimilados son dirigidas principalmente hacia los centros de crecimiento activo y posteriormente hacia la mazorca (Santibáñez y Fuenzalida, 1989)

Para determinar la concentración de clorofila en toda la hoja del maíz, se realizaron mediciones en la base, mitad y parte superior de cada hoja. Se encontró que cuando la evaluación se hizo en el tercio inferior o base de la hoja, el contenido de clorofila fue superior en forma significativa ($p < 0.05$) en el rango de la hoja 6 hasta la hoja 13, con valores de 49.7 a 55 Unidades SPAD. En tanto, en el tercio medio de la hoja, el contenido de clorofila fue superior entre la hoja 4 y la hoja 13, en un rango de 49 a 54.4 unidades SPAD. En el tercio superior o ápice de la hoja, el rango de valores superiores se ubicó entre la hoja 7 y la hoja 14, con 48,6 a 53,6 unidades SPAD (Tabla 5). Por consiguiente, en los tres tercios de la hoja, la concentración de clorofila superior a 50 unidades SPAD se presentó desde la hoja 7 hasta la hoja 13, con valores promedios de 52.5, 53.1 y 52 unidades SPAD en la base, mitad y ápice de la hoja, respectivamente. La uniformidad en estos valores permite concluir que las evaluaciones pueden realizarse en cualquier parte de la hoja en el tercio medio de la planta. No se ha encontrado información sobre evaluaciones en estas hojas, sin embargo, Novoa y Villagrán (2002) evaluando híbridos de maíz en Chile, encontraron en la quinta hoja 51 unidades SPAD a los 50 días después de la emergencia, que coincide con los valores encontrados en la 6ª hoja en condiciones del Piedemonte Llanero.

Tabla 5. Contenido de clorofila (unidades SPAD) en todas las hojas de la planta de maíz medido en los tres tercios de cada hoja, en el momento de floración del maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Hoja N°	Contenido de clorofila en maíz (Unidades SPAD)		
	base de hoja	mitad de hoja	ápice de hoja
2	37.1 f	38.7 de	36.8 g
3	43.3 e	45.1 c	42.1 f
4	46.3 dec	49.0 abc	44.0 ef
5	47.3 bdec	50.7 ab	46.3 cdef
6	49.7 abc	52.7 a	49.4 bcde
7	51.2 abc	52.7 a	50.0 abcd
8	51.4 abc	53.5 a	51.6 abc
9	52.2 ab	54.4 a	52.3 abc
10	55.0 a	54.0 a	53.4 ab
11	54.5 a	52.9 a	53.6 a
12	52.4 ab	52.4 a	52.5 ab
13	51.2 abc	49.0 abc	50.8 abcd
14	48.7 bcde	46.8 bc	48.6 abcde
15	48.3 bcde	45.0 c	47.4 bcdef
16	44.7 de	43.6 dc	45.1 def
17	28.3 g	33.8 e	30.1 h
CV (%)	10.9	11.2	11.8

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

Con respecto al efecto de los pastos sobre el contenido de clorofila en las hojas de maíz, se encontró que el maíz asociado con *B. decumbens* y con pasto Mulato, presentó el mayor contenido de clorofila en los tres tercios de la hoja de maíz con 50 a 51 unidades SPAD. El contenido de clorofila en del maíz asociado con el pasto Toledo solo fue inferior ($P < 0.05$) en tercio inferior de la hoja con 49.8 unidades SPAD.

Los tratamientos de la asociación de maíz con pastos fertilizados con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N, presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), en toda el área foliar del maíz, a favor del tratamiento con 200 kg ha⁻¹ de N, con un valor superior a 50 unidades SPAD en tanto en el tratamiento con 100 kg de N fue de 49 unidades SPAD (Tabla 6).

Tabla 6. Contenido de clorofila (unidades SPAD) en tres tercios de la hoja de la planta de maíz en asocio con pastos y con dos niveles de N, en el momento de la floración del maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Maíz asociado con los pastos:	Contenido de clorofila en maíz (Unidades SPAD)		
	base de hoja	mitad de hoja	ápice de hoja
<i>B. decumbens</i>	50.9 a	51.6 a	50.1 a
Mulato	50.2 ab	50.1 b	50.0 a
Toledo	49.8 b	51.2 a	49.9 a
Nitrógeno:			
100 kg	49.1 b	49.4 b	48.4 b
200 kg	51.5 a	52.5 a	50.9 a
C.V. (%)	10.9	11.2	11.7

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

Relación entre contenido total de nitrógeno y contenido de clorofila en las hojas de maíz y de pasto

Los datos obtenidos con el medidor de clorofila Minolta® SPAD 502, a la edad de 35 días y a los 60 días en la planta de maíz y del pasto, se relacionaron con los contenidos de N foliar del maíz y del pasto durante estas mismas épocas (Tabla 7). El contenido de clorofila a los 35 y 60 dds en las hojas de maíz no presentó diferencias significativas en las asociaciones con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, cuyos valores promedios fueron de 50.4 y 50.8 unidades SPAD, en las dos épocas respectivamente. En los pastos, se encontró valores mas bajos con respecto al maíz, no obstante, el pasto Mulato fue superior a los otros dos pastos con valores de 48.8 y 44.1 Unidades SPAD a los 35 y 60 dds respectivamente. Tal como lo observado en el contenido de N total foliar, en el maíz se presentó poca variación en las dos épocas, en cambio el N total y los grados SPAD en el pasto presentaron reducción a los 60 dds.

Se encontró una buena relación entre el N foliar y el contenido de clorofila en el maíz y en el pasto especialmente en el momento del llenado de grano. Esto fue comprobado por los coeficientes de determinación (R^2) cuyos valores demuestran que a la edad de 35 días, un 79% de la variación en el N foliar en las hojas del maíz y el pasto, puede ser explicada por el valor obtenido con el clorofilometro y expresado en grados SPAD. En tanto a los 60 dds este valor fue de 96 y 93% en el maíz y en el pasto respectivamente.

Teniendo en cuenta el bajo contenido de nitratos encontrados en el suelo a los 60 dds podría pensarse en la necesidad de aplicar fertilización nitrogenada en esta época, sin embargo, los contenidos adecuados de este nutriente evaluados mediante el N total en las hojas (Microkendjal) y con el clorofilometro, indican una buena disponibilidad de N, producto de la translocación de las reservas del tallo principalmente, donde es almacenado, para luego ser aprovechado en épocas de altos requerimientos como el llenado de grano. Se ha encontrado que en un rango de 20 a 60% del N total del grano, es producto de esta translocación antes de la antesis (Laffite, 2002)

Tabla 7. Relación entre el Contenido de clorofila (unidades SPAD) y el nitrógeno total en las hojas de maíz y de pasto a los 35 y 60 después de establecidos estos cultivos en asociación. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero.

En hojas de maíz asociado con los pastos:	A los 35 días (inicio de la floración)			A los 60 días (inicio de llenado de grano)		
	N foliar	spad	R^2	N foliar	spad	R^2
<i>B. decumbens</i>	2,90 a	50,8 a	0,79	2,60 a	51,2 a	0,96
Mulato	2,66 b	50,1 a		2,53 a	49,6 a	
Toledo	2,83 ab	50,3 a		2,65 a	51,7 a	
C.V. (%)	4,9	11,8		5,6	13,5	
En las hojas de los pastos:						
<i>B. decumbens</i>	2,91 b	44,5 b	0,79	2,40 ab	39,3 b	0,92
Mulato	3,31 a	48,8 a		2,58 a	44,1 a	
Toledo	3,20 ab	45,8 b		2,30 b	38,7 b	
C.V. (%)	6,8	14,2		6,7	10,6	

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

En otros trabajos, se ha encontrado una alta correlación entre el contenido de N en las hojas y los valores obtenidos con el medidor de clorofila, a través de lecturas tomadas en la quinta hoja en el estadio V6, alcanzando valores de 49 y 51 unidades SPAD a los 32 y 50 días después de la emergencia, respectivamente, valores considerados necesarios para alcanzar el 95% del rendimiento máximo. Valores SPAD inferiores a 35, equivalentes a un contenido de N foliar de 1.83%, estarían indicando la necesidad de aplicar N (Novoa y Villagrán 2002, Imsande, 1998).

Relación entre contenido de clorofila en las hojas y rendimiento de grano de maíz

A las plantas que se les midió el contenido de clorofila en las hojas, se les evaluó el rendimiento de maíz para determinar si había alguna relación entre estos dos parámetros. El contenido promedio de clorofila en las hojas del maíz en el momento de la floración fue de 50.4 unidades SPAD, sin presentarse diferencia alguna en las asociaciones del maíz con los tres pastos. Igual respuesta se obtuvo en la producción de maíz obteniéndose un promedio de 132 g planta⁻¹ (Tabla 8).

Se ha calculado que para la producción de 1 t ha⁻¹ de grano se requiere de 20 Kg de N disponible (Salvagiotti *et al.*, 2000), es decir que para lograr una producción de 5 t ha⁻¹ de grano es necesario tener una disponibilidad en el suelo de 100 Kg ha⁻¹ de N, siempre y cuando no haya limitantes de los demás nutrientes y factores de producción. En este experimento, los rendimientos de maíz no se afectaron por los dos niveles de N utilizados, aunque en el contenido de clorofila si se presentaron diferencias significativas al tener 48.9 unidades SPAD con una fertilización de 100 kg ha⁻¹ de N y 51.6 unidades SPAD con 200 kg ha⁻¹ de N. Estos valores de clorofila estuvieron muy cerca al valor de 50 unidades SPAD, lo que indica que las plantas no presentaron deficiencia de N, por lo tanto los rendimientos de maíz fueron de 5.18 y 5.39 t ha⁻¹ sin llegar a ser diferentes en forma significativa al utilizar 100 o 200 kg ha⁻¹ de N en la fertilización, respectivamente.

Tabla 8. Rendimiento de maíz en las plantas a las que se les evaluó clorofila (SPAD) en el momento de la floración. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Maíz asociado con los pastos:	Clorofila (unidades SPAD)	Peso de granos (g planta ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
<i>B. decumbens</i>	50.8 a	134.4 a	5.37 a
Mulato	50.1 a	129.5 a	5.18 a
Toledo	50.3 a	133.8 a	5.35 a
Nitrógeno:			
100 kg	48.9 b	129.6 a	5.18 a
200 kg	51.6 a	134.8 a	5.39 a
C.V (%)	11.4	19.0	19.0

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

Conclusiones

- Considerando que el maíz requiere de 20 a 25 kg ha⁻¹ de N por cada tonelada de grano producido, esto se cumplió con la dosis de 100 kg ha⁻¹ de N al obtener un rendimiento promedio de 5.3 t ha⁻¹ de grano, sin embargo con 200 kg ha⁻¹ de N no se presentaron aumentos significativos en producción, por factores que pudieron contribuir a pérdidas de N. Por lo tanto no se justifica hacer aplicaciones de 200

kg ha⁻¹ de N a la asociación maíz pastos en condiciones de suelos ácidos de la terraza media del Piedemonte llanero.

- Teniendo en cuenta la buena relación entre el contenido de N foliar y el contenido de clorofila en grados SPAD medido con el clorofilometro Minolta® SPAD 502, en las hojas del maíz y los pastos. La utilización de este equipo es una buena alternativa para conocer el estado nutricional con respecto al N, en estos dos cultivos.
- Es necesario hacer estudios específicos para cuantificar las pérdidas de N cuando se hace fertilización con urea principalmente, teniendo en cuenta las condiciones de alta lluviosidad y temperatura, propias del Piedemonte llanero.

Agradecimientos

Se presenta especial agradecimiento a COLCIENCIAS por la financiación del trabajo de investigación en el marco del proyecto "Potencial productivo y aspectos fisiológicos de los pastos tropicales bajo condiciones de manejo intensivo, como alternativa para recuperar praderas en suelos ácidos del piedemonte Llanero.

Bibliografia

- Andrade, S.R.M., Santana, R., Cambraia, J., Mosquim, P. 2001 Efeito da proporcao NH_4 , NO_3 na distribucao de nitrato e na atividade *in Vitro* da redutase do nitrato em plantas de *Panicum maximum*. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 12. Planaltina, DF. Brasil. 16p.
- AOAC (Association of official Agricultural Chemists), 1995. Official methods of analysis. Arlington Virginia, USA.
- Attanandana, T., Yost, R.S. 2003. A site specific nutrient management approach for maize. Better Crops International (17): 3-7.
- Ayarza, M.A., Spain, J.M. 1988. Manejo del ambiente físico y químico en el establecimiento de pasturas mejoradas. En: Establecimiento y renovación de pasturas. VI reunión del Comité Asesor de la RIEP. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Veracruz, México. pp.187-284.
- Barbieri, P.A., Echeverría, H.E. 2003. Evolución de las perdidas de amoniaco desde la urea aplicada en otoño y primavera a una pastura de Agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). RIA, 32(1):17-29.
- Botero, P.J., López D. 1982. Los suelos de los Llanos Orientales (Una visión general sintetizada). Suelos Ecuatoriales, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Volumen XII No. 2, Bogotá, Colombia. pp. 18-29.
- Bullock, D.G. Anderson, D.S. 1998. Evaluation of the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. J. Plant. Nutr. 21: 741-755.
- Bundy, L.G. and Andraski, T.W. 2005. Recovery of fertilizer nitrogen in crop residues and cover crops on an irrigated sandy soil. Soil Sci. Soc. Am.J. 69:141-147.
- Cabral da Silva, E., Buzetti, S., Guimarães, G.L., Lazarini, E., de Sá, M.E. 2005. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 29 (3):37-44.
- Caires, N.O.S., Guedes de Carvalho, J., Dias, M.F.A., Pereira, T.R., Pinho, P.J. 2005. Uso do SPAD 502 na avaliaco dos teores foliares de clorofila, nitrógeno, enxofre, ferro e manganes do algodoneira herbaceo. Pesq. Agropec. 40 (5):71-87
- Cramer, M.D., Lewis, O.A.M. 1993. The influence of nitrate and ammonium nutrition on the growth of wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) plants. Annals of Botany 72: 359-365.
- Deane, C. E., Glass, A.D. 1983. Short terms studies of nitrate uptake into barley plants using ion specific electrodes and Cl_3 . Regulation of efflux by NH_4 . Plant Physiology 73: 105-110.
- Fox, R.H., Kern, J.M., Piekielek, W.P. 1986. Nitrogen fertilizer source and method and time of application effects on no-till corn yield and nitrogen uptakes. Agron. J. 78:741-746.
- Imsade, J. 1998. Iron, sulfur and chlorophyll deficiencies: A need for an integrative approach in plant physiology. Physiology. Plant 103:139-144.

- Kluthcouski, J., Stone, L.F. 2003. Manejo sustentavel dos solos dos Cerrados. En: Integracao Lavoura – Pecuaria. EMBRAPA, Arroz e Feijao. Ed. Kluthcouski, J., Stone, L.F y Aidar, H. San Antonio de Goias, Brasil. pp.61 - 104.
- Lafitte, H.R. 2002. Fisiología del maíz tropical. Tecnifenalce, N°2. Año 4.
- Martha Júnior, G. B., Vilela, L., Barioni, LG., Gomes de Sousa, D.M., Olivera, O. B. 2004. Manejo da adubacao nitrogenada em pastagens. En: Fertilidade do solo para Pastagens productivas. Anais do 21° simposio sobre anejo da pastagens Ed. Silveira C. G. Moura, C. y Pedroso de Faria V. Fundación de estudios Agrarios Luis de Queiroz, FEALQ. Piracicaba, Brasil. pp. 155-216.
- Martha JUnior., Corsi, M., Trivelin, P.C.O., Alves, M.C. 2004. Nitrogen recovery and loss in fertilized grass pasture. Grass and forage Sci. 59:80-84.
- Mejia, L. 1996. Génesis y características de los oxisoles y suelos oxicos de los Llanos Orientales de Colombia y su relación con la fertilidad. Suelos Ecuatoriales. 26 (1):7-34.
- Menezes, P.S. 2004. Aspectos fisiológicos y metabólicos de la nutrición nitrogenada de plantas forrajeras. En: Fertilidade do solo para Pastagens productivas. Anais do 21° simposio sobre anejo da pastagens Ed. Silveira C. G. Moura, C. y Pedroso de Faria V. Fundación de estudios Agrarios Luis de Queiroz, FEALQ. Piracicaba, Brasil. p. 139-154
- Mengel, D.B., Barber, S.A. 1974. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. Agron. J. 66:399-402.
- Meisinger, J. J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. In: R.D. Hauck et. al. (eds.) Nitrogen in crop production. Am. Soc. Agron., Madison, WI., EEUU. pp. 391-416.
- Miles, J. W., Do Valle, C.B., Rao, I.M., Euclides, V.P.B. 2004. Brachiariagrasses. Warm season (C4) Grasses, Agronomy, Monograph n° 45. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. U.S.A. pp. 745-783.
- Montesano, A.M., Salomón, A., Teramo, C.D., Masiero, B. 2003. Fertilización del cultivo de maíz. Proyecto Fertilizar-INTA Pergamino, Argentina. 7p.
- Nevens, F. 2003. Nitrogen use efficiency in grassland, silage Maite and ley/arable rotation. Ph.D thesis Belgium:University of Gent.
- Novoa, R., Villagran, A. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. Agric. Tec. 62 (1).
- Oaks, A. 1992. Re-evaluation of nitrogen asimilation in roots. BioScience 88:1067-1072.
- Orozco F.H.1999. Biología del nitrógeno. Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Tomo 1. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Antioquia. 231p.
- Pearson, C.J., May, A.J. 1984. Maize and pearl millet. In C.J. Pearson ed. Control of crop productivity. Academic Press. NY. pp.141-158.
- Potash and phosphate institute, 1997. Manual Internacional de fertilidad de suelos. Norcross, G.A. U.S.A. 146p.

- Rancel, J.A., Alcanzar, G.G., Castellanos, J.Z., Garcia, E.M., Trejo, L.C., Vaquera, H.H. 2002. Comparación de dos pruebas para diagnosticar nitrógeno en sorgo. *Terra* 20:383-390.
- Rao, I.M., Kerridge, P.C., Macedo, M.C.M. 1998. Requerimientos Nutricionales y Adaptación a los suelos ácidos de Especies de *Brachiaria*. En: *Brachiaria: biología, agronomía y mejoramiento*. Ed. J.W. Miles, B.L. Maass y C.B. do Valle. CIAT, CNPGC/EMBRAPA. Cali, Colombia; Campo Grande Brasil. pp. 58 – 78.
- 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, FEDEGAN, COLCIENCIAS, MINAGRICULTURA. 76p
- Rincón, A. 1993. Establecimiento de pasturas por el sistema arroz- pastos. *Carta Ganadera*. 30 (2): 12-17.
- Sainz, R.H., Echeverria, H.E. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento del grano. *Rev. Fac. Agron. La Plata*, 103(1):37-44
- Sans, 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*. Guimaraes, E., Sanz, J.I., Rao, Y., Amezcuita, M. C. y Amezcuita, E.(eds). CIAT-EMBRAPA.Cali, Colombia. pp. 232-244.
- Salinas, J.G. 1985. Fertilización de pastos en suelos ácidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura trópicol.CIAT. Cali, Colombia. 215p.
- Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 1992. Fisiología vegetal. Ed. Iberoamerica S.A. México. pp. 319 - 338
- Salvagiotti, F., Pedrol, H., Castellarin, J. 2000. Utilización del método del balance de N para la recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz. *Informaciones agronómicas, Instituto de la potasa y el fósforo, INPOFOS*. 38: 11-13.
- Sánchez, P.A.1976. Properties and management of soils in the tropics. New York USA. J. Wiley and sons. 618 p.
- Santibáñez, F., Fuenzalida, J. 1989. Modelos ecofisiológicos para el análisis de los potenciales de producción de maíz. Universidad de Chile (Santiago), Universidad de Talca (Talca), Chile. 32p.
- Sims, A.L., Schepers, J.S., Olson, R.A., Power, J.F. 1998. Irrigated corn yield and nitrogen accumulation response in a comparison of no-till and conventional till: tillage and surface-residue variables. *Agron. J.* 90:630-637.
- Varvel, G.E., Schpers, J.S., Francis, D.D. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Am. J.*, 61:1233-1239
- Vilela, L., Macedo, M.C. Martha Júnior, G.B., Kluthcouski, J. 2003. Benefícios da integração lavoura – pecuária. En: *Integracao Lavoura – Pecuária*. EMBRAPA,

Arroz e Feijao. Ed. Kluthcouski, J., Stone, L.F y Aidar, H. San Antonio de Goias, Brasil. pp.154-170.

Wachendorf, M., Volkens, K.C., Loges, R., Rave, g., Taube, F. 2006. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. IV. Impact of slurry application, mineral N fertilizer and grass understorey on yield and nitrogen surplus of maize for silage. Grass and forage sci. 61:232-242.

Zhao, R.F., Chen, X.P., Zhang, F.S., Zhang, H., Schoroder, J., Romheld, V. 2006. Fertilization and Nitrogen balance in Wheat – Maize rotation system in North China. Agron. J. 98:999-1004.

Propiedades químicas de los suelos y dinámica de nutrientes en el establecimiento de la asociación maíz – pastos para renovar praderas, en suelos ácidos del Piedemonte Llanero Colombiano

Resumen

En una pradera degradada se estableció la asociación de maíz con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo como medio para recobrar su productividad. A los 45 días antes de la siembra, se incorporó al suelo una mezcla de 1500 kg ha⁻¹ de cal dolomítica, 400 kg ha⁻¹ de roca fosfórica y 300 kg ha⁻¹ de yeso agrícola. En el momento de la siembra se aplicó 150 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico, 75 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio y 20 kg ha⁻¹ de boro. A los 15 días se aplicó 75 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio y la mitad de la urea y a los 35 días se aplicó la otra mitad de la urea. Los análisis de suelos realizados después de la cosecha del maíz, demostraron un mejoramiento de la fertilidad de los suelos porque la saturación de bases se aumentó de 24% inicial a 47%, el de P disponible de 2 ppm pasó a 11.8 ppm, el S de 3 ppm aumentó a 6 ppm. Después de un año de pastoreo con bovinos de carne, la disponibilidad de minerales en el suelo se redujo especialmente el P que bajó a 4.2 ppm, la saturación de bases a 42% y el S a 4.3 ppm. En el momento de la cosecha, la mayor extracción de N fue realizada por el grano de maíz y los pastos con 43 y 45 kg ha⁻¹ respectivamente, mientras que el P se presentó en mayor concentración en el grano de maíz con 12.7 kg ha⁻¹. Los pastos y la soca de maíz se caracterizaron por tener mayor contenido de K con 40 y 27 kg ha⁻¹. El Ca, Mg y S fueron más extraídos por los pastos con 9, 8 y 6 kg ha⁻¹ respectivamente. Considerando que el N consumido por los animales retorna al suelo el 80% y los otros minerales en un 90%, vía excretas (orina y heces), El contenido de minerales en el suelo durante el primer año de pastoreo fue suficiente para que los pastos presentaran buena producción de forraje y el contenido foliar de minerales en su mayoría cumplió con los requerimientos de los bovinos de carne, sin embargo, para conservar los rendimientos de forraje después de un año de pastoreo, será necesario hacer una aplicación de 103 kg ha⁻¹ de N.

Palabras claves: asociación cultivos-pastos, maíz, minerales, suelo, forraje, producción

Abstract

In degraded grassland, the association of corn with the grasses *B. decumbens*, Mulato and Toledo, was established for recover the productivity. To the 45 days before the sown, it was incorporated within soil, a mixture of 1500 kg ha⁻¹ of lime dolomitic, 400 kg ha⁻¹ of phosphoric rock and 300 kg ha⁻¹ of agricultural gypsum. In the moment of the sown, 150 kg was applied ha⁻¹ of phosphate diamonic, 75 kg ha⁻¹ of potassium chloride and 20 kg ha⁻¹ of boron. To the 15 days after the sowing (d.a.s) it was applied 75 kg ha⁻¹ of potassium chloride and half of the urea and to the 35 d.a.s the other half of the urea was applied. The soils analyses was realized after the crop of the corn, demonstrated an improvement of the fertility of the soil because the saturation of bases was increased from 24% initial to 47%, that of available P of 2 ppm passed to 11.8 ppm, the S of 3 ppm increased to 6 ppm. After a year of grazing with beef cattle, the available of minerals in the soil decreased, specialty the P, that descend to 4.2 ppm, the saturation of bases to 42% and the S to 4.3 ppm. In the moment of

the crop, the biggest extraction in N was carried out by the grain of corn and the grasses with 43 and 45 kg ha⁻¹, while the P was presented in more concentration in the grain of corn with 12.7 kg ha⁻¹. The grasses and the stubble of corn were characterized to have bigger content of K with 40 and 27 kg ha⁻¹. The Ca, Mg and S were more extracted by the grasses with 9, 8 and 6 kg ha⁻¹ respectively. Whereas that the N consumed by the animals returns to the soil 80% and the other minerals in 90%, via excretas. The content of minerals in the soil during the first year of grazing was enough so that the grasses presented good forage production and the content within leaf of minerals in its majority it fulfilled the requirements of the beef cattle, however, to conserve the forage yields after a year of grazing, it will be necessary to make an application of 103 kg ha⁻¹ of N.

Keywords: association crop-pasture, corn, grasses, minerals, soil, forage, yield.

Introducción

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)

Estos suelos que se originaron a partir de sedimentos erosionados de la Cordillera Oriental, transportados por los ríos y depositados en los Llanos colombianos, han pasado por un proceso de alta meteorización, son extremadamente ácidos y lavados, se caracterizan por tener un complejo coloidal inorgánico con arcillas de muy baja actividad, con predominio de cuarzo en la fracción arena mientras que en la fracción arcilla se encuentra la caolinita y óxidos de hierro, además han sufrido transformaciones en su mineralogía y pérdida en sus minerales primarios por su exposición a intensos procesos de intemperización durante largos periodos de tiempo (Dávila *et al.*, 1998), lo cual ha hecho que tengan bajo contenido de bases intercambiables (Ca, Mg, K) y altos niveles de aluminio (Al) en el complejo de intercambio (Wilcke and Lilienfein, 2005). Al problema de bajo contenido de 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). En las Llanuras aluviales del Piedemonte, los suelos son más fértiles y menos lavados por ser más jóvenes y además porque reciben aportes en las crecientes procedentes de las áreas más altas y viejas de la cordillera (Botero y López, 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. Las raíces se tornan más gruesas y cortas y el desarrollo de los pelos radicales es muy reducido, de esta forma las raíces pueden explorar solo un limitado volumen de suelo trayendo como consecuencia una baja absorción de agua y de nutrientes. El exceso de Al interfiere con la toma, transporte y uso de nutrientes esenciales como fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y 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 crecimiento vigoroso de toda la planta en suelos ácidos con toxicidad de Al. *Brachiaria decumbens* excluye la acumulación de Al en los ápices de sus raíces, factor que 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 detoxificación de Al en las raíces de *B. decumbens* se da por formación de quelatos de Al o por alcalinización de la rizosfera apical (Clarkson, 1965). La tolerancia diferencial a Al entre especies y variedades ha estado asociada con una habilidad diferencial para absorber y utilizar P en presencia de Al (Andrew y Vanden Berg, 1973).

Para las condiciones de suelos ácidos de los Llanos Colombianos, se han desarrollado cultivos semestrales y pastos adaptados a la alta saturación de Al y con eficiencia en la absorción de nutrientes, destacándose las variedades de arroz *Oryzica sabana 6* y *Oryzica sabana 10*, la variedad de soya *Soyica Altillanura 2* y la variedad de maíz para suelos ácidos *Sikuani*, cultivos que se desarrollan bien en suelos con una saturación de Al del 60% (Valencia *et al.*, 1999) Sin embargo, considerando el alto potencial que tiene las sabanas para la explotación ganadera, 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 han sido el *Stylosanthes capitata* cv capica, *Desmodium ovalifolium* cv Maquenque, *Arachis pintoi* cv Maní forrajero, *Phueraria phaseoloides* cv kudzu (Belalcazar *et al.*, 1995; Pardo *et al.*, 1999, Rincón *et al.*, 2002).

En la última década se han obtenido materiales con alta capacidad de producción entre los cuales están los híbridos de maíz H-108, H-111, Master (CORPOICA, 2005), las variedades de soya Corpoica La Libertad 4 y Taluma 5 (Valencia, 2005) además se han desarrollado pastos de mayor productividad de biomasa como son el *B. brizantha* cv Toledo (Lascano *et al.*, 2002) y el Híbrido de *Brachiaria* cv Mulato (Miles, 2006; Plazas, 2006). El establecimiento de estos cultivos requieren de enmiendas que permitan disminuir la saturación de Al a menos del 50% y de fertilizantes necesarios para el buen desarrollo de los cultivos, han permitido obtener altos rendimientos de granos y se han 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, podrán permanecer en suelo contribuyendo para el aumento de la fertilidad. Debido al sistema radicular, las gramíneas son bastante hábiles en la búsqueda de nutrientes y reciclaje a mayor profundidad. Ese mayor desarrollo radicular, aumenta la actividad biológica y mejora las características físicas del suelo. Además los pastos favorecen el aumento de materia orgánica y ayudan al control de erosión del suelo, debido a su cobertura. Por otro lado los pastos, como *Brachiaria*, dejan un residuo de paja sobre el suelo de 5 a 10 t ha⁻¹ de materia seca y en el interior del suelo quedan de 10 a 20 t ha⁻¹ de raíces, que contribuyen a mejorar las condiciones para el establecimiento de los cultivos anuales (Pereira y Pacheco, 2003).

Las praderas introducidas en los Llanos están constituidas principalmente por la gramínea *Brachiaria decumbens*, que ha sido base para el desarrollo de una ganadería más productiva, no obstante, en la actualidad la producción animal es baja como consecuencia de

la degradación de praderas ocasionada por varios factores dentro de los cuales la falta de fertilización en el establecimiento y mantenimiento de las praderas se constituye en la principal causa de la baja productividad de los pastos en esta región (Rincón, 1999). La problemática de la degradación de praderas esta 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; este proceso de deterioro ya supera el 60% de esta área (Kerridge, 2001). 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; en donde se están dejando de producir 154.000 toneladas de carne al año, que equivale a 342.000 novillos con un peso de 450 kg/animal.

La utilización de cultivos permite recuperar praderas degradadas e incrementar la disponibilidad de fuentes alimenticias para el ganado especialmente en la época seca cuando disminuye la disponibilidad de forraje en las praderas. La cosecha del grano de los cultivos puede ser utilizada para la alimentación humana, para la elaboración de concentrados para animales o en la fabricación de suplementos para la alimentación de los bovinos, en la propia finca. El establecimiento o renovación de praderas con cultivos es muy benéfica para el productor porque optimiza la producción de la finca generando una mejor rentabilidad con praderas altamente productivas a bajos costos y evita las pérdidas en producción animal que normalmente ocurren durante la época seca (CORPOICA, 2002).

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 de forraje producto de la nutrición mineral residual aplicada para la producción del cultivo de granos. 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 ver la necesidad de aplicar fertilización de mantenimiento a las praderas para conservar la productividad animal durante varios años, tema del cual trata el presente trabajo.

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló entre Agosto y diciembre del 2004 en un Oxisol de terraza media del Centro de Investigaciones Corpoica La Libertad, ubicado en el municipio de Villavicencio (Meta, Colombia) a 9° 6' de latitud norte y 73° 34' de longitud oeste, a 330 m.s.n.m., la precipitación anual promedio de los últimos 30 años ha sido de 2900 mm, el promedio de temperatura es de 26 °C y una humedad relativa de 85% en la época lluviosa y 65% en la época seca. Los suelos son muy ácidos, como lo demuestra el sitio donde se estableció el experimento (Tabla 1) con una saturación de Al de 71,7% mientras que la saturación de bases fue 24,7%. Los nutrientes más deficientes fueron el P, Ca y Mg además la materia orgánica que era de 2.4%, teóricamente aportaría 62 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno (N) para la nutrición de las plantas.

Tabla 1. Características químicas del suelo de la terraza Media del C.I. La Libertad. Piedemonte Llanero.

Parámetro	Valor
pH	4.4
M.O (%)	2.4
P (ppm)	1.0
Ca (me/100 gr)	0.37
Mg (me/100 gr)	0.11
K (me/100 gr)	0.10
Na (me/100 gr)	0.26
Al (me/100 gr)	2.1
Fe (ppm)	126
B (ppm)	0.15
Cu (ppm)	0.8
Zn (ppm)	0.5
CIC efectiva	3.44
Saturación de bases	24.7
Saturación de Al	71.7
Saturación de Ca	12.5
Saturación de Mg	3.7
Saturación de K	3.36

En una pradera degradada se estableció en forma simultánea, el cultivo de maíz híbrido "Master" en asociación con los pastos híbrido de *Brachiaria* cv "Mulato", *Brachiaria brizantha* cv "Toledo", y *Brachiaria decumbens*. El maíz "master" es un híbrido de alta producción de grano amarillo, en condiciones de los Llanos Colombianos, y una de sus principales características es su resistencia al volcamiento por los tallos gruesos y fuertes. Los pastos Mulato y Toledo son materiales de alta producción y calidad nutritiva que se adaptan a suelos de mejor fertilidad, en tanto el *B. decumbens* es una gramínea con buena adaptación a suelos ácidos y de mayor difusión en la Orinoquia Colombiana.

La renovación de la pradera con la asociación maíz-pastos, se hizo por el mejoramiento de la fertilidad de los suelos debido a las enmiendas y fertilizantes aplicados al maíz, que posibilita la introducción de especies forrajeras de alto potencial productivo para sistemas intensivos de producción animal y por el beneficio económico que se obtiene con el grano de maíz producido, en la reducción de los costos ocasionados en la renovación de praderas.

Para determinar el efecto del N en el desarrollo y producción de grano de maíz y biomasa de pasto, se evaluaron las dosis de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados en forma fraccionada al surco del maíz, a los 15 y 35 días después de la siembra de la asociación.

Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, con la siguiente asignación:

Parcela principal: Gramínea forrajera (área de 3 ha)

Subparcela: niveles de nitrógeno (área de 1 ha)

Numero total de unidades experimentales: 18 (3 pastos x 2 niveles de nitrógeno x 3 repeticiones).

Tratamientos

El cultivo de maíz se estableció en asocio con los pastos y con dos niveles de N, bajo los siguientes tratamientos:

- Maíz en asocio con el híbrido de *Brachiaria* cv Mulato + 100 kg de N
- Maíz en asocio con el híbrido de *Brachiaria* cv Mulato +200 kg de N
- Maíz en asocio con el *Brachiaria brizantha* cv Toledo + 100 kg de N
- Maíz en asocio con el *Brachiaria brizantha* cv Toledo + 200 kg de N
- Maíz en asocio con el *Brachiaria decumbens* + 100 kg de N
- Maíz en asocio con el *Brachiaria decumbens* + 200 kg de N

Establecimiento del experimento

La labranza se inició con un pase de rastra con el fin de reducir la cobertura de pasto y brindar mejores condiciones para la acción del cincel rígido, que trabajó a una profundidad entre 20 y 25 cm. Posteriormente se aplicó, una mezcla de cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola por medio de una encladora y luego se incorporó con un pase de rastra.

Las enmiendas y fertilizantes se aplicaron teniendo en cuenta los resultados del análisis químico de los suelos y a las exigencias del híbrido de maíz en suelos ácidos. La cal dolomítica, la roca fosfórica y el yeso agrícola se usaron como enmienda, para reducir la saturación de Al y para corregir las deficiencias de Ca, P, Mg y azufre (S) del suelo. Estos tres insumos fueron mezclados y aplicados 45 días antes de la siembra, para tener mejores condiciones de saturación de bases para el desarrollo del maíz. La aplicación de la roca fosfórica obedeció a la alta deficiencia de P en el suelo y a la necesidad de tener una reserva en el suelo para aprovechamiento por parte de los pastos, ya que por la lenta solubilidad de la roca fosfórica, el P no estaría disponible para satisfacer las necesidades del cultivo de maíz, para lo cual se aplicó fosfato diamónico (DAP), fertilizante rápidamente disponible para ser absorbido por las raíces.

La fertilización que se aplicó a la asociación maíz-pastos, se hizo con base en los requerimientos del cultivo del maíz, y de acuerdo a los contenidos de minerales en el suelo, esta fertilización fue la siguiente:

- 1500 kg ha⁻¹ de cal dolomítica (399 kg de Ca, 88,5 kg de Mg)
- 400 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (50 kg de P, 99,6 kg de Ca)
- 300 kg ha⁻¹ de yeso agrícola (55 kg de Ca, 44,4 kg de S)
- 150 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (29 kg de P, 27 kg de N)
- 150 kg ha⁻¹ de cloruro de K (75 kg de K)
- 20 kg ha⁻¹ de Borozinco (3000 g de Zn, 100 g de Cu, 500 g de B y 1200 g de S).

De acuerdo a estas cantidades de insumos, la dosis por hectárea fue de 555 kg de Ca, 88 kg de Mg, 79 kg de P, 75 kg de K y 44 de S.

La única fuente de variación en la fertilidad fue el nivel de N aplicado (100 y 200 kg de N ha⁻¹). La fertilización nitrogenada se aplicó en forma fraccionada a los 15 y 35 días después de

la siembra, en partes iguales. En el momento de la siembra se aplicó a todos los tratamientos 27 kg ha⁻¹ de N contenidos en los 150 kg ha⁻¹ de DAP utilizados como fuente.

El maíz se estableció con una densidad de siembra de 22 kg ha⁻¹ en surcos separados a 80 cm con 5 a 6 plantas por metro lineal, con una maquina sembradora-abonadora, la cual depositó la semilla a una profundidad promedio de 3 cm y el fertilizante de establecimiento (N + P + K + zinc + cobre + boro) en el mismo surco del maíz, a una profundidad promedio de 5 cm. Las gramíneas forrajeras se sembraron inmediatamente después de realizada la siembra del maíz, con otra sembradora en surcos separados a 50 cm con una densidad de siembra de 4 kg ha⁻¹, en sentido perpendicular a la siembra del maíz.

La determinación de los minerales en suelos y en plantas se hizo mediante la metodología descrita en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipo de análisis realizados con su respectiva metodología

Tipo de análisis	Metodología
Acidez intercambiable	Extracción con KCl 1N, titulación con HCl y NaOH 0,01N por el método de Yuan.
Materia orgánica	Método de Walkley-Black
P	Bray II
Ca, Mg, K	Extracción con acetato de amonio, determinación por absorción atómica
Fe, Mn, Zn, Cu, B	Extracción con doble ácido (H ₂ SO ₄ , HCl), Por el método de Carolina del Norte.
P, K, Ca, Mg y S, en forraje	Espectrofotometría.

Resultados y discusión

Características químicas de los suelos después de la cosecha del maíz

Las características químicas de los suelos reportadas en la Tabla 3, incluye los contenidos de elementos mayores y menores en el suelo inmediatamente después de cosechado el maíz y antes de iniciar el pastoreo (cinco meses después de la siembra), bajo los diferentes tratamientos en la asociación de maíz con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo y con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N. Los datos obtenidos revelan que en el momento de la cosecha del maíz, no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en los contenidos de minerales de los suelos, donde se establecieron las asociaciones con los tres pastos ni en los niveles de N aplicados. El contenido de Al fluctuó entre 1.10 y 1.40 me 100 g de suelo⁻¹, el Ca estuvo con un promedio de 1.14 me 100 g de suelo⁻¹, el Mg en 0.22 y el K en 0.08 me 100 g de suelo⁻¹. El contenido de sodio (Na) fue superior al de K en todos los tratamientos, en tanto la materia orgánica presentó un incremento al pasar de 2,2 a 2,6%.

Para determinar los cambios en los contenidos de minerales en el suelo, después de un año de pastoreo, se tomaron muestras de suelo de cada tratamiento y se les determinó nuevamente las características químicas cuyos resultados se presentan en la Tabla 4. Tal como sucedió en el momento de la cosecha del maíz, en esta ocasión (un año después) tampoco se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con los tres pastos ni

entre los niveles de N aplicados. Con excepción del cobre, todos los elementos mayores y menores presentaron disminución en los contenidos en el suelo, destacándose el P que de 11.8 ppm en el momento de la cosecha del maíz y antes de iniciar el pastoreo, disminuyó a 4.2 ppm después de un año de pastoreo.

Haciendo un análisis comparativo en el contenido de cationes del suelo sin intervenir (antes de la siembra de las asociaciones del maíz con los pastos), frente al contenido de cationes en el momento de la cosecha del maíz y antes de iniciar el pastoreo (5 meses dds) y después de un año de pastoreo, se puede ver los cambios sucedidos durante este tiempo con el establecimiento de la asociación maíz – pastos. El contenido de Al en el suelo presentó una reducción importante por efecto de las enmiendas aplicadas antes de la siembra, al pasar de 2.13 me 100 g de suelo⁻¹ a 1,25 me 100 g de suelo⁻¹ en el momento de la cosecha del maíz (Figura 1), esta reducción del Al en el suelo, continuó, ya que después de un año de pastoreo disminuyó a 1.06 me 100 g de suelo⁻¹ posiblemente por acción del Ca de la roca fosfórica y del yeso, que desplazó al Al de los sitios de intercambio cationico de las arcillas para luego formar compuestos con el fosfato y el sulfato que se movilizan a capas profundas del suelo (Plaster, 2005; Potash and Phosphate Institute, 1997; Guerrero, 1993).

El Ca que antes de aplicar las enmiendas, presentó un contenido de 0.37 me 100 g de suelo⁻¹, aumentó a 1.14 me 100 g de suelo⁻¹ después de la cosecha del maíz y luego al año de pastoreo este valor fue de 0,91 me 100 g de suelo⁻¹ presentando un ligero decrecimiento. En las enmiendas aplicadas antes de la siembra, se suministro al suelo 555 kg ha⁻¹ de Ca, parte del cual entro a formar parte de los cationes en el complejo de cambio de las arcillas y parte pudo entrar a formar compuestos con aniones los cuales van a capas más profundas del suelo. De acuerdo a los análisis, después de la cosecha del maíz, en el suelo se encontró 0.77 me 100 gr de suelo⁻¹ mas de lo que originalmente se encontró antes de aplicar las enmiendas, lo cual representó 308 kg de Ca ha⁻¹. Después de un año de pastoreo el Ca presentó una reducción de 0.23 me 100 gr de suelo⁻¹ equivalente a 92 kg ha⁻¹ que parte pudo ser tomada por los pastos.

El Mg en el suelo era de 0.11 me 100 gr de suelo⁻¹ y se duplicó con las enmiendas aplicadas antes de la siembra, porque se aumentó a 0.22 me 100 g de suelo⁻¹ al momento de la cosecha del maíz. Después de un año de pastoreo el Mg en el suelo fue de 0.17 me 100 gr de suelo⁻¹. El Mg aplicado con la cal dolomítica fue de 88 kg ha⁻¹ sin embargo por la menor fuerza relativa de enlace y menor numero de iones de Mg en el suelo con respecto al Ca (Plaster, 2005), la disponibilidad de Mg en el suelo después de la cosecha de maíz fue de 53 kg ha⁻¹ y después de un año de pastoreo se encontró 41 kg ha⁻¹

Tabla 3. Características químicas de los suelos establecidos con la asociación maíz-pastos. Momento de la cosecha del maíz

Pasto	pH	M.O	C	P	Ac. Int.	Al	Ca	Mg	K	Na	C.I.C.	S	Fe	B	Cu	Mn	Zn
		(%)	(%)	(ppm)	me 100 g de suelo ⁻¹						ppm						
<i>B. decumbens</i>	4.7	2,60	1,53	8,60	1,88	1,40	1,05	0,25	0,07	0,14	3,40	6,00	70,80	0,29	0,58	6,10	1,00
Mulato	4.8	2,70	1,55	12,50	1,80	1,26	1,15	0,19	0,10	0,11	3,30	6,50	65,10	0,35	0,53	6,00	1,28
Toledo	4.8	2,50	1,46	14,50	1,50	1,10	1,21	0,22	0,07	0,12	3,10	5,60	70,80	0,31	0,63	7,30	1,60
Promedio	4.77	2,60	1,51	11,87	1,73	1,25	1,14	0,22	0,08	0,12	3,27	6,03	68,90	0,32	0,58	6,47	1,29
N:																	
100 kg ha ⁻¹	4.7	2,60	1,52	11,5	1,75	1,26	1,12	0,22	0,08	0,13	3,3	6	71,2	0,31	0,6	7	1,38
200 kg ha ⁻¹	4.8	2,58	1,51	12,2	1,7	1,24	1,15	0,22	0,08	0,13	3,3	6,1	66,6	0,32	0,56	6	1,23
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Promedio	4.75	2,59	1,51	11,85	1,73	1,25	1,14	0,22	0,08	0,13	3,3	6,05	68,9	0,315	0,58	6,5	1,30
C.V.(%)	1.9	14.6	13.6	23.7	17.5	17.3	22.8	26.7	17.0	25.1	5.3	18.2	18.3	39.0	22.1	25.1	34.0

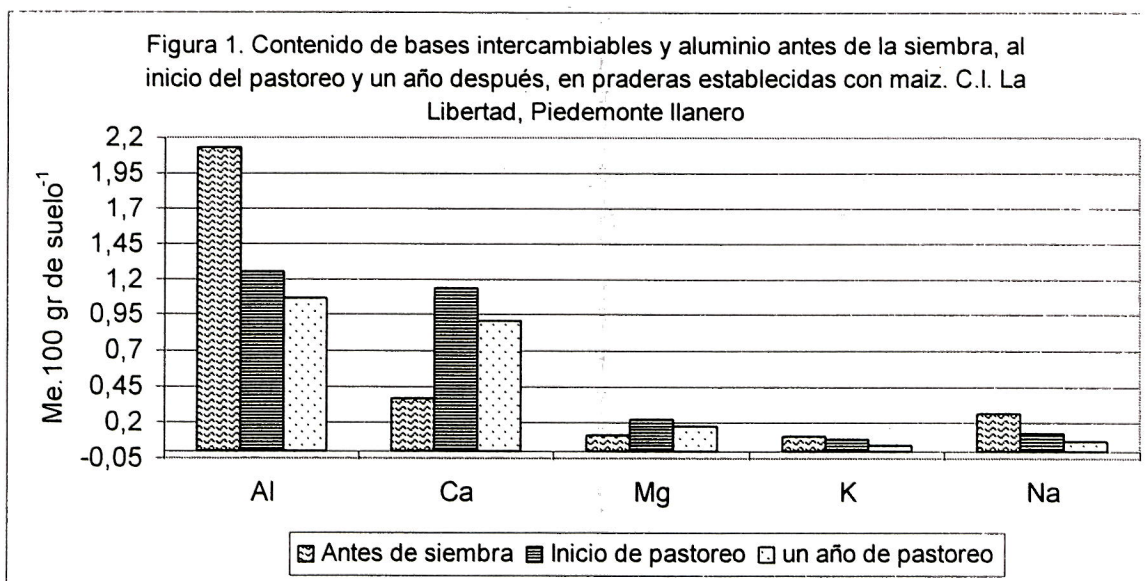
Tabla 4. Características químicas de los suelos establecidos con la asociación maíz-pastos, después de un año de pastoreo

Pasto	pH	M.O	C	P	Ac. Int.	Al	Ca	Mg	K	Na	C.I.C.	S	Fe	B	Cu	Mn	Zn
		(%)	(%)	(ppm)	me 100 g de suelo ⁻¹						ppm						
<i>B. decumbens</i>	4,51	2,18	1,26	5,16	1,40	1,01	1,04	0,20	0,04	0,06	2,75	4,66	60,00	0,25	0,65	4,50	1,01
Mulato	4,40	2,18	1,25	3,16	1,90	1,28	0,73	0,13	0,05	0,05	2,85	3,83	70,30	0,23	0,68	4,30	1,03
Toledo	4,58	2,05	1,18	4,33	1,25	0,90	0,95	0,19	0,03	0,09	2,78	4,60	68,60	0,22	0,65	6,60	0,83
Promedio	4,50	2,14	1,23	4,22	1,52	1,06	0,91	0,17	0,04	0,07	2,79	4,36	66,30	0,23	0,66	5,13	0,96
N:																	
100 kg ha ⁻¹	4,5	2,1	1,2	4,2	1,6	1,1	0,79	0,17	0,03	0,06	2,8	3,87	67	0,24	0,66	5,4	1
200 kg ha ⁻¹	4,5	2,1	1,2	4,2	1,4	1	1,01	0,18	0,05	0,08	2,7	4,77	64	0,23	0,65	4,8	0,8
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Promedio	4,5	2,1	1,2	4,2	1,5	1,05	0,9	0,175	0,04	0,07	2,75	4,32	65,5	0,24	0,655	5,1	0,9
C.V.(%)	3,2	7,1	6,8	36,8	26,4	32,6	23	36,8	39,3	39,7	8,1	9,7	38,5	8,8	8,3	23,5	31,8

ns: Diferencias no significativas, (P >0.05) Tukey

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 me 100 g de suelo⁻¹ al momento de la cosecha del maíz se redujo a 0,08 me 100 g de suelo⁻¹ y al año de pastoreo a 0,04 me 100 g de suelo⁻¹. En la fertilización se aplicó 75 kg ha⁻¹ de K, con cloruro de K como fuente.

El Na, mineral considerado como no esencial en el desarrollo de las plantas, fue el que mayor reducción presentó debido a que de 0,26 me 100 g de suelo⁻¹ pasó a 0,07 me 100 g de suelo⁻¹ después de un año de pastoreo. 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.



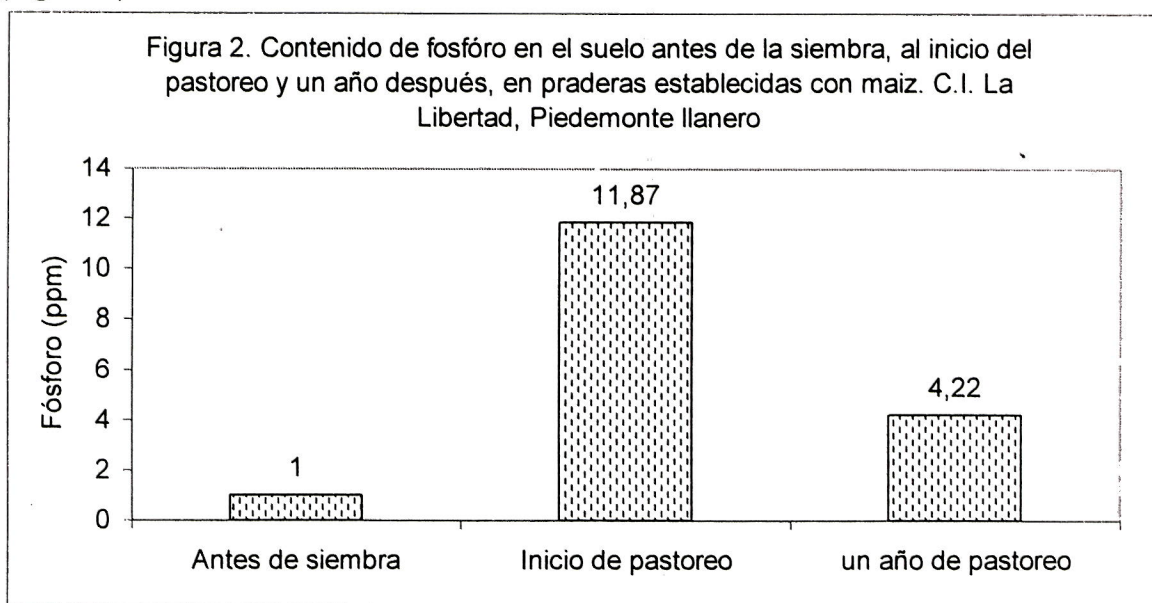
Teniendo en cuenta estos cambios sucedidos en la concentración de cationes en el suelo, la saturación de bases se aumentó de 24,7% antes de aplicar las enmiendas, a 47,7 % al momento de la cosecha del maíz, para luego disminuir a 42,5% al año de pastoreo, la saturación de Al se redujo de 71,7 a 47,7%, la saturación de Ca se aumentó en más de tres veces y la de Mg en dos veces (Tabla 4), brindando las condiciones de saturación de bases adecuadas para el desarrollo de pastos exigentes como el pasto Mulato y Toledo, con excepción del K, nutriente que será necesario suministrarlo con fertilización de mantenimiento.

Con la siembra de las asociaciones, la materia orgánica presentó un incremento al pasar de 2,26% a 2,6% en el momento de la cosecha del maíz, sin embargo, al año de pastoreo, su contenido disminuyó a 2,14%. Teniendo en cuenta que la materia orgánica es la fuente del N, elemento considerado de mayor importancia en la nutrición de pastos para la obtención de alta disponibilidad de biomasa con buen contenido de proteína, los 42 kg ha⁻¹ que aporta anualmente la materia orgánica, no son suficientes, por lo tanto será necesario hacer fertilización de mantenimiento con productos nitrogenados.

Tabla 4. Saturación de bases intercambiables (%) en el suelo antes de la labranza, en el momento de la cosecha del maíz y después de un año de pastoreo. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero.

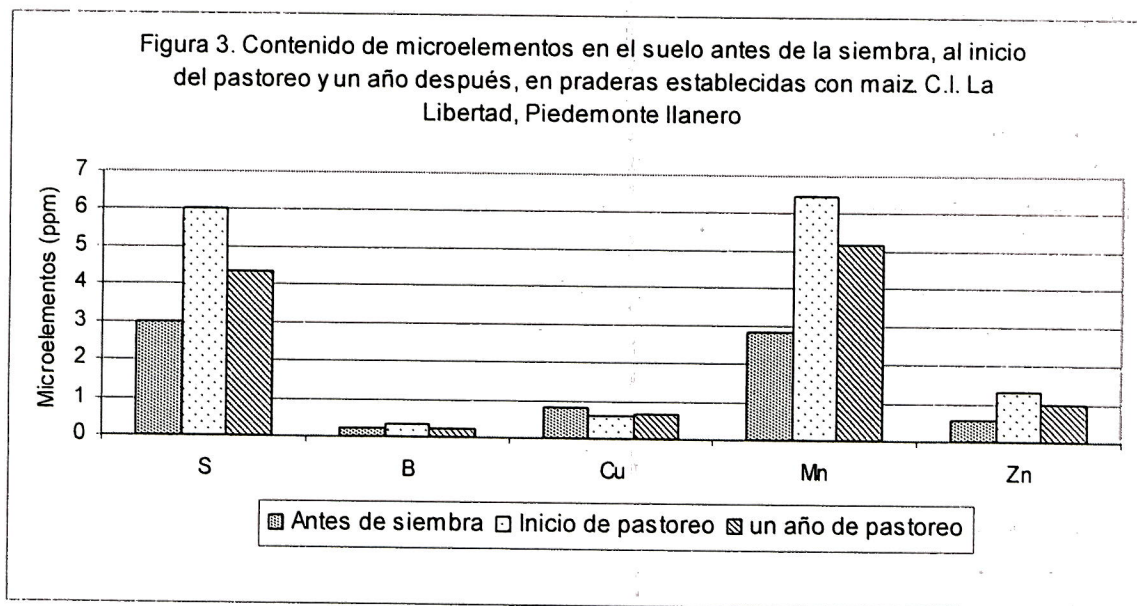
Característica	Antes de labranza	Después de cosecha de maíz	Después de un año de pastoreo
CIC	3.44	3.27	2.79
Saturación de bases	24.7	47.7	42,48
Saturación de Al	71.7	44.5	47,61
Saturación de Ca	12.5	40.6	40,30
Saturación de Mg	3.7	7.8	7.7
Saturación de K	3.36	2.8	1,8

El P fue uno de los minerales con mayor incremento al pasar de solo 1 ppm antes de la siembra, a 11,9 ppm después de la cosecha del maíz. 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 contenidos de P y Ca. Sin embargo, se ha comprobado la mayor efectividad de fertilizantes solubles fosfatados como el fosfato diamonico 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 nutrientes móviles, el P permanece disponible por largos periodos de tiempo cerca del sitio donde se aplicó para proporcionarle a los pastos establecidos en asociación con maíz, el P requerido, después de su establecimiento. (CIAT, 1986). Después de un año de pastoreo, el contenido de P disponible en el suelo se vio disminuido notoriamente al pasar de 11.8 ppm a 4.2 ppm (Figura 2).



Como en la mayoría de los oxisoles, el hierro fue el micronutriente que presentó mayor contenido a los 5 meses con 68.9 ppm y 66 ppm al año de pastoreo, sin embargo, el contenido se redujo con respecto al contenido inicial que fue de 126 ppm. El boro, cobre y zinc continuaron siendo deficientes después de la cosecha del maíz, con solo 0.32, 0,58 y

1.29 ppm respectivamente (Figura 3), considerando que los contenidos adecuados en estos suelos debe ser de 0.6, 3 y 4 ppm, en el mismo orden. Sin embargo las deficiencias de Boro y zinc se incrementaron al año de pastoreo al llegar a contenidos de 0,23 y 0,96 ppm respectivamente. El manganeso con un promedio de 6.5 ppm antes del pastoreo y de 5.1 ppm al año de pastoreo, se encuentra en un nivel cercano al normal que es de 10 ppm y el S que es un nutriente importante para la síntesis de algunas proteínas, se encontró en un nivel de 6.0 ppm antes del pastoreo y 4.3 al año de pastoreo, valores inferiores a los requerimientos de las plantas que es de 15 ppm (Salinas, 1989).



Hasta en momento de la cosecha de maíz, el N disponible en la materia orgánica del suelo, no presentó variación con respecto a los estados iniciales, ya que de 44 kg ha⁻¹ antes de la labranza pasó a 46 kg ha⁻¹ a los 5 meses de esta labor. Después de un año de pastoreo el contenido de N proveniente de la materia orgánica fue de 42.7 kg ha⁻¹. El P mejoró notablemente su contenido en el suelo al pasar de 2 a 23.8 kg ha⁻¹, pero posteriormente disminuyó a 8.4 kg ha⁻¹ de igual forma el Ca, Mg y S aumentaron a 456, 52.8 y 12 kg ha⁻¹ respectivamente, al momento de la cosecha del maíz. Después de un año de pastoreo estos valores permanecieron en 362.7, 41.6 y 8.7 kg ha⁻¹ en el mismo orden (Tabla 5).

El K fue el único nutriente que no aumentó su contenido en el suelo con el establecimiento de la asociación maíz-pastos, sin embargo es conocida la buena capacidad de restitución de K en los suelos de los Llanos Orientales, por presencia de este elemento en las arcillas vermiculita e illita que liberan K en forma aprovechable por las plantas. Esto hace que aún en pequeñas cantidades presentes en estas arcillas, tengan un efecto relevante en la dinámica del elemento y en muchos casos, las respuestas erráticas a la fertilización potásica de varias especies agrícolas de los Llanos Orientales y del Piedemonte Llanero, parecen tener respuestas de este tipo de mecanismo, lo cual obliga a redefinir cuales son las mejores temporadas estacionales de aplicación de este nutriente, dosis y la forma de aplicación, en la cual la fijación no sea tan alta. (Dávila *et al.*, 1998). Salamanca *et al.* (1999) no obtuvieron respuesta a la aplicación de K en el cultivo de soya, a pesar de su bajo contenido en el suelo (0.10 me 100 g de suelo⁻¹), la producción de grano de soya no se incrementó, sin embargo, el contenido de este elemento en el grano aumento entre 1.9 y 3.4% con la aplicación de 25 y 50 kg ha⁻¹ de K, respectivamente.

Tabla 5. Disponibilidad de minerales en el suelo (kg ha⁻¹) antes de la labranza, después de la cosecha del maíz y después de un año de pastoreo. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero.

Disponibilidad de minerales en suelo	N	P	K	Ca	Mg	S
Antes de labranza	44	2	78	148	26.4	6
Después de cosecha del maíz	46	23.8	62.4	456	52.8	12
Después de un año de pastoreo	42.7	8,4	31.2	362.7	41.6	8.7

Contenido de minerales en el grano de maíz

Se analizó el contenido de minerales en el grano de maíz cosechado, en la soca de maíz (hojas y tallos después de la cosecha del grano) y en los pastos, para determinar la extracción y reciclaje de nutrientes por estos componentes de la asociación maíz-pastos. En los análisis realizados no se presentaron diferencias significativas en el contenido de minerales en el grano de maíz cuando este cultivo estuvo asociado con los tres pastos ni entre los dos niveles de N evaluados (Tabla 6). El grano de maíz presentó mayor contenido de N (1.1 %) con respecto a los otros minerales analizados, seguido por el K (0.54 %) y el P (0.31%). El Ca fue el elemento de menor contenido en el grano, con solo 0.021 % seguido por el Mg y S con 0.11% y 0.12% respectivamente.

Tabla 6. Contenido de minerales en el grano de maíz (%) cultivado en asociación con tres pastos y dos niveles de N. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>B. decumbens</i>	1,11	0,32	0,55	0,02	0,12	0,14
Mulato	1,04	0,27	0,54	0,021	0,11	0,11
Toledo	1,12	0,33	0,52	0,023	0,1	0,12
D.M.S.	0,13	0,058	0,055	0,018	0,048	0,051
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Promedio	1,09	0,31	0,54	0,021	0,11	0,12
N:						
100 kg ha ⁻¹	1,07	0,29	0,52	0,021	0,11	0,12
200 kg ha ⁻¹	1,1	0,32	0,56	0,022	0,12	0,13
D.M.S.	0,078	0,055	0,033	0,0067	0,028	0,012
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Promedio	1,08	0,30	0,54	0,021	0,115	0,12
C.V	6,2	15,4	5,2	26,6	21,2	8,4

ns: Diferencias no significativas, (P >0.05) Tukey

Contenido de minerales en la soca de maíz

En la soca del maíz, el contenido de K fue de 0.81%, en el tratamiento donde este cultivo estuvo asociado con *B. decumbens* seguido por la asociación con pasto Toledo y pasto Mulato con 0,73 %, 0,66 % respectivamente. De todos los minerales evaluados, el K fue el de mayor contenido en las socas del maíz, con un promedio de 0.73%, en tanto, el P se presentó en cantidades muy bajas, con solo 0.017 %. El Ca, Mg y S tampoco presentaron diferencias significativas por consiguiente los promedios obtenidos fueron de 0.14%, 0.15% y 0.097%, respectivamente. El N presente en estas socas, fue de un 50% con relación al encontrado en el grano de maíz (Tabla 7). Con respecto a los tratamientos con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N, no se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$), con excepción del contenido de K a favor del tratamiento donde se aplicó 200 kg de N, el cual fue de 0,79%.

Tabla 7. Contenido de minerales (%) en la soca del maíz establecido en asociación con tres pastos y dos niveles de N. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>B. decumbens</i>	0,43 b	0,020 a	0,81 a	0,14 a	0,15 a	0,096 a
Mulato	0,43 b	0,018 a	0,66 b	0,16 a	0,15 a	0,100 a
Toledo	0,53 a	0,015 a	0,73 ab	0,13 a	0,15 a	0,095 a
D.M.S.	0,075	0,020	0,10	0,024	0,038	0,021
N:						
100 kg ha ⁻¹	0,46 a	0,017 a	0,67 b	0,14 a	0,15 a	0,09 a
200 kg ha ⁻¹	0,47 a	0,017 a	0,79 a	0,14 a	0,15 a	0,10 a
D.M.S.	0,027	0,0094	0,029	0,0072	0,061	0,013
CV (%)	5,08	35,9	3,4	4,3	3,4	12,2

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p<0.05$) según la prueba de Tukey

Contenido de minerales en los pastos

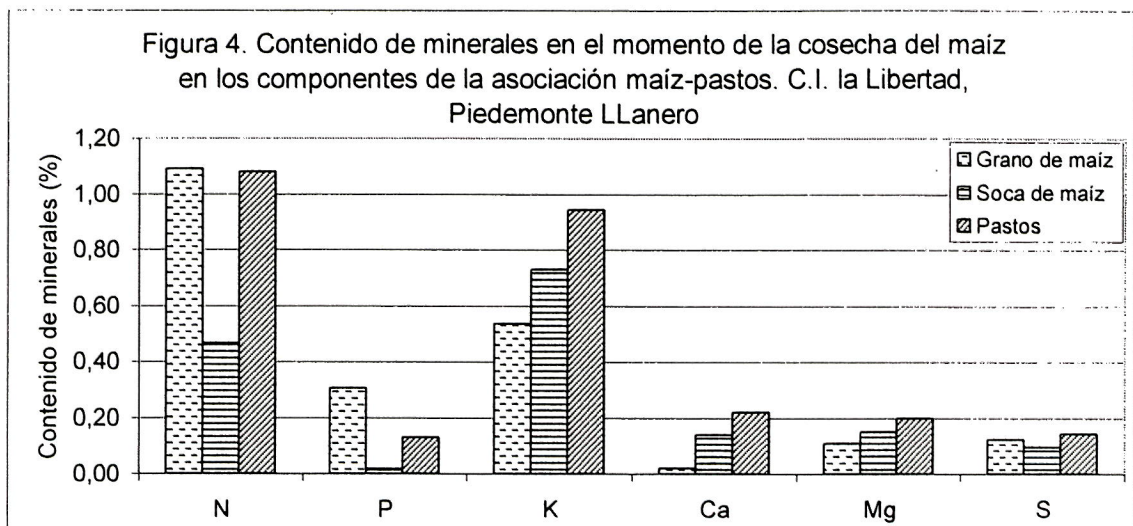
En el pasto Mulato el contenido foliar de Ca y S fue superior significativamente ($P<0.05$), con 0.29% y 0.16 % respectivamente. En los otros minerales, el contenido fue similar en los tres pastos con promedios de 1.08%, 0.13%, 0.95% y 0.19% para el N, P, K y Mg respectivamente. En las dosis de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados al maíz, no se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) en el contenido de este elemento en las hojas del pasto, lo mismo que en los demás minerales con excepción del Ca y S que a la dosis de 200 kg ha⁻¹, la proporción de estos elementos fue superior significativamente ($p<0.05$) con 0,24 y 0.15 %, respectivamente. (Tabla 8).

Tabla 8. Contenido de minerales (%) en las hojas de pastos establecidos en asociación con maíz, en el momento de la cosecha del maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>B. decumbens</i>	1,07 a	0,12 a	0,96 a	0,17 b	0,17 a	0,14 ab
Mulato	1,08 a	0,14 a	0,87 a	0,29 a	0,24 a	0,16 a
Toledo	1,09 a	0,13 a	1,02 a	0,19 b	0,18 a	0,13 b
D.M.S.	0,20	0,047	0,45	0,069	0,074	0,026
N:						
100 kg ha ⁻¹	1,08 a	0,13 a	1,02 a	0,20 b	0,18 a	0,14 b
200 kg ha ⁻¹	1,08 a	0,13 a	0,87 a	0,24 a	0,22 a	0,15 a
D.M.S.	0,11	0,037	0,23	0,038	0,069	0,009
CV (%)	9,5	24,2	21,0	15,0	29,8	5,3

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

En la Figura 4 se presenta en forma comparativa la proporción de cada mineral en los componentes de la asociación maíz – pastos, en el momento de la cosecha del maíz. El contenido de N en las el grano de maíz y en las hojas del pasto fue de 1.10% y 1.08% este valor expresado en proteína cruda tanto en el grano como en el forraje, equivale a un 6.9%, sin embargo, en soca del maíz, este nutrimento se presentó en concentraciones más bajas con 0,49%. En cuanto al P, su contenido en la soca del maíz fue de solo 0,02%, en cambió en el grano del maíz fue del 0,36% y en el pasto de 0,14%. El mayor contenido de K se presento en las hojas del pasto con un promedio de 0.95% seguido por la soca del maíz con 0.73% y por el grano de maíz con 0.54%. En el mismo orden, el Ca fue mayor en el pasto con 0.21% seguido por la soca del maíz con 0.14% y el grano con 0.021%. En las hojas de pasto también se presentó mayor contenido de Mg, seguido por la soca y por el grano del maíz cuyos valores fueron de 0.19%, 0.15% y 0.11% respectivamente. El contenido de S fue mayor en el pasto y en el grano de maíz con 0.14% y 0.12% respectivamente en tanto en la soca del maíz fue de solo 0,097%



Extracción de minerales por el maíz y los pastos

La extracción de nutrientes del suelo por los pastos, presentaron algunas diferencias condicionadas a la especie y a la producción de biomasa. En el momento de la cosecha del maíz, la acumulación de masa seca fue 4463, 4431 y 3762 kg ha⁻¹ en Pasto Toledo, pasto Mulato y *B. decumbens*, respectivamente. Teniendo en cuenta esta producción de forraje y el contenido de minerales en las hojas, en la Tabla 9 se presenta la cantidad de nutrientes extraídos por cada especie de pasto. Los pastos Mulato y Toledo considerados como de mejor calidad y producción de forraje, también fueron los de mayor extracción de nutrientes del suelo, especialmente el pasto Mulato que acumulo en sus hojas más Ca, Mg y S con 12.8, 10.6 y 7 kg ha⁻¹ respectivamente. Este pasto extrajo 50% mas de Ca, 40 % mas de Mg y 25% más de S con relación a lo extraído por el *B. decumbens*, especie bien adaptada a los suelos ácidos, que se caracterizó por la menor extracción de todos los nutrientes evaluados. Por su parte el pasto Toledo, extrajo mayor cantidad de K y N con 45 y 48 kg ha⁻¹, respectivamente. En general, los nutrientes extraídos en mayor cantidad por los pastos fueron el N y el K, mientras los de menor extracción fueron el P y el S.

Tabla 9. Extracción de minerales (kg ha⁻¹) en los pastos establecidos en asociación con maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Pasto	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>B. decumbens</i>	40,3	4,5	36,1	6,4	6,4	5,3
Mulato	47,9	6,2	38,5	12,8	10,6	7,1
Toledo	48,6	5,8	45,5	8,5	8,0	5,8

En la Tabla 10 se hace un balance de los minerales en el sistema, entre su contenido 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 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 mas elevada y mayor división de poteros, contribuyen a una distribución más uniforme de las excretas.

La disponibilidad total de N para el desarrollo de la asociación maíz-pastos, fue de 104 kg ha⁻¹ proveniente de la mineralización del 2.2% de la materia orgánica, que aportó 44 kg ha⁻¹ de N y de la fertilización nitrogenada la cual fue de 60 kg ha⁻¹, considerando que con la dosis de 100 kg ha⁻¹ de N 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), mientras que en la dosis de 200 kg ha⁻¹ de N, la disponibilidad de este elemento fue de 120 kg ha⁻¹.

Con una producción de 4000 kg ha⁻¹ de grano de maíz, la extracción de N en el grano cosechado fue de 43,6 kg, y en los 3782 kg ha⁻¹ de la soca del maíz, se extrajo 17.5 kg de N. En los pastos, con una producción promedia de 4218 kg ha⁻¹ de forraje seco, los pastos obtuvieron del suelo 45.5 kg de N, por consiguiente la extracción total de N por el maíz y por los pastos fue de 106 kg ha⁻¹, cantidad que estaba disponible en el suelo y que fue aprovechada en su totalidad por los cultivos cuando estos fueron fertilizados con 100 kg ha⁻¹ de N. En la dosis de 200 kg la planta disponía de más cantidad de N (164 kg ha⁻¹) sin embargo, este no fue aprovechado por las plantas como se pudo constatar al no existir diferencias significativas entre los contenidos de N en el grano y en la soca de maíz y en los pastos. De los 106 kg de N extraído por el maíz y el pasto, retornaron al suelo 17.7 kg contenido en la soca del maíz y 36.5 kg contenido 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 retorno al suelo un 46.3%.

La extracción total de P por el maíz y el pasto, fue de 18.4 kg ha⁻¹ 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 diamonico (DAP), que aporoto 30 kg ha⁻¹ de P. Además el suelo en su fertilidad natural disponía de 2 kg ha⁻¹ de este nutriente. Antes de la siembra, también se aplicó 50 kg ha⁻¹ 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, retornó 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⁻¹ 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⁻¹ 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⁻¹. El K extraído fue de 89.3 del cual un 45% fue absorbido por el pasto. De todo el K tomado por el maíz y el pasto, 25.5 kg ha⁻¹ salieron del sistema en el grano de maíz y en carne y retorno al suelo 63.7 kg ha⁻¹ que equivale a un 71.3% del K absorbido por el maíz y el pasto. El Ca fue el elemento de mayor contenido en el suelo con 703 kg ha⁻¹, gran parte de este mineral fue suministrado por la fertilización con cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola (555 kg ha⁻¹) además el Ca aportado por el suelo fue de 148 kg ha⁻¹. Sin embargo el Ca extraído por las plantas fue de solo 15.5 kg ha⁻¹ 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⁻¹, 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⁻¹. Del total de Mg tomado por las plantas, 13.1 kg ha⁻¹

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⁻¹ y el suelo aportó 6 kg ha⁻¹. De este S disponible, la planta extrajo 15 kg ha⁻¹ y regresó al suelo 9.1 kg ha⁻¹ que equivale al 61% del S tomado por las plantas (Tabla 10).

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 10. Extracción de minerales del suelo (kg ha⁻¹) 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. . C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

	N	P	K	Ca	Mg	S
Minerales en el suelo:						
aplicado en fertilización	100 ¹	30 ²	75	555 ³	88 ⁴	43 ⁵
Fertilidad natural	44	2	78	148	26,4	6
total	104⁶	32	153	703	114,4	49
Minerales extraídos:						
Grano de maíz	43,60	12,27	21,47	0,85	4,40	4,93
Soca de maíz	17,52	0,67	27,73	5,42	5,67	3,67
Pasto	45,58	5,51	40,06	9,24	8,35	6,05
total	106,7	18,4	89,3	15,5	18,4	14,7
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 ⁷	36,5	4,96	36,0	8,31	7,51	5,44
Total	49,43	5,63	63,73	13,73	13,18	9,11
-Minerales en el suelo después de cosecha de maíz (estimada) ⁸	46,7	19,2	127,4	700,7	109,1	43,4
-Minerales en el suelo después de cosecha de maíz (análisis de suelos)	46,0	23,8	62,4	456,0	52,8	12,0
-Minerales en el suelo Después de un año de pastoreo (análisis de suelos)	42,7	8,4	31,2	362,7	41,6	8,7

¹. Los cálculos se realizaron con el tratamiento donde se aplicó 100 kg ha⁻¹

². Se tuvo en cuenta el P de rápida disponibilidad contenido en el fosfato diamónico, no se tuvo en cuenta el P aportado por la roca fosfórica el cual es de lenta solubilidad y solo estará disponible para los pastos

³. El Ca correspondió a 399 kg Ca provenientes de la cal dolomítica, 99.6 kg de Ca provenientes de la roca fosfórica, 55.5 kg de Ca provenientes del yeso agrícola. Este Ca además de nutriente a la planta su principal función es la de neutralizar al Al y mejorar la saturación de bases del suelo.

⁴. El Mg es aportado por la cal dolomítica aplicada

⁵. El S es aportado por el yeso agrícola aplicado

⁶. De los 100 kg de N aplicados se estima que el 60% queda disponible para la planta

⁷ Se estima que del N tomado por los bovinos en el forraje consumido, el 80% retorna al suelo en heces y orina. Por su parte el 90% del P, Ca, Mg, K y S retornan al suelo.

⁸ Minerales en el suelo después de cosecha de maíz = (minerales en el suelo – minerales extraídos) + minerales que retornan al suelo

Teniendo en cuenta la disponibilidad de minerales en el suelo después de la cosecha del maíz, estimada en los cálculos de extracción y retorno al suelo, frente a la disponibilidad calculada con base en el análisis de suelos, realizado después de cosechado el grano, se encontró que el N presentó buena correspondencia entre lo estimado y el análisis de suelo, con una disponibilidad en el suelo de 46 kg ha⁻¹ después de la cosecha del maíz. La disponibilidad de P fue un tanto superior (23.8 kg ha⁻¹) en el análisis de suelos, en tanto el K, Ca, Mg y S si presentaron amplias diferencias entre lo estimado y lo obtenido en el análisis de suelos. Este comportamiento puede ser explicado en el caso del Ca y S en la formación de compuestos de sulfato de Ca que tienen mayor movilidad en el perfil del suelo llegando a capas más profundas, también el anión sulfato del yeso agrícola, pudo reaccionar con los cationes K y Mg y movilizarse en el perfil del suelo (Gomes *et al.*, 2001, Monteiro *et al.*, 2004; Kaiser y Isselstein, 2005). Los cationes son retenidos electrostáticamente en el complejo coloidal del suelo cuya intensidad de retención depende de la valencia y del radio del ión cuando es hidratado, de esta manera, el K por ser monovalente es menos retenido que los cationes divalentes como el Ca y el Mg (Mendes *et al.*, 2004), razón que puede explicar la diferencia entre la disponibilidad de K estimado de 127.4 kg ha⁻¹ y la obtenida en el análisis de suelos de 63.7 kg ha⁻¹.

Minerales en los pastos durante la fase de pastoreo

En el análisis foliar realizado en la mitad del periodo del pastoreo (Tabla 11), no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el contenido de N en los tres pastos ni entre los niveles de N aplicados en el establecimiento de estos asociados con el maíz, sin embargo en otros nutrientes, Los pastos *B. decumbens* y Mulato fueron superiores significativamente ($p < 0.05$) con unos contenidos promedios de 0.23% de P, 1.28% de K, 0.30% de Mg y 0.13% de S. Teniendo en cuenta las exigencias de bovinos de carne, estos contenidos si cumplieron con los requerimientos, con excepción del S. (McDowell *et al.*, 1997). En el pasto Toledo las concentraciones de minerales fue menor, lo cual fue compensado con la mayor producción de biomasa.

Durante el año de pastoreo, la producción de forraje de *B. decumbens* fue de 10400 kgMS ha⁻¹, el pasto Mulato produjo 13270 kgMS ha⁻¹ y el Toledo 14160 kgMS ha⁻¹. Teniendo en cuenta esta producción de forraje y los contenidos foliares reportados en la Tabla 11, la extracción de minerales que los pastos realizaron durante el año de pastoreo, se representan en la Figura 5, en la cual se puede apreciar que el N fue extraído en mayor cantidad por el Toledo y el Mulato, con un promedio de 180 kg ha⁻¹ mientras que el *B. decumbens* extrajo 140 kg ha⁻¹. Por su parte, el K fue mas extraído por el pasto Mulato con 170 kg ha⁻¹ seguido

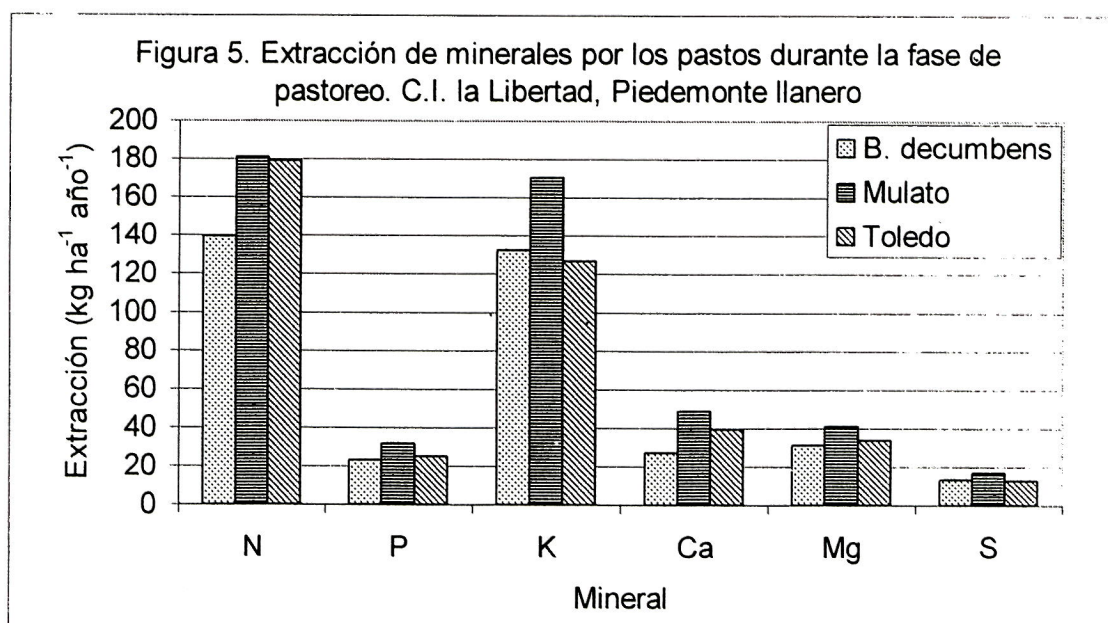
por el *B. decumbens* y el Toledo con 132 y 127 kg ha⁻¹ respectivamente. La absorción de P fue de 31.7, 25.8 y 22.9 kg ha⁻¹ por los pastos Mulato, Toledo y *B. decumbens*, respectivamente. En general, se encontró que la mayor absorción de todos los minerales evaluados, fue hecha por el pasto Mulato.

Tabla 11. Contenido de minerales en el forraje de los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, durante la fase de pastoreo. C.I. la Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>B. decumbens</i>	1,34 a	0,22 a	1,27 a	0,26 b	0,30 a	0,13 a
Mulato	1,37 a	0,24 a	1,29 a	0,37 a	0,31 a	0,13 a
Toledo	1,27 a	0,18 b	0,90 b	0,28 b	0,24 b	0,09 b
C.V (%)	11,2	10,4	14,1	10,4	15,3	6,5
N:						
100 kg ha ⁻¹	8,3	0,21	1,1	0,29	0,26	0,12
200 kg ha ⁻¹	8,3	0,22	1,1	0,31	0,30	0,11
promedio	8.3	0,215	1,1	0,3	0,28	0,115
Significancia (5%)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Requerimientos de bovinos de carne ¹		0.23	0.65	0.30	0.10	0.15

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

¹. Requerimientos de minerales para ganado de carne según National Research Council. Adaptado de Mc Dowell et al, 1997



La extracción de minerales esta directamente relacionada con la especie y con la producción de biomasa de los pastos, especialmente el N, elemento más importante que determina la producción y contenido de proteína del forraje. En la Tabla 12 se presenta un balance entre los minerales extraídos y los reciclados por las excretas de los animales, considerando un retorno de 80% de N y un 90% de los demás minerales. Durante el primer año de pastoreo, en promedio los pastos obtuvieron del suelo 166 kg ha⁻¹ de N que fue consumido por los bovinos, de los cuales retornaron al suelo 133 kg ha⁻¹. Sin embargo, hay que considerar que el 60% de este N se pierde por volatilización, lixiviación y erosión (Dias Filho, 2005, Debeux *et al.*, 2004) de tal forma que realmente solo ingresa nuevamente al sistema solo 53.2 kg ha⁻¹, que junto con la mineralización de la materia orgánica (42.7 kg ha⁻¹ de N), para el segundo año de pastoreo, los pastos disponen de 95.9 kg ha⁻¹. Para conservar la misma producción de biomasa del primer año de pastoreo, será necesario hacer una fertilización con 70.5 kg ha⁻¹ de N (166.4 – 95.9). Con respecto a los otros minerales, se puede apreciar en la Tabla 12, que la disponibilidad para el segundo año de pastoreo (teniendo en cuenta los minerales que retornaron al suelo y lo suministrado por el suelo) pueden alcanzar a cumplir con los requerimientos de los pastos, sin embargo, debe considerarse de forma especial al pasto Toledo que al parecer requiere de mayor disponibilidad especialmente de Ca, P y S para llenar los requerimientos de los animales.

Tabla 12. Extracción de minerales por los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo durante el primer año de pastoreo y estimación de los minerales retornados al suelo en excretas, para determinar la disponibilidad final en el suelo. C.I. La Libertad. Piedemonte llanero.

Minerales extraídos	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>B. decumbens</i>	139,36	22,88	132,08	27,04	31,2	13,52
Mulato	180,84	31,68	170,28	48,84	40,92	17,16
Toledo	179,07	25,38	126,9	39,48	33,84	12,69
Promedio	166,4	26,6	143,1	38,5	35,3	14,5
Minerales reciclados						
<i>B. decumbens</i>	111,488	20,592	118,872	24,336	28,08	12,168
Mulato	144,672	28,512	153,252	43,956	36,828	15,444
Toledo	143,256	22,842	114,21	35,532	30,456	11,421
Promedio	133,1	24,0	128,8	34,6	31,8	13,0
N reciclado disponible en el suelo	53,2 ¹					
Minerales en el suelo después de un año de pastoreo (análisis de suelos)	42.7	8,4	31.2	362.7	41.6	8.7
Total de minerales disponibles para los pastos	95,9	32,4	160	397,3	73,4	21,7

¹ Se estima que de los 133 kg de N que retornan en el suelo en excretas, el 60% se pierde por volatilización, lixiviación, erosión, quedando disponible 53,2 kg ha⁻¹ de N.

Los pastos evaluados, especialmente el Toledo y el *B. decumbens* tienen baja capacidad para extraer el Ca del suelo, hecho que se manifiesta con el bajo contenido foliar (0.26% y 0.28%) que no alcanza a llenar con los requerimientos del bovino de ceba que es de 0.30%, a pesar de tener en el suelo más de 400 kg ha⁻¹ de este elemento. Por la extracción que hacen los pastos y por la disponibilidad de P, K y S es probable que después del segundo año de pastoreo tenga que hacerse fertilización de mantenimiento con estos minerales además del N, con el fin de mantener constantes los rendimientos de forraje y los contenidos foliares.

Conclusiones

-Con el establecimiento de la asociación maíz – pastos para la renovación de praderas, se mejoró la fertilidad de los suelos, brindando buenas condiciones de fertilidad para una buena producción de biomasa de pastos.

-En el momento de la cosecha, la mayor extracción de N fue realizada por el grano de maíz y los pastos, mientras que el P se presentó en mayor concentración en el grano de maíz. Los pastos y la soca de maíz se caracterizaron por tener mayor contenido de K. en tanto, el Ca, Mg y S fueron más extraídos por los pastos.

-De los tres pastos evaluados, el Mulato fue el que presentó mayor contenido de minerales en las hojas, por consiguiente fue el que extrajo las más altas cantidades de P, Ca, Mg, K, S al momento de la cosecha del maíz y después de un año de pastoreo.

-El contenido de minerales en el suelo durante el primer año de pastoreo fue suficiente para que los pastos presentaran buena producción de forraje y el contenido foliar de minerales en su mayoría cumplió con los requerimientos de los bovinos de carne, sin embargo, para conservar los rendimientos de forraje después de un año de pastoreo, será necesario fertilizar con N. Después del segundo año de pastoreo tendrá que evaluarse la necesidad de aplicar otros minerales como P, K y S principalmente.

Agradecimientos

Se presenta especial agradecimiento a COLCIENCIAS por la financiación del trabajo de investigación en el marco del proyecto "Potencial productivo y aspectos fisiológicos de los pastos tropicales bajo condiciones de manejo intensivo, como alternativa para recuperar praderas en suelos ácidos del Piedemonte Llanero.

Bibliografía

- Andrew, C.S. and Vander- Berg. 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.
- Belalcazar, D., Lemus, L.H. y 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. 211p.
- Bernal, J.E. 2003. Pastos y forrajes tropicales. Producción y manejo. Ed. Angel Agro- Ideagro. Bogotá, Colombia. 691p.
- Botero, P.J. y López D. 1982. Los suelos de los Llanos Orientales (Una visión general sintetizada). Suelos Ecuatoriales, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. 12(2):18-29.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical).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. y León L.A. Cali, Colombia. 60p.
- Clarkson, D.T. 1965. The effect of aluminum in some other trivalent cations on cell division in root apices of *Allium cepa*. Ann Bot. N.S. 28: 309-315.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), 2005. Recomendaciones básicas para cultivar maíz en sistemas de rotación en la Altillanura plana Colombiana. Eds. S.X. Pulido y C.A. Jaramillo. Boletín divulgativo N°14 CORPOICA, MINAGRICULTURA. Villavicencio, Meta, Colombia. 18p.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), 2002. Informe anual de actividades, investigación pecuaria del año 2002 C.I. La Libertad, Villavicencio Meta.
- Dávila, G., Guerrero, R. y Rojas, E. 1998. Disponibilidad de K en algunos suelos palmeros de los Llanos Orientales de Colombia. Suelos Ecuatoriales. 28:71-80
- Dubeux, J.C., Cuadros, H.S. e Solleberg, L.E. 2004. Ciclagem de nutrientes: Perspectivas de aumento da sustentabilidade da pastagem manejada intensivamente. En: Fertilidade do solo para pastagens produtivas. Ed. C.G. Silveira, J.C. de Moura y V.P. de Faria. Anais do 21° Simposio sobre manejo da pastagens. Fundação de Estudos Agrarios Luiz de Queiroz-FEALQ. Piracicaba, SP. Brasil. pp. 357-400
- Dias-Filho, M. 2005. Degradação de pastagens. Procesos, causas e estrategias da recuperacao. 2ª edición. EMBRAPA, Amazonia Oriental Belem, Brasil. 173p.
- Espejo, G. 1995. Manejo del suelo en programas de ceba intensiva. Factores que determinan un programa de equilibrio en fertilidad. Seminario sobre manejo integral de programas de ceba intensiva, abril 18 y 19 de 1996. FEDEGAN, CICADEP, Armenia Quindio, Colombia. 66p.

- Foy, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Adv. Soil Sci.* 19:97-149.
- Gomes, D.M., Vilela, L., Lobato, E. y Vieira, W. 2001. Uso de gesso, calcario e adobos para pastagens no Cerrado. EMBRAPA, Cerrados, Planaltina, Brasil. 22p.
- Guerrero, R. 1993. Las propiedades químicas del suelo y su significado agronómico. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 41p.
- Hammond, L.L., León, L.A. y 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. *Suelos Ecuatoriales.* 12(1): 5-13
- Kayser, M. and Isselstein, J. 2005. Potassium cycling and losses in grassland system: a review. *Grass and Forage Sci.* 60:237
- Kerridge, P. 2001. A 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. Ed. T.Kanno and M.C. Macedo. Jircas Working Report No. 19. 104p.
- Lascano, C., Pérez, R., Plazas, C., Medrano, J., Pérez, O y Argel, P.J. 2002. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería Colombiana. CIAT, CORPOICA, MINAGRICULTURA. Villavicencio, Colombia. 18p.
- McDowell, L. R., Conrad, J.H., Ellis, G.L. y 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. 92p
- McDowell, L. R., Velásquez-Pereira, J. y 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. 84p
- Mejia, L. 1996. Génesis y características de los oxisoles y suelos oxicos de los Llanos Orientales de Colombia y su relación con la fertilidad. *Suelos Ecuatoriales.* 26 (1): 7-34.
- Mendes, E.L., da Silva, A.R., Monteiro, F.A. y de Andrade, L.R. 204. Adubacao potássica em forrajes. En: *Fertilidade do solo para pastagens productivas.* Ed. C.G. Silveira, J.C. de Moura y V.P. de Faria. Anais do 21° Simposio sobre manejo da pastagens. Fundación de Estudios Agrarios Luiz de Queiroz-FEALQ. Piracicaba, SP. Brasil. pp. 219-278
- Miles, J.W. 2006. Mejoramiento genético en *Brachiaria*: Objetivos, estrategias, logros y proyecciones. *Pasturas Tropicales* 28(1):26-29
- Monteiro, F.A., Colozza, M.T y Werner, J.C. 204. Enxofre e micronutrientes em pastagens. En: *Fertilidade do solo para pastagens productivas.* Ed. C.G. Silveira, J.C. de Moura y V.P. de Faria. Anais do 21° Simposio sobre manejo da pastagens. Fundación de Estudios Agrarios Luiz de Queiroz-FEALQ. Piracicaba, SP. Brasil. pp.279-302.
- Orozco, F.H. 1999. Biología del nitrógeno, conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 231p.

- Pardo, O., Rincón, A. y Hess, D. 1999. Alternativas forrajeras para los Llanos Orientales de Colombia. Boletín técnico No. 18 CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Meta. 55p.
- Pereira de Oliveira, I. e Pacheco, Y.L. 2003. Implantacao e conducto do Sistema Barreirao. En: Integracao Lavoura – Pecuaria. EMBRAPA, Arroz e Feijao. Ed. Kluthcouski, J., Stone, L.F y Aidar, H. San Antonio de Goias, Brasil. pp.267 – 302.
- Plazas, C.H. 2006. Experiencias en el establecimiento de *Brachiaria* híbrido cv Mulato CIAT 36061 como alternativa para rehabilitar pasturas degradadas. Pasturas Tropicales 28(1):9-15
- Plaster, J.E. 2005. La ciencia del suelo y su manejo. Segunda reimpresión. Internacional Thompson Editores. Madrid, España. 419p
- Potash and phosphate Institute, 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Norcross, G.A. U.S.A. 146p.
- Rincón, A., Cuesta, P.A., Pérez, R., Bueno, G., Pardo, O. Y Gómez, J.E. 2002. Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de la Orinoquia y el Piedemonte Caqueteño. CORPOICA, FEDEGAN, COLCIENCIAS, MINAGRICULTURA. 76p
- Rincón, A. 1999. Degradación y recuperación de praderas en los Llanos orientales de Colombia. Boletín técnico No. 19. CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Meta. 48p.
- Salamanca, C.R., Bernal, J., Arguello, J.O. y Almansa, E.F. 1999. Dinámica del potasio en el cultivo de soya en oxisoles de la Orinoquia. Boletín técnico n°14. CORPOICA, SENA. Villavicencio, Meta, Colombia. 36p.
- Salinas, J.G. 1989. Fertilización de pastos en suelos ácidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura trópic. CIAT. Cali, Colombia. 215p.
- Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 1992. Fisiología vegetal. Ed. Iberoamérica S.A. México. pp. 319 - 338
- Valencia, R. A., Salamanca, C.R., Navas, G.E., Baquero, J.E., Rincón, A. y Delgado., H. 1999. Evaluación de sistemas agropastoriles en la Altillanura de la Orinoquia Colombiana. En: Kerridge, P., Sans J.I., Rao, I.M. Amezquita, M.C. y Amezquita, E. (Ed) Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuaria, EMBRAPA. Cali, Colombia. pp. 284-300
- 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, Meta, Colombia. 32 p
- Wilcke, W. and Lilienfein, J. 2005. Nutrient leaching in oxisols under native and managed vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J. 69:1256-1265.

Crecimiento del maíz y los pastos establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del Piedemonte Llanero Colombiano

Resumen

Bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro replicaciones, se evaluó el establecimiento del maíz en monocultivo y asociado con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, con el fin de determinar la existencia de efectos de competencia sobre los rendimientos de grano de maíz y sobre la producción de forraje de los pastos. El periodo de evaluación comprendió desde los 15 hasta los 90 días después de la siembra (dds), época en la cual el maíz ya se encontraba en proceso de secado. El crecimiento del maíz no fue afectado por la presencia de los pastos, obteniéndose el índice de área foliar de 3, a los 45 dds y la mayor producción de masa seca a los 66 dds con 29 g planta⁻¹. Por su parte, el crecimiento de los pastos si fue afectado por la presencia del maíz durante todo el periodo de evaluación. El área foliar y la masa seca en los pastos asociados con maíz fue inferior en un 50% con respecto a los pastos establecidos sin maíz, de tal forma que a los 75 dds el índice de área foliar de los pastos asociados con maíz fue de 1 y en los pastos en monocultivo fue de 2.6. De igual forma la masa seca fue de 68 g m⁻² y de 140 g m⁻² en el mismo orden. La asociación de maíz con pastos es una buena opción para el establecimiento o renovación de praderas porque los rendimientos de maíz no fueron afectados por la presencia de los pastos. Los pastos asociados con el maíz presentaron un crecimiento más lento en los primeros 75 dds, sin afectar el crecimiento del maíz, sin embargo durante los 15 días siguientes, el IAF se incrementó en 170% y la masa seca en 53%, por el secado natural de la planta de maíz que permitió la entrada de radiación solar directa.

Palabras claves: asociación cultivos-pastos, maíz, IAF, crecimiento, masa seca.

Abstract 2

Under a design of complete blocks at random with four replications, the establishment of the corn was evaluated in monoculture and associated with the grasses *B. decumbens*, Mulato and Toledo, with the purpose of determining the existence of competition on the yields of grain of corn and on the production of forage of the grasses. The period of evaluation was from the 15 until the 90 days after the sowing (d.a.s), time in which the corn was already in drying process. The growth of the corn was not affected by the presence of the grasses, being obtained the leaf area index (LAI) of 3, to the 45 d.a.s and the biggest dry mass production to the 66 d.a.s with 29 g plant⁻¹. On the other hand, the growth of the grasses if it was affected by the presence of the corn, during the whole period of evaluation. The leaf area and the dry mass in the grasses associated with corn was inferior in 50% with regard to the established grasses without corn, in such a way that to the 75 d.a.s the LAI of the grasses associated with corn was of 1 and in the grasses in monoculture was of 2.6. Of equal it forms the dry mass was of 68 g m⁻² and of 140 g m⁻² in the same order. The establishment of corn with grasses is a good option for the establishment or renovation of grasslands because the yields of corn were not affected by the presence of the grasses. The grasses associated with the corn presented a slower growth in the first 75 d.a.s, without affecting the growth of the corn, however during the 15 following days, the LAI was increased in 170% and the dry mass in 53%, for the drying of the plant of corn that allowed the penetration of direct solar radiation.

Keywords: association crop-pasture, corn, grasses, LAI, growth, dry mass.

Introducción

La asociación del cultivo de maíz con los pastos se presenta como una opción de alta viabilidad, para el establecimiento y la renovación de praderas en los Llanos orientales de Colombia. 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 y gracias a la disponibilidad de mejores pastos, la productividad animal es mayor en un tiempo más corto.

Se tiene información sobre sistemas agropastriles exitosos desarrollados en suelos ácidos de América tropical, basados en el asociaciones de arroz- pastos y maíz - pastos en la Altillanura (Sans *et al.*, 1999, CORPOICA, 2002) y sistemas aplicados en el Cerrado Brasileiro como el "Barreirao" y el Sistema Santa Fe que comprende la recuperación de praderas por medio de la asociación de cultivos anuales como el arroz, el maíz y sorgo, con pastos como los *Brachiaria* sp, y *Panicum* sp. junto con las leguminosas forrajeras *Stylosanthes* sp, *Calopogonium muconoides* y *Arachis pintoi* (Pereira e Pacheco, 2001, Kluthcouski e Aidar, 2001).

En el establecimiento de dos gramíneas como el maíz y el pasto con un sistema fotosintético similar que las clasifica como plantas C4, las cuales tienen mayor capacidad de aprovechamiento de la radiación solar del trópico, conlleva a la necesidad de conocer aspectos relacionados con el crecimiento de estas dos especies establecidas en forma simultánea en el mismo espacio. Los aspectos más notables de estas especies, son las altas tasas de fotosíntesis y su respuesta a niveles crecientes de intensidad de luz hasta llegar a la plena iluminación del sol. Otra diferencia importante es la carencia de fotorrespiración durante el proceso fotosintético (Montaldi, 1995; Medrano y Flexas, 2001). La mayor tasa fotosintética en pastos tropicales comparada con las leguminosas, no se debe simplemente a la menor fotorrespiración en las C4, que pueden explicar menos del 50% de la diferencia. Un efecto principal parece estar relacionado con las grandes diferencias en las resistencias intracelulares a la transferencia de CO₂ (Black, 1976).

Especies de pastos tropicales difieren en la habilidad para capturar radiación solar, y de este modo afectar la tasa de asimilación neta. Especies como *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* tiene la posición de las hojas casi vertical durante gran parte de su periodo de crecimiento, permitiendo un gran desarrollo de área foliar y alta eficiencia en la intercepción de luz. Otras especies de *Cynodon*, *Digitaria*, y *Brachiaria* tienen sus hojas en una orientación más horizontal y el desarrollo de área foliar y aprovechamiento de radiación solar es menor. En las leguminosas forrajeras, las hojas tienen una disposición horizontal y el índice de área foliar es relativamente menor comparado con las gramíneas. (Bamikole *et al.*, 2004, 1982, López, 1984).

Cuando diferentes especies se siembran en mezcla, su respuesta a los factores ambientales es diferente que cuando las mismas especies son sembradas separadamente (Clavijo, 1992). Un rápido crecimiento y una mayor expansión de hojas y raíces se señalan como características importantes de plantas competidora. Una planta que crece más rápidamente que su vecina utilizará una mayor cantidad de un determinado recurso disponible e incrementará su materia seca de tal manera que se convierte en ventaja para competir (Roush y Radosevich, 1985, citado por Clavijo, 1992). En este sentido, una medida como la tasa de crecimiento relativo (TCR) podría servir como indicador de la habilidad competitiva potencial entre cultivos y malezas. Clavijo (1992), estudiando las interacciones entre arroz rojo y dos variedades de arroz, concluyó que el arroz rojo considerada como una de las principales malezas en el cultivo de arroz,

competía con las variedades de arroz produciendo mayor número de macollas y hojas y mayor cantidad de materia seca, que cuando se sembraba en monocultivo.

La siembra simultánea de dos o más especies pueden traer beneficio mutuo como el que se presenta cuando se asocia una gramínea y una leguminosa, caso específico maíz – frijol, donde el maíz le sirve de soporte al frijol y este aporta nitrógeno al maíz, por la simbiosis existente con bacterias nitrificantes que transforman el N atmosférico en N aprovechable por las plantas. Jarma *et al* (1994) trabajando con la asociación de habichuela y maíz, encontraron que el crecimiento de la habichuela se vio favorecido por un nivel de sombreado de 66%, indicando que es una planta de excelente adaptación a la sombra y de buena asociación con el cultivo de maíz. También se han realizado evaluaciones de competencia entre arroz y pasto establecidos en forma simultánea, encontrándose efectos sobre los rendimientos de arroz especialmente cuando la menor fertilidad del suelo o la alta densidad del *Brachiaria*, favorece el desarrollo del pasto (Silveira *et al.*, 1999). Las asociaciones de *Brachiaria* con un cultivo como el arroz clasificado como especie C3, deben establecerse con especial cuidado para lograr una asociación exitosa con buen rendimiento de grano, de lo contrario el *Brachiaria* dominará al cultivo. Una forma de establecer estas asociaciones, es retardar la emergencia del pasto con la siembra a una profundidad de 10 cm. De este modo los cereales tendrán una emergencia más rápida con dominio al pasto, permitiendo buena producción de granos (Portes *et al*, 2000, Portes *et al*, 2001)

Un método de estudio capaz de abrir amplias perspectivas sobre las posibilidades de cuantificar y posteriormente aumentar la producción vegetal es el conocido con el nombre de análisis de crecimiento y del desarrollo. El crecimiento se define como el aumento de la masa de un organismo y es el resultado de la formación de nuevas células y del aumento de peso de la sustancia seca del mismo. En la práctica el crecimiento se obtiene midiendo el aumento del peso de la sustancia seca de la planta entera. El desarrollo, por el contrario, implica diferenciación, es decir, una modificación más profunda que comparta organización y especialización anatómica y fisiológica (Hunt, 1982). La producción de materia seca en la plantas es el resultado neto del balance entre los procesos metabólicos básicos. La materia seca es producida en el proceso fotosintético y los productos se distribuyen y acumulan en diferentes órganos de la planta (Duarte *et al.*, 2005).

Los métodos de análisis de crecimiento han sido particularmente elaborados para estudiar este proceso durante la fase vegetativa. Las determinaciones fundamentales que hay que realizar para poder seguir el análisis del crecimiento y del desarrollo son: la superficie fotosintética o asimilatoria, el peso total de sustancia seca y, en el caso de los análisis del desarrollo, el peso de la sustancia seca de los tallos, hojas, granos, etc. Estas medidas se toman a intervalos variables que van desde unos pocos días hasta semanas durante todo el ciclo hasta la recolección, sobre muestras cuidadosamente elegidas de modo que sean representativas del cultivo objeto de estudio. (Jarma *et al.*, 1994, Radosevich y Holt, 1984; Patterson, 1985, citados por Clavijo, 1992)

A partir de los datos de área foliar y masa seca, se pueden calcular los índices fisiológicos, dentro de los cuales los más importantes son: Índice de Área Foliar (IAF) y se define como el área de la superficie foliar existente sobre la unidad de superficie del suelo, por lo tanto no tiene magnitud. El incremento de IAF durante las primeras etapas del crecimiento está asociado con la fase de macollamiento y su disminución al final del ciclo del cultivo se debe a la senescencia y muerte de las hojas dada en forma secuencial desde la base de la planta hasta la zona apical. La tasa de crecimiento relativo (TCR) expresa el incremento en masa seca por unidad de materia seca acumulada por unidad de tiempo (g día^{-1}). Este índice representa la capacidad de la planta para producir material nuevo y depende de la fotosíntesis y la respiración (Hunt, 1982). La TCR

presenta inicialmente valores altos los cuales disminuyen a medida que transcurre la edad de la planta con tendencia similar al comportamiento del área foliar la cual tiende a reducirse con la edad de la planta. La Tasa de Asimilación Neta (TAN), es un índice importante de la capacidad fotosintética del aparato asimilador. La TAN se define como la producción de materia seca por unidad de superficie foliar por unidad de tiempo; una expresión bastante común es $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. La TAN no mide la fotosíntesis real sino la eficiencia neta en la producción de materia seca por fotosíntesis menos la pérdida de asimilados en los procesos de respiración.

Dada la importancia que están adquiriendo los sistemas agropastriles para el desarrollo de una ganadería competitiva en la región, se estableció este experimento con el fin de determinar posibles efectos de competencia que pudieran afectar los rendimientos de los componentes de la asociación maíz – pastos.

1. Materiales y métodos

El experimento se desarrolló en el primer semestre del 2005 en un Oxisol de terraza media del Centro de Investigaciones Corpoica La Libertad, ubicado en el municipio de Villavicencio (Meta, Colombia) a $9^{\circ} 6'$ de latitud norte y $73^{\circ} 34'$ de longitud oeste, a 330 m.s.n.m., la precipitación anual promedio de los últimos 30 años ha sido de 2900 mm, el promedio de temperatura es de 26°C y una humedad relativa de 85% en la época lluviosa y 65% en la época seca. Los suelos son muy ácidos con una saturación de aluminio de 71% mientras que la saturación de bases fue 25%. Los nutrientes mas deficientes fueron fósforo, calcio y magnesio con 1 ppm, 0.44 me 100 g de suelo⁻¹ y 0.12 me 100 g de suelo⁻¹, respectivamente.

Diseño experimental

Para determinar el efecto de la competencia del maíz sobre el establecimiento y producción de pasto y del pasto sobre el establecimiento y producción del maíz, se evaluaron siete tratamientos distribuidos bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El área de cada unidad experimental fue de 30 m^2 .

Tratamientos

- Maíz solo
- B. decumbens* en asocio con maíz
- B. decumbens* solo
- Pasto Mulato en asocio con maíz
- Pasto Mulato solo
- Pasto Toledo en asocio con maíz
- Pasto Toledo solo

Establecimiento del experimento

La labranza del suelo se realizó mediante 1 pase de cincel rígido, dos pases de rastra y un pase de pulidor, posteriormente se hizo la siembra en surcos de maíz separados a 0.8 m y en medio de estos surcos se estableció los surcos de pasto. La densidad de siembra fue de 22 kg ha^{-1} de maíz híbrido Master y de 4 kg ha^{-1} de pasto. Antes de la siembra se aplicaron los correctivos necesarios para disminuir la saturación de aluminio al 50% para lo cual fue necesario aplicar 1.5 t ha^{-1} de cal dolomítica, además se aplicó 400 kg ha^{-1} de yeso agrícola y 300 kg ha^{-1} de roca fosfórica, por los bajos contenidos de azufre y fósforo en este suelo. En el momento de la siembra se aplicó en el surco del maíz 150 kg ha^{-1} de fosfato diamónico junto con 20 kg de borozinco y 50 kg de cloruro de potasio.

Posteriormente se aplicaron 150 kg de N y 100 kg de cloruro de potasio, fraccionándolos en partes iguales a los 15 y 35 días después de la siembra. El control de gusano cogollero (*Spodoptera* sp) se realizó cuando el maíz tenía una edad de 30 días, con 200 cc ha⁻¹ del inhibidor de quitina Atabron EC. (Clorfluazuron) mezclados con 30 kg de melaza y 300 L de agua, por hectárea. La cosecha del maíz se realizó en forma manual a la edad del cultivo de 120 días.

Evaluaciones

Las evaluaciones sobre altura, masa seca y área foliar en el maíz, se realizaron a la edad de 15, 30, 45, 55, 66, 77 y 90 días.

Para la estimación de masa seca las muestras fueron sometidas a una temperatura de 70°C en una estufa durante 72 horas. Para medir el área foliar se utilizó un equipo LI3100 Licor.

De acuerdo con Radford (1967) y Hunt (1990) los índices de crecimiento comúnmente utilizados se presentan en la Tabla 1. Para su cálculo se utilizó la información obtenida de masa seca y de área foliar.

Tabla 1. Índices fisiológicos de crecimiento y sus fórmulas

Índice de crecimiento	Formula para su calculo
Tasa de crecimiento absoluto	$TCA = msf - msi / tf - ti$
Tasa de crecimiento relativo	$TCR = \ln msf - \ln msi / tf - ti$
Tasa de asimilación neta	$TAN = (msf - msi / tf - ti) \times (\ln aff - \ln afi / aff - afi)$
Índice de área foliar	$IAF = af / as$

Donde:

msf = masa seca final

msi = masa seca inicial

tf = tiempo final (días)

ti = tiempo inicial (días)

ln msf = logaritmo natural de masa seca final

ln msi = logaritmo natural de masa seca inicial

aff = area foliar final

afi = área foliar inicial

ln aff = logaritmo natural de área foliar final

ln afi = logaritmo natural de área foliar inicial

af = área foliar

as = área de suelo

La información obtenida fue analizada mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), los resultados se sometieron a análisis de varianza para determinar la significancia y la comparación de medias se determinó mediante la prueba de comparación de Tukey.

2. Resultados y discusión

2.1 Índices fisiológicos en la planta de maíz establecida en monocultivo y asociada con pastos

Durante los cuatro meses de desarrollo de la asociación (abril a julio), la precipitación fue de 1.424 mm. La cual correspondió a un 51% de la precipitación total del año 2005, por consiguiente, no se presentó limitantes por agua, considerando que el maíz requiere de al menos 500 mm de agua bien distribuidos (Lafitte, 2002) Un cultivo de maíz bien irrigado transpira cerca de 350 g de agua por cada gramo de materia seca producida sobre el nivel del suelo, solo una fracción de la materia seca producida forma grano, lo que significa que un cultivo con buena disponibilidad de agua usa entre 800 y 1000 g de agua por cada gramo de grano producido (Hay y Walquer, 1989 citados por Lafitte, 2002)

Tabla 2. Altura (cm), masa seca (g planta⁻¹) y área foliar (cm²) del maíz solo y asociado con pastos durante 90 días de desarrollo. Piedemonte Llanero.

Altura	Edad del cultivo (días)						
	15	30	45	55	66	77	90
Maíz	65	92	157	245	257	256	248
Maíz + <i>B. decumbens</i>	49	88	149	233	251	260	249
Maíz + Mulato	67	89	159	236	248	256	266
Maíz + Toledo	63	93	171	248	262	269	256
Promedio	60	90	159	240	255	260	255
Masa foliar seca							
Maíz	14,0	15,1	28,9	28,6	28,0	22,4	21,4
Maíz + <i>B. decumbens</i>	17,7	19,4	25,3	27,8	29,2	24,8	20,5
Maíz + Mulato	14,1	17,5	23,6	27,0	30,2	29,0	26,6
Maíz + Toledo	15,8	16,9	29,3	29,5	29,1	24,9	21,9
Promedio	15,4	17,2	26,8	28,2	29,1	25,3	22,6
Área foliar							
Maíz	2383	3812	5665	4904	4790	4064	3019
Maíz + <i>B. decumbens</i>	2003	4388	5206	4872	4768	3877	2838
Maíz + Mulato	2480	3685	4635	5074	5111	4411	3426
Maíz + Toledo	2356	3736	5536	5390	5182	3767	2941
Promedio	2256	3905	5261	5060	4963	4030	3056
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: Diferencias no significativas, (P >0.05) Tukey

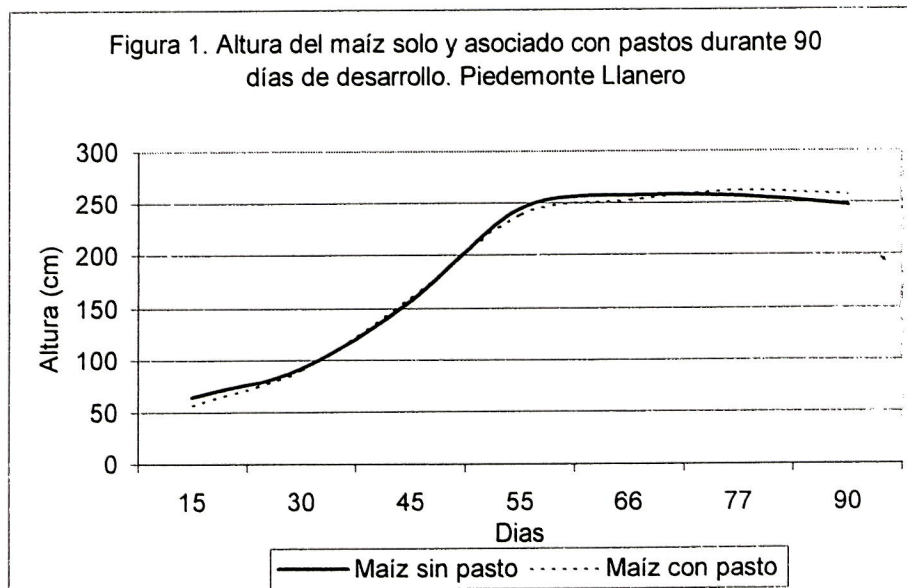
En todos los tratamientos en donde se estableció el maíz en monocultivo (sin pasto) y maíz asociado con *B. decumbens*, Mulato y Toledo, no se presentaron diferencias significativas (P>0.05) en altura, peso seco y área foliar en la planta de maíz, durante el periodo de 90 días de evaluación de crecimiento (Tabla 2). La altura promedio a los 15 días fue de 0,58 m y llegó hasta 2,60 m a la edad de 77 días. El mayor incremento de

altura de la planta de maíz se presentó en los primeros 55 días de crecimiento, ya que durante este tiempo la planta alcanzó una altura de 2,40m, luego en los siguientes 45 días solo aumento 0,20 m.

El rendimiento del cultivo de maíz comienza a gestarse en el momento en que el cultivo despliega el área foliar fotosintetizante, existiendo una estrecha relación entre el área foliar y la biomasa producida por la planta. La masa seca foliar promedio en los primeros 15 días de desarrollo de la planta de maíz fue de 15.4 g planta⁻¹ y la máxima producción de biomasa se produjo a los 66 días después de la siembra (dds) con 29,1 g planta⁻¹ coincidiendo con el momento de llenado de grano. Posteriormente la masa seca de las hojas disminuyó por senescencia de estas, de tal forma que a los 90 dds el promedio alcanzado fue de 22.6 g planta⁻¹.

El área foliar de la planta de maíz a los 15 dds presentó un promedio de 2256 cm², la cual aumentó hasta llegar a su máximo valor a la edad de 45 días con 5261 cm².

Los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo establecidos en asociación con el cultivo de maíz, no afectaron el crecimiento de este, lo cual fue demostrado al obtener una altura máxima del maíz a los 66 dds de 257 y 253 cm estando solo y asociado con los pastos respectivamente (Figura 1). De igual forma, no fue afectada la producción de materia seca cuyos valores máximos se obtuvieron a los 55 dds con 29 y 28 gr planta⁻¹ en el mismo orden (Figura 2). El área foliar del maíz solo y asociado con pastos fue de 5665 cm² y 5126 cm², respectivamente, que fueron los valores máximos obtenidos a lo 45 dds sin presentar diferencias significativas. (Figura 3). Resultados similares obtuvo Marín et al, (1998) en el maíz solo y asociado con frijol ya que a los 50 dds el área foliar del maíz fue de 5000 cm² sin llegar a ser afectada por el frijol.



Se presentó una relación directa entre la producción de materia seca y el área foliar de la planta de maíz, sin embargo, los valores máximos de estos parámetros, se presentaron en diferentes edades del cultivo, es así como la mayor área foliar coincidió con la máxima floración de la planta de maíz (45 dds) y la máxima producción de masa seca coincidió con el llenado del grano, que fue a los 66 dds (Figura 4).

Figura 2. Producción de biomasa de maíz solo y asociado con pasos durante 90 días de desarrollo. Piedemonte Llanero

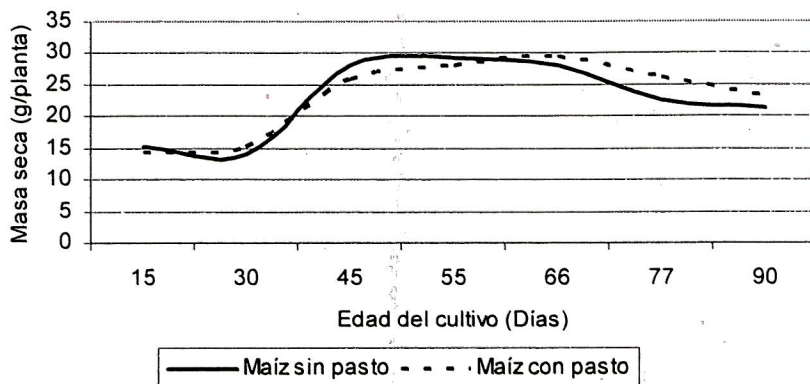


Figura 3. Area foliar de maíz solo y asociado con pastos durante 90 días de desarrollo. Piedemonte Llanero

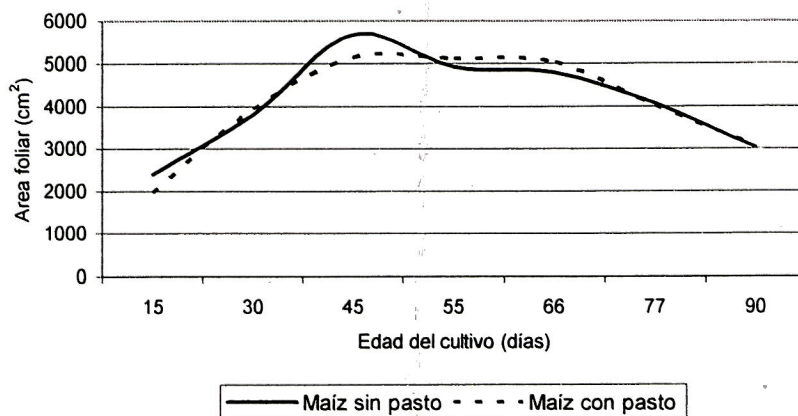
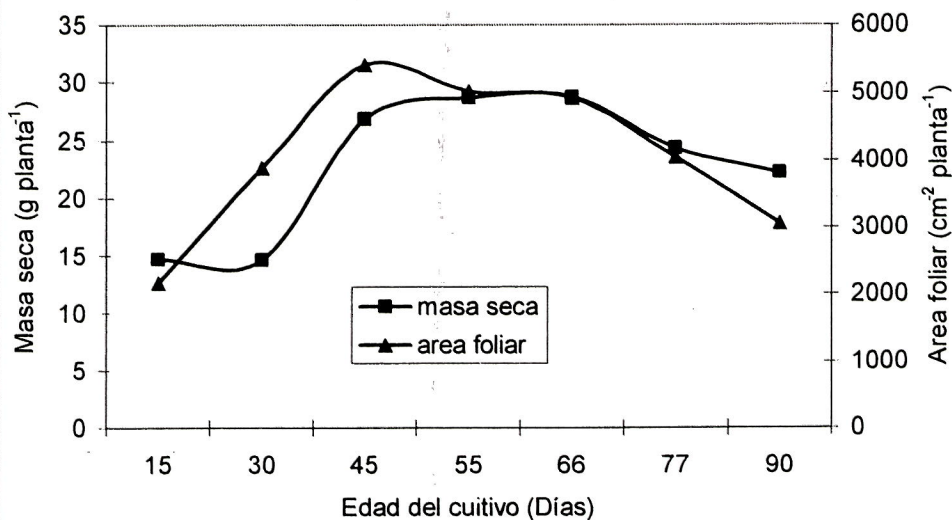
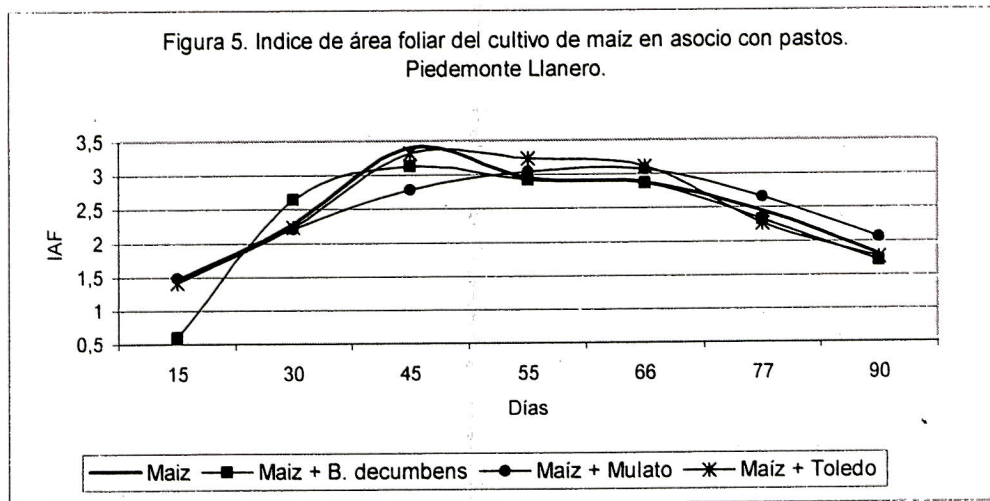


Figura 4. Masa seca y área foliar de la planta de maíz establecida sola o asociada con pastos. C.I. la Libertad, Piedemonte Llanero



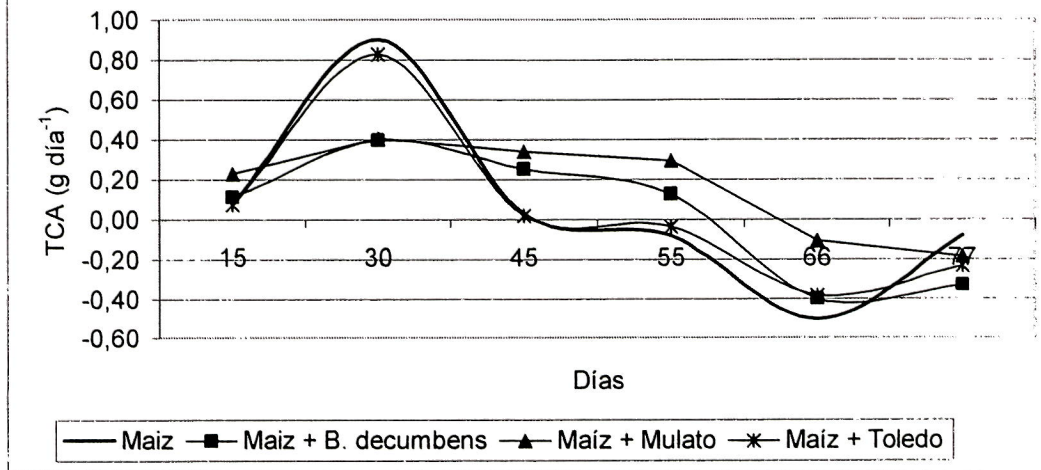
Tomando como base la información de producción de biomasa seca de hojas y el área foliar de la planta de maíz, se realizaron los cálculos de los índices fisiológicos del maíz estando solo y asociado con los pastos. Estos índices fueron: índice de área foliar (IAF), Tasa de crecimiento absoluto (TCA), Tasa de crecimiento relativo (TCR) y Tasa de asimilación neta (TAN).

El IAF entendido como el área de las hojas de maíz presente en el área de un metro cuadrado de suelo, en asociación con los tres pastos y durante el periodo de evaluación que comprendió desde los 15 dds hasta los 90 dds, se grafica en la Figura 5, en donde se puede apreciar la misma tendencia en el maíz establecido en monocultivo y en el maíz asociado con pastos, con excepción del maíz establecido en monocultivo y en el maíz asociado con Toledo, porque a los 45 dds, el IAF fue de 3.3, resultando ser más alto con respecto a las demás asociaciones que presentaron un IAF promedio de 2.9. Sin embargo después de los 55 dds este parámetro estuvo alrededor de 3 en todos los tratamientos y después de 66 dds, disminuyó a 2.9, hasta llegar a un IAF de 1.8 a los 90 días fecha de la última evaluación de crecimiento, en todos los tratamientos. El mayor IAF encontrado a la edad de 45 días coincidió con el inicio del desarrollo reproductivo de la planta, momento en el cual necesita de su máxima capacidad fotosintética para acumular carbohidratos y materia seca, para ser utilizados posteriormente en la formación de la mazorca (Lafitte, 2002).



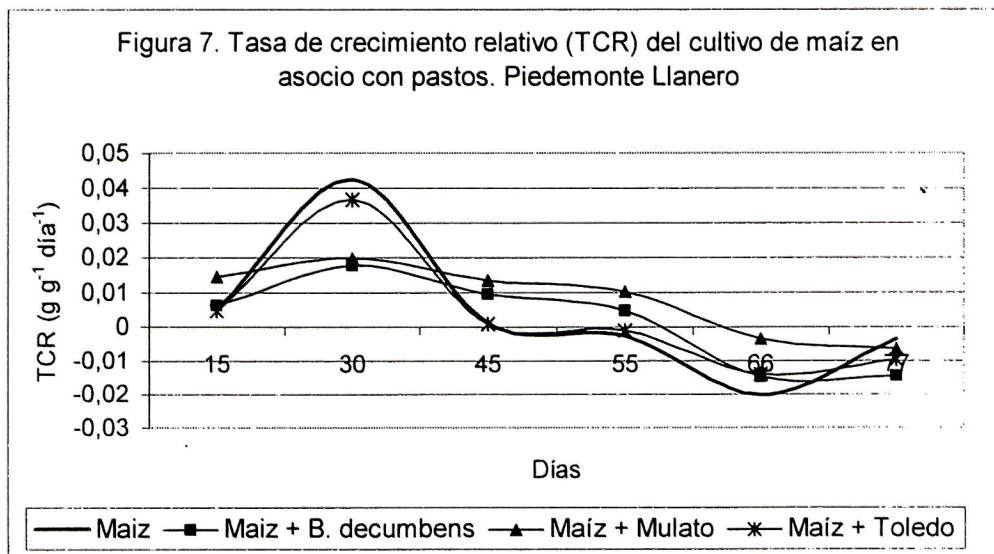
La tasa de crecimiento absoluto (TCA) mide el incremento de la materia seca por unidad de tiempo. La TCA del maíz solo y asociado con el pasto Toledo, fue similar durante todo el desarrollo del cultivo, tal como sucedió con el IAF, destacándose una mayor TCA a los 30 dds con un promedio de 0.86 g día^{-1} . En las asociaciones del maíz con el pasto Mulato y el *B. decumbens* la TCA alcanzó el máximo valor de 0.4 g día^{-1} a los 30 días, pero a diferencia del TCA del maíz solo y el maíz asociado con Toledo, el incremento de materia seca permaneció entre 0.3 y 0.2 g día^{-1} durante un periodo de 25 días, (desde los 45 dds hasta cuando el maíz cumplió una edad de 55 días). En tanto, en el maíz establecido en monocultivo y en asociación con Toledo el periodo de mayor incremento de materia seca fue cuando tenía una edad de 30 días para descender a una TCA cercana a cero a la edad de 45 dds (Figura 6).

Figura 6. Tasa de crecimiento absoluto de maíz en asocio con pastos. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero



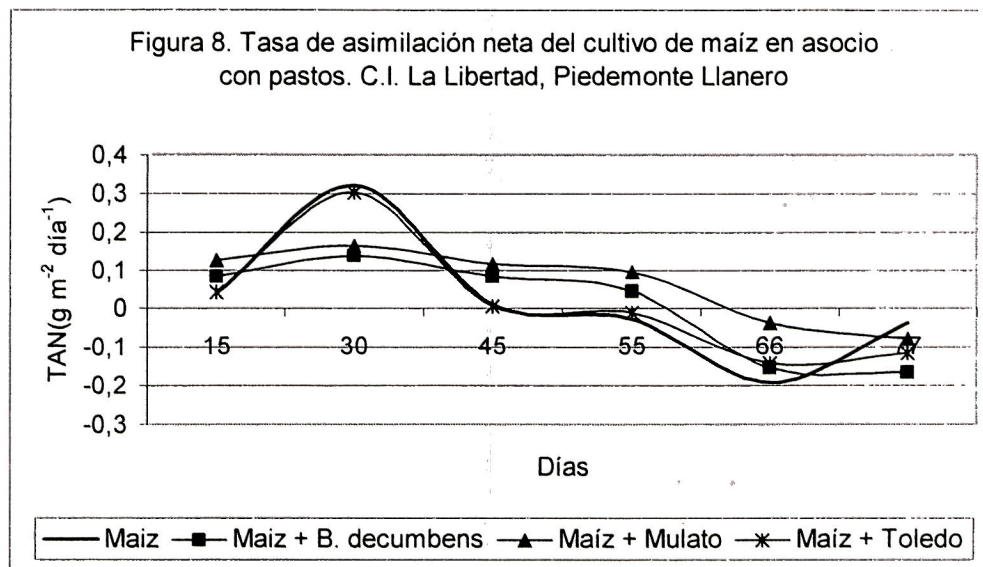
La tasa de crecimiento relativo (TCR) expresa el incremento en materia seca en un intervalo de tiempo con relación al peso inicial. El comportamiento y la tendencia a través del tiempo fue similar al TCA, disminuyendo con el paso del tiempo (Figura 7). Las curvas observadas en de la TCR en el maíz asociado con el *B. decumbens* y el Mulato fue mayor a los 30 dds con un valor de $0.02 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y luego disminuyó levemente hasta los 55 dds con una TCR de $0.01 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, posteriormente la TCR fue negativa. En el maíz solo y asociado con Toledo la TCR alcanzo un valor de $0.04 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 30 dds, sin embargo después de los 45 dds la TCR fue negativa.

Figura 7. Tasa de crecimiento relativo (TCR) del cultivo de maíz en asocio con pastos. Piedemonte Llanero



La Tasa de asimilación neta (TAN) mide la acumulación de materia seca en función del área foliar por unidad de tiempo, a medida que aumenta el IAF, se aumenta el sombreado y disminuye la TAN. La TAN de maíz en monocultivo y asociado con el pasto Toledo, presentó un comportamiento semejante a lo largo de todo el periodo de evaluación, llegando a su máximo valor de $0.32 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a la edad de 30 días, coincidiendo con un IAF de 2, para luego decrecer a valores negativos después de los 45 dds.

El maíz asociado con pasto Mulato y con el *B. decumbens* presentaron la misma tendencia, con una TAN a los 30 dds que estuvo entre 0.16 y 0.13 g m⁻² día⁻¹.respectivamente. Después de los 66 dds la TAN fue negativa con valores de -0.038 y -0.15 g m⁻² día⁻¹ en el mismo orden (Figura 8).



2.2 Índices fisiológicos en los pastos establecidos en monocultivo y asociados con maíz

Las evaluaciones sobre masa seca y área foliar de los pastos solos y asociados con el maíz, se realizaron a la edad de 37, 60, 75 y 94 días. Contrario a lo presentado en el crecimiento del maíz, los pastos si mostraron diferencias significativas cuando estos se establecieron solos y asociados con maíz. El área foliar y la masa seca de los pastos asociados con maíz fue menor con respecto a los pastos establecidos sin maíz.

El pasto Mulato sobresalió de los demás, por tener un establecimiento significativamente mas rápido ($P < 0.05$) después de la siembra, encontrándose que en los primeros 37 días este pasto presentó un área foliar de 1908 cm² y una masa seca de 9.4 g m⁻², mientras que cuando se sembró en asocio con maíz el área foliar fue de 934 cm² y la masa seca de 5.2 g m⁻². El otro pasto que también presentó un rápido establecimiento fue el Toledo seguido por el *B. decumbens*, sin embargo, su establecimiento también fue mas lento cuando se asoció con el maíz. En los primeros 37 días, los pastos sin maíz superaron en 1.6 veces el área foliar y en 2 veces la masa seca, a los pastos establecidos con maíz.

A los dos meses después de la siembra, los pastos Mulato y Toledo sin maíz presentaron un área foliar y masa seca superior significativamente ($P < 0.05$), con un promedio de 15375 cm² y 77.5 g planta⁻¹.respectivamente. En tanto el *B. decumbens* desarrolló un área foliar de 4350 cm² y una masa seca de 20.3 g m⁻². En esta época el pasto Toledo en monocultivo presento 3.4 veces más área foliar y 4 veces mas materia seca, con respecto al pasto Toledo +maíz.

Tabla 3. Área foliar (cm²) y masa seca (g m⁻²) del pasto solo y asociado con maíz durante 94 días de desarrollo. Piedemonte Llanero.

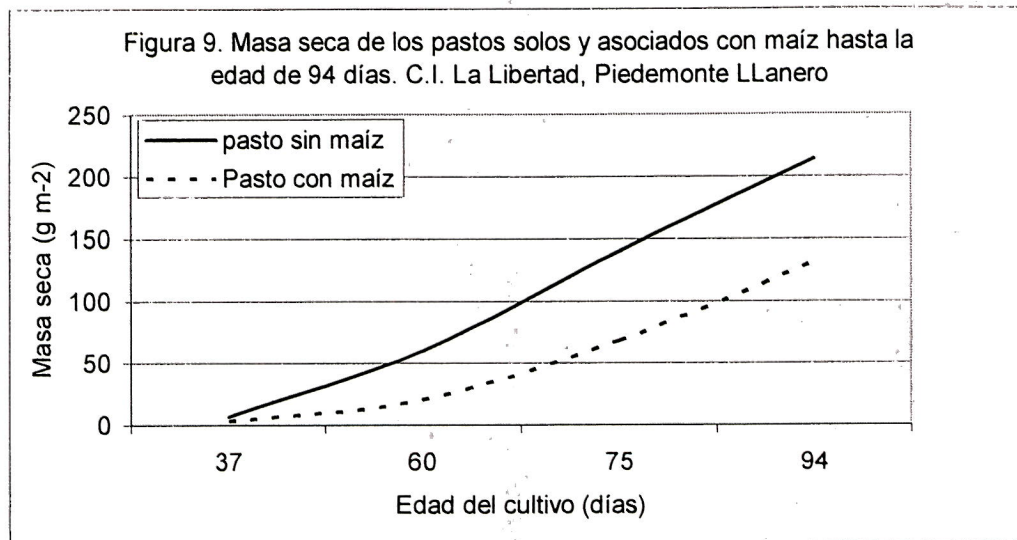
Área foliar	Edad (días)			
	37	60	75	94
<i>B. decumbens</i>	725 b	4350 b	11330 cd	26013 c
<i>B. decumbens</i> + maíz	434 c	1953 c	4882 d	14647 d
Mulato	1908 a	15328 a	41740 a	49520 a
Mulato + maíz	934 bc	5224 b	14376 c	31236 b
Toledo	1230 ab	15423 a	26548 b	47988 a
Toledo + maíz	763 b	4447 b	13052 c	36608 b
c.v (%)	22.4	18.6	24.6	16.9
Masa seca				
<i>B. decumbens</i>	2,9 d	20,3 c	62,8 c	94,3 d
<i>B. decumbens</i> + maíz	1,5 e	9,9 d	31,9 d	76,3 d
Mulato	9,4 a	75,7 a	194,2 a	238,9 b
Mulato + maíz	5,2 c	32,3 b	110,5 b	167,3 c
Toledo	6,9 ab	82,0 a	163 a	308,8 a
Toledo + maíz	2,9 d	18,8 c	61,9 c	149,6 c
c.v (%)	18.5	14.3	15.7	17.6

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey

A los 75 dds el pasto Mulato aumentó su área foliar a 41.740 cm² siendo ampliamente superior a los demás tratamientos incluyendo al pasto Toledo que presentó un área foliar de 26.558 cm² en, tanto, la materia seca fue superior significativamente el, los pastos Mulato y Toledo con un promedio de 179 gr m⁻².

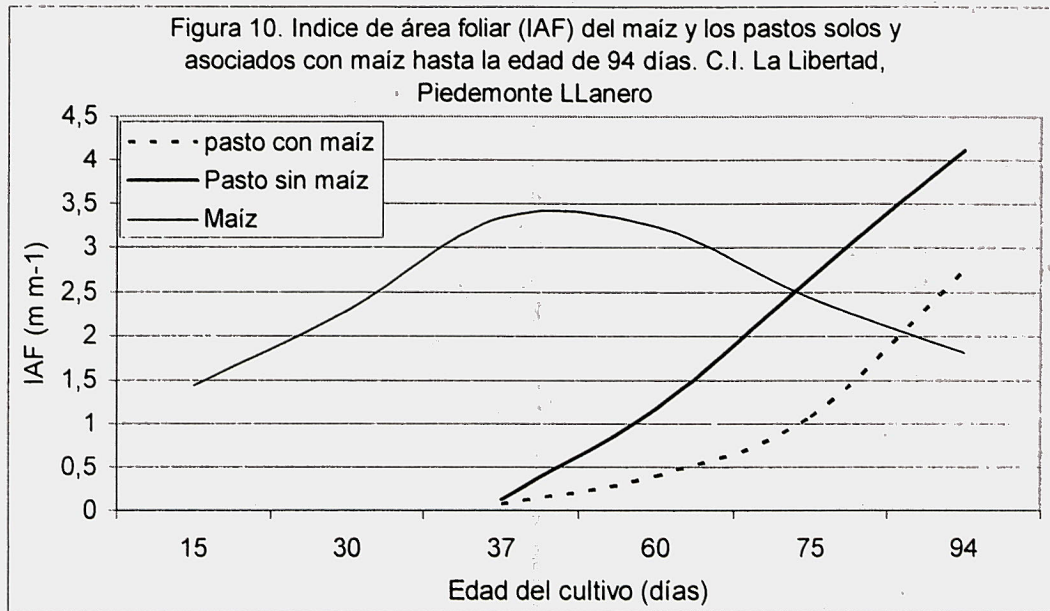
El mayor crecimiento del pasto Mulato en monocultivo fue en los primeros 75 dds mientras que los otros pastos en monocultivo y asociados con maíz se encontró que el área foliar a los 94 dds aumentó en mas de dos veces con respecto a la de los 75 dds. En los últimos 19 días de evaluación, se encontró que los pastos asociados con maíz presentaron un mejor crecimiento a lo cual contribuyó la senescencia del maíz que permitió mayor entrada de los rayos solares para ser aprovechados por los pastos. (Tabla 2).

La producción de masa seca de los pastos establecidos en monocultivo en los primeros 75 dds duplicó a la masa seca obtenida en los mismos pastos establecidos en asociación con el maíz. A los 94 dds aunque estas diferencias se redujeron, la producción promedia de masa seca de los pastos sin maíz y con maíz fue de 214 y 131 g m⁻² respectivamente (Figura 9).



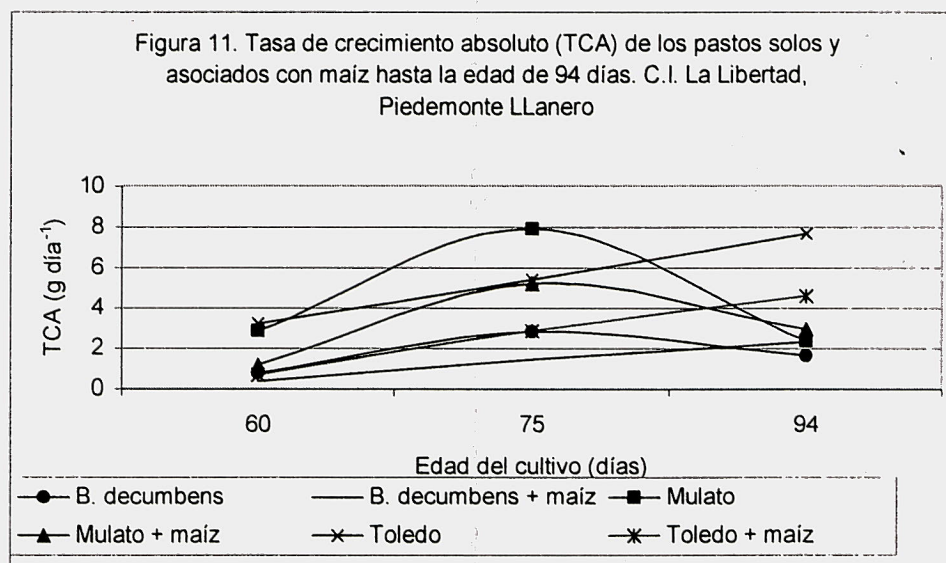
En los tres pastos solos y asociados con maíz, el IAF fue en aumento hasta el día de la última evaluación, contrario a lo observado en el maíz en monocultivo y asociado con los pastos que por ser una especie semestral, después de los 55 dds, este parámetro empezó a descender, mientras en los pastos asociados con maíz el IAF empezó a aumentar. Este comportamiento del IAF el cual está estrechamente relacionado con la producción de biomasa favorece y justifica el establecimiento de la asociación de maíz – pastos, porque 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 mas lento lo cual fue confirmado con un IAF promedio de 0.071 m^{-2} y la masa seca de $3,2 \text{ g m}^{-2}$ a la edad de 37 días. El maíz a los 45 dds presentó el mayor IAF con un valor de 3.5 y una masa seca de 29 g planta^{-1} , cuando el pasto solo tenía un IAF de 0.4 y una masa seca de 20.3 g m^{-2} .

Un comportamiento similar del IAF en la asociación de maíz con pastos, se presentó en condiciones de los Cerrados Brasileños, donde el maíz en sus estados de crecimiento iniciales no fue afectado por competencia con el pasto asociado. El mayor IAF del maíz fue a la edad de 50 días con un valor de 2, mientras que en esta misma fecha el IAF del pasto fue de 0.5, el cual aumento hasta 1.5 a la edad de 90 días mientras que en este mismo momento el IAF de maíz también fue de 1.5 (Portes *et al.* 2001). El IAF de la asociación de maíz – pastos en las condiciones del Piedemonte Llanero, a los 90 dds fue de 1.8 para el maíz y de 2.7 para los pastos. En esta misma época los pastos establecidos sin maíz presentaron un IAF promedio de 3.5.



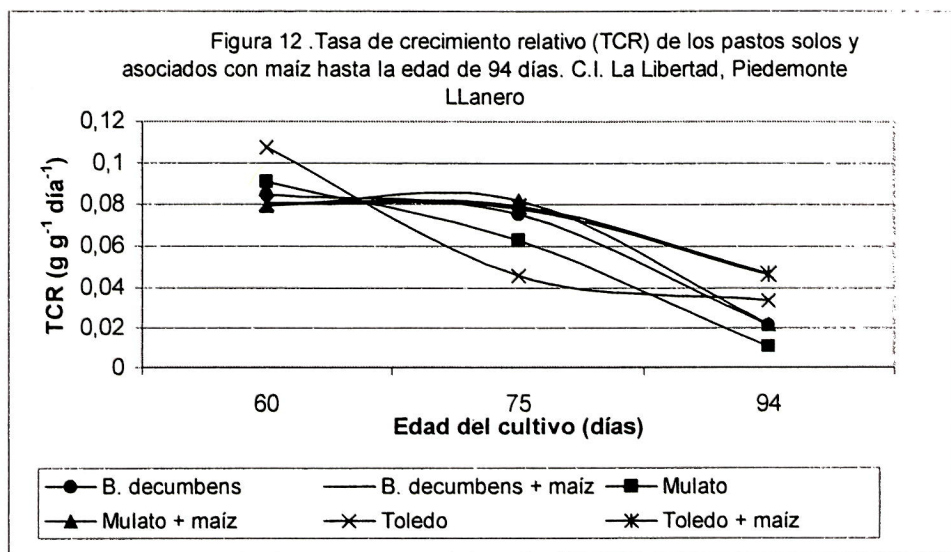
La tasa de crecimiento absoluto (TCA) del pasto Mulato en monocultivo y asociado con maíz presentó su mayor valor a los 75 dds con 8 g día^{-1} y 5.2 g día^{-1} respectivamente. El *B. decumbens* en monocultivo presentó el mismo comportamiento pero con una TCA mas baja (2.8 g día^{-1}). El pasto Toledo solo y asociado con maíz presentaron un TCA diferente a los otros dos pastos porque a mayor edad se incrementó en orden ascendente de tal forma que la TCA del pasto Toledo sin maíz fue de 3.3, 5.4 y 7.7 g día^{-1} a los 60, 75 y 94 días respectivamente. Este mismo pasto asociado con maíz presento una TCA de 0.7, 2.9 y 4.6 g día^{-1} en el mismo orden.

En general los pastos establecidos en monocultivo presentaron una mayor TCA que cuando estos se establecieron con el maíz (Figura 11)

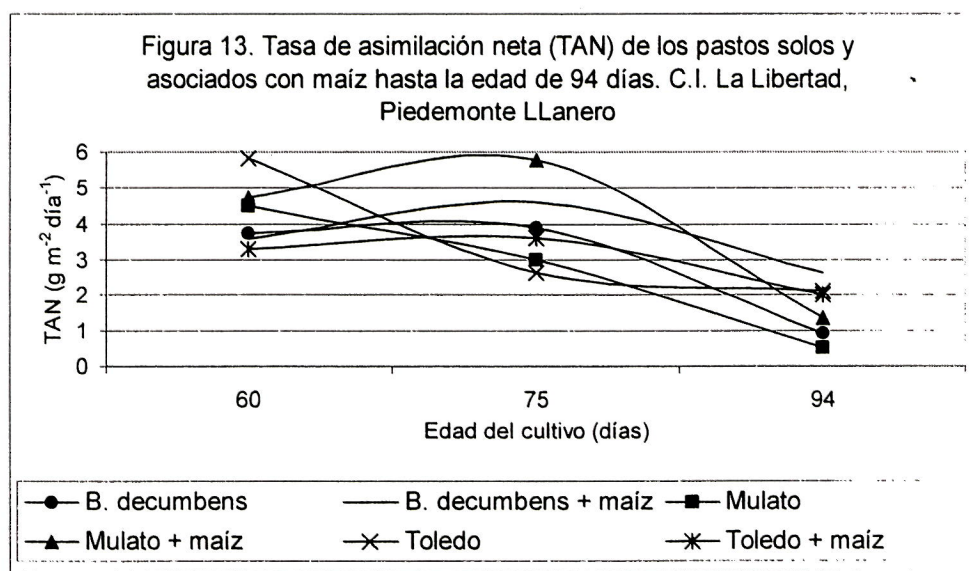


La tasa de crecimiento relativo (TCR) de los pastos Toledo y Mulato establecidos sin maíz, presentaron un descenso al aumentar la edad desde los 60 hasta los 94 días. El pasto Toledo fue el de mayor TCR a los 60 dds con $0.12 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y a los 75 dds descendió a $0.045 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Los pastos asociados con maíz y el pasto *B. decumbens* en monocultivo presentaron una TCR similar, en el periodo de 60 a 75 dds, con un valor promedio de $0.08 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$. La TCR inicialmente presentó valores altos los cuales fueron

disminuyendo con la edad la cual se debe en parte al aumento gradual de tejidos no asimilatorios (Maldonado, 1993, Jarma, 1994)



La tasa de asimilación neta (TAN) como indicador de la eficiencia fotosintética, mostró al pasto Toledo con el mayor valor a los 60 dds con $5.8 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ mientras que a la edad de 75 dds el máximo valor se obtuvo con el pasto Mulato asociado con maíz cuyo valor fue de $5.7 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Los pastos Toledo y Mulato establecidos en monocultivo disminuyeron la TAN desde la edad de los 60 días considerando que estos pastos cubrieron mas rápidamente el suelo y la competencia ente plantas fue mas temprano. El *B. decumbens* en monocultivo y los tres pastos asociados con maíz, presentaron un comportamiento similar de la TAN con un ligero incremento desde los 60 hasta los 75 dds, por efecto de la sombra del maíz y por el establecimiento mas lento del *B. decumbens*, (Figura 13).



2.3 Producción de grano de maíz establecido en monocultivo y asociado con pastos

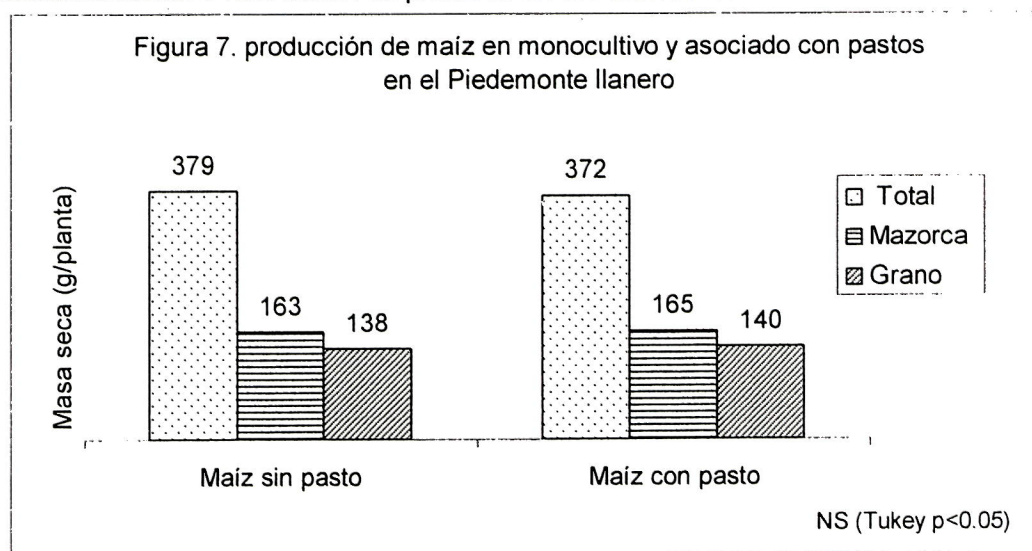
La asociación de maíz con pasto Mulato, se caracterizó por presentar valores mas altos de masa seca total y de grano, sin embargo las diferencias observadas no fueron significativas ($p>0.05$) cuando el cultivo se estableció solo o asociado con los tres pastos, obteniéndose una producción de masa seca total promedia de $372 \text{ gMS planta}^{-1}$, $165 \text{ g planta}^{-1}$ de mazorca y $140,8 \text{ g planta}^{-1}$ de grano de maíz. Esta producción de grano era de esperarse, considerando que no se presentaron diferencias en los índices fisiológicos (IAF, TCC, TAN) en el cultivo de maíz establecido en monocultivo y en asociación con los pastos.

Tabla 3. Producción de grano de maíz establecido en monocultivo y asociado con pastos. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Tratamiento	Masa seca (g planta^{-1})		
	Total	Mazorca	Grano
Maíz	378,7	163,3	138,1
Maíz + <i>B. decumbens</i>	359,1	156,5	133,7
Maíz + Mulato	411,6	183,1	156,9
Maíz + Toledo	345,4	155,7	131,9
Significancia	ns	ns	ns
Promedio	372,0	165,1	140,8
CV (%)	23,7	22,7	23

ns: Diferencias no significativas, ($P > 0.05$) Tukey

En la Figura 7 se puede apreciar la producción de materia seca de la planta, de la mazorca y de los granos de maíz, sin presentarse diferencias en el establecimiento del maíz en monocultivo y maíz asociado con pastos. Esto permite concluir que el establecimiento de maíz en asociación con los pastos no afecta los rendimientos de maíz, por lo tanto esta asociación se constituye como una alternativa importante para el establecimiento o renovación de praderas en el Piedemonte Llanero.



Conclusiones

-El crecimiento del maíz no fue afectado por el establecimiento en asociación con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo. La altura de la planta, el área foliar y la masa seca de la planta de maíz no presentaron diferencias significativas al establecerlo solo o en asociación con pastos.

-Se presentó una relación directa entre la producción de materia seca y el área foliar de la planta de maíz, sin embargo, los valores máximos de estos parámetros, se presentaron en diferentes edades del cultivo: la mayor área foliar coincidió con la máxima floración de la planta de maíz (45 dds) y la máxima producción de masa seca coincidió con el llenado del grano.

-El crecimiento de los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, fue afectado cuando estos se establecieron en asociación con maíz. La producción de masa seca y el área foliar de los pastos establecidos en monocultivo en los primeros 75 dds duplicó a la masa seca y área foliar obtenida en los mismos pastos establecidos en asociación con el maíz.

-El establecimiento de maíz en asociación con los pastos no afectó los rendimientos de maíz, por lo tanto esta asociación se constituye como una alternativa importante para el establecimiento o renovación de praderas en el Piedemonte Llanero.

Agradecimientos

Se presenta especial agradecimiento a COLCIENCIAS por la financiación del trabajo de investigación en el marco del proyecto "Potencial productivo y aspectos fisiológicos de los pastos tropicales bajo condiciones de manejo intensivo, como alternativa para recuperar praderas en suelos ácidos del piedemonte Llanero.

Bibliografía

- Bamikole, M. A., Akinsoyinu, A. O., Ezenwa, I., Babayemi, O. J., Akinlade, J. and Adewumi, M. K. 2004. Effect of six-weekly harvests on the yield, chemical composition and dry matter degradability of *Panicum maximum* and *Stylosanthes hamata* in Nigeria. *Grass and Forage Science* 59(4): 364-369
- Black, C.C. 1976. An assessment of C4 photosynthesis and productivity. In CO₂ metabolism and plant productivity. Ed. By R.H. Burris and C.C. Black. University Park Press. Baltimore. MD.
- Clavijo, J. P. 1992. Análisis de crecimiento en malezas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá. 15p.
- CORPOICA 2002. Informe Anual de Actividades. Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria. Reg. Ocho. C.I. La Libertad.
- Duarte, M.J., Alexandrino, E., Comide, J.A. 2005. Duração do período de descanso e crescimento do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob lotação intermitente. *R. Bras. Zootec.* 34(2)398-405.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold London. 48p.
- Jarma, A.O., Buitrago, C. y Gutiérrez, S. 1994. Respuesta del crecimiento de la Habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. Var. Blue Lake) A tres niveles de radiación incidente. *Revista Comalfi*, 26 (1-3): 62-67.
- Kluthcouski, J. e Aidar, H. 2001. Implantacao, conducao e resultados obtidos com o Sistema Santa Fé. En: Integracao lavoura – pecuaria. Eds. Kluthcouski, J., Stone. L. F. e Aidar. H. EMBRAPA arroz e Feijoo. San Antonio de Goias. Brasil . pp. 409-441
- Laffite, H.R. 2002. Fisiología del maíz tropical. Programa de maíz CIMMT. Tecnifenalce. N° 2 año 4. 7p
- López, Y.F. 1984. Bases fisiológicas para la producción y utilización de pastos Tropicales. XII programa para el desarrollo de la capacidad científica en investigación para la producción y utilización de pastos tropicales. Universidad Nacional, Palmira, Valle 14 p.
- Maldonado, G. 1993. Análisis de crecimiento de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Cerinza cv Tundama en condiciones de campo, Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogota. 453p.
- Marin, D., Olivar, Y. y Cavanerio, R. 1998. Crecimiento y rendimiento en granos en una asociación de maíz (*Z. mays* L.) y caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), con siembra simultánea. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 15: 297-311
- Medrano, H. y Flexas J. 2001. Fijación del dióxido de carbono y biosíntesis de fotosimilados.. En: Fundamentos de fisiología vegetal. Azcon-Bieto, J. y Talón, M McGraw-Hill/Interamericana, España. pp. 173-201

- Montaldi, E.R. 1995. Principios de fisiología vegetal. Ediciones Sur. La Plata, Argentina. 298p.
- Pereira, I. de O. e Pacheco, L. Y. 2001. Implantación y conducción del sistema Barreirao. En: Integracao lavoura – pecuaria. Eds. Kluthcouski, J., Stone, L. F. e Aidar, H. EMBRAPA arroz e Feijao. San Antonio de Goias. Brasil . pp. 265- 303
- Portes, T. de A., Carvalho, S.I.C. de, Oliveira, I.P. de. E Kluthcouski, J. 2000. Analise do crescimento de uma cultivar de Brachiaria em cultivo solteiro e consorciado com cereais. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Brasilia 35(7): 1349-1358
- Portes, T. de A., Carvalho, S.I.C. de. e Kluthcouski, J. 2001. Aspectos fisiologicos das plantas cultivadas e analise de crescimento da Brachiaria consorciada com cereais. En: Integracao Lavoura-Pecuaria. Eds. Kluthcouski, J., Stone, L.F., Aidar H. EMBRAPA arroz e Feijao. San Antonio de Goias. Brasil. pp.305-329.
- Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae. Their use and abuse. Crop Science 7:171-175
- Sans, J.I., Zeiger, R.S., Sarkarung, S., Molina, D.L. y 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. Eds. Guimaraes, E.P., Sanz J.I., Rao, I., Amezquita, M.C. Y Amezquita, E. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT y Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria – EMBRAPA. Cali Colombia. pp.232-244.
- Silveira, P.B., Honrad, M.L. y Pereira, M. 1999. Características morfológicas y fisiológicas relacionadas con el desempeño de arroz de secano asociado con *Brachiaria brizantha*. En: sistemas agropastoriles en Sabanas Tropicales de América Latina. Eds. Guimaraes, E.P., Sanz J.I., Rao, I., Amezquita, M.C. Y Amezquita, E. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT y Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria – EMBRAPA. Cali Colombia. pp.175 – 195

Producción de forraje en los pastos *Brachiaria decumbens* cv amargo y *Brachiaria brizantha* cv Toledo, sometidos a tres frecuencias y a dos intensidades de defoliación en condiciones del Piedemonte llanero Colombiano

Resumen

El experimento se desarrolló en un Oxisol del Piedemonte llanero. En un diseño experimental de bloques completos al azar en arreglo de parcelas subdivididas, se evaluaron los pastos *B. decumbens* y *B. brizantha* cv. Toledo, bajo tres frecuencias de defoliación (14, 28 y 42 días) y dos intensidades de defoliación. El área foliar y la biomasa disponible total no presentaron diferencias significativas en los dos pastos, obteniéndose a un promedio de 2.5 y 2036 kgMS ha⁻¹ respectivamente. La biomasa residual total fue superior en el pasto Toledo porque con 3284 kgMS ha⁻¹, superó ampliamente al *B. decumbens* cuya acumulación de biomasa residual fue de 1944 kgMS ha⁻¹. La intensidad de defoliación baja, favoreció la producción de forraje disponible y residual de los pastos evaluados. Se presentó una disponibilidad de 2056 kgMS ha⁻¹ en la intensidad baja y 1760 kgMS ha⁻¹ en la intensidad alta. El forraje residual compuesto en su mayoría por tallos fue de 2860 kgMS ha⁻¹ en la intensidad baja y de 2216 kgMS ha⁻¹ en la intensidad alta. Cuando la defoliación se realizó a los 14 días, los pastos presentaron buen contenido de proteína (12.9%) pero la disponibilidad de biomasa fue baja (714 kgMS ha⁻¹), en tanto, a los 42 días se alcanzó a 2760 kgMS ha⁻¹ con una proteína de 9.8%. Los nutrientes de reserva en los dos pastos en su mayoría estuvieron conformados por almidón el cual se acumuló en más cantidad en los tallos y el contenido más elevado se encontró a los 28 días de rebrote.

Palabras claves: pastos, forraje, producción, defoliación, intensidad, frecuencia, biomasa, nutrientes de reserva.

Abstract

The experiment was carried in an Oxisol of the Piedmont of the Oriental plains of Colombia. In an experimental design of complete blocks at random in split-plot arrangement, the grasses *B. decumbens* and *B. brizantha* cv. Toledo were evaluated, under three defoliation frequencies (14, 28 and 42 days) and two defoliation intensities. The leaf area and the biomass available total didn't present significant differences in the two grasses, being obtained to an average of 2.5 and 2036 kgMS ha⁻¹ respectively. The biomass residual total was greater in the grass Toledo because with 3284 kgMS ha⁻¹, it overcame the *B. decumbens* whose accumulation of residual biomass was of 1944 kgMS ha⁻¹. The intensity of low defoliation, favored the production of available and residual forage of the valued grasses. A available forage of 2056 kgMS ha⁻¹ was presented in the low intensity and 1760 kgMS ha⁻¹ in the high intensity. The compound residual forage in its majority for stems was of 2860 kgMS ha⁻¹ in the low intensity and of 2216 kgMS ha⁻¹ in the high intensity. When the defoliation was carried out to the 14 days, the grasses presented good protein content (12.9%) but the available of biomass was low (714 kgMS ha⁻¹), whereas, to the 42 days was reaches to 2760 kgMS ha⁻¹ with a protein of 9.8%. The nutrients of reserve in the two grasses in their majority were conformed by starch which accumulated in more quantity in the stems and the highest content was to the 28 days of regrow.

Keywords: grasses, forage, yield, defoliation, intensity, frequency, biomass, nutrients of reserve

Introducción

En la utilización de los pastos, la altura y el momento de la cosecha constituyen elementos básicos en su manejo, por la influencia que estos ejercen en su comportamiento morfofisiológico y productivo. Se han realizado estudios sobre la edad y altura de corte o pastoreo, con el propósito de profundizar en los diferentes mecanismos relacionados con la defoliación y sus respuestas en producción de biomasa y persistencia de las especies. Todos están directamente relacionados con la acumulación y distribución de los asimilados en sus diferentes órganos, con el balance de reservas y velocidad de rebrote. (Gomide, 1988, Beltrán *et al.*, 2005)

La defoliación es la remoción de toda o alguna parte aérea de la planta, por algún medio mecánico o por pastoreo (Thomas, 1980) y generalmente se define en términos de intensidad o proporción de forraje removido y frecuencia o intervalo de tiempo entre las sucesivas defoliaciones. En general, la acumulación de materia seca del forraje se reduce cuando la defoliación se realiza con mayor frecuencia y con mayor intensidad, tanto en especies templadas como en especies tropicales. Esta reducción en materia seca es atribuida a varios factores, como la reducción en la intercepción de luz para la actividad fotosintética, remoción de reservas orgánicas de la planta, reducción en toma de agua y nutrientes por las raíces y daño en los meristemos apicales (Cuesta *et al* 2003, Harris, 1978). La importancia relativa de cada uno de estos factores es normalmente influenciada por el medio ambiente y por condiciones de pastoreo (Chaparro, 1991).

En condiciones de pastoreo la dinámica de crecimiento no sólo depende de las variaciones del clima y el suministro de nutrientes, sino de la acción de los animales en el pastoreo, cuyas interacciones son numerosas y complejas, con respuestas morfológicas y fisiológicas variables, en dependencia del hábito de crecimiento de la planta, mecanismos de propagación y persistencia, y del sistema de manejo empleado en su explotación (Rodríguez y Aviles, 1997).

El aumento de la edad de rebrote provoca cambios significativos en los componentes solubles, estructurales y la digestibilidad de los pastos, lo cual hace que su valor nutritivo disminuya con el avance de la edad, cuya tasa de reducción es mayor en las gramíneas que en las leguminosas. Es oportuno señalar que bajo condiciones de pastoreo estos cambios en el tiempo se producen de forma diferente, estando relacionado directamente con la cantidad y composición estructural del material residual después del pastoreo y a través del período de crecimiento (Bircham and Hodgson, 1983).

Independientemente de que los tallos jóvenes contienen altas concentraciones de fracciones solubles y su digestibilidad puede ser igual o superior a las hojas, la calidad se reduce más rápidamente con el aumento de la madurez de la planta. Sin embargo, su utilización a edades tempranas también provoca efectos negativos no sólo por la baja concentración de materia seca y nutrientes, sino por poseer un contenido de reservas en las partes bajas de los tallos y raíces de la planta que no le permite un adecuado rebrote y crecimiento vigoroso después del corte o el pastoreo. Por lo tanto, es importante buscar un adecuado balance entre el rendimiento, la composición química y el contenido de reservas en las partes bajas y subterráneas de los pastos, que permitan una máxima persistencia y utilización. La altura de corte o pastoreo es un elemento determinante en la dinámica de crecimiento de los pastos, por su estrecha relación con la remoción de los puntos de crecimiento que ocurren durante la cosecha y el balance de carbohidratos de reservas (Thomas, 1980, Entrena *et al*, 1998)

En especies tropicales, Turner y Seastedt (1993) hallaron respuestas similares y destacaron el efecto negativo de una alta frecuencia de pastoreo cuando los niveles de intensidad son altos, principalmente en la acumulación de las reservas y en la biomasa aérea de las plantas. Por otra parte, informaron sobre la capacidad que poseen estas especies para compensar los efectos de la alta intensidad de pastoreo y señalaron el aumento de la tasa de expansión foliar, índice de área foliar y asimilación neta como respuesta a la alta intensidad de defoliación. Sin embargo es gramíneas C3, Grant *et al.*, (1981) citado por Peternelli (2003), encontraron que el tamaño de las hojas de *Lolium perenne* disminuía cuando el pastoreo se manejaba en forma más intensiva.

Da Silva (1996) determinó que los efectos de la defoliación en la fotosíntesis, fijación de carbono, translocación y empleo de los carbohidratos de reserva son de carácter transitorio, cuya duración en *Cynodon dactylon* puede alcanzar hasta 7 días. La importancia de las reservas orgánicas como factor de rebrote de los pastos parece limitarse a los primeros días de recuperación después del corte, cuando se expanden las primeras hojas. Su contribución tiene que ver con el mantenimiento de la respiración de las raíces y las hojas remanentes después del corte y el aporte de energía para la producción de nuevas hojas (Fulkerson e Snack, 1994). Para que ocurra un balance positivo en la asimilación del carbono debe estar reestablecida la capacidad fotosintética del pastizal en sus hojas remanentes y en crecimiento después del pastoreo, así como la presencia de zonas meristemáticas activas que le permitan a la planta la formación de un nuevo sistema foliar (Pedreira *et al.*, 2000).

Las reservas orgánicas son el mecanismo que poseen las plantas forrajeras para activar el rebrote, asegurar su persistencia y mantener su producción; las cuales están constituidas principalmente por carbohidratos y compuestos nitrogenados. Las reservas son usadas para el mantenimiento de la planta y para la producción de biomasa aérea y subterránea en períodos de estrés, e incluyen azúcares reductores (glucosa, fructosa) azúcares no reductores (sucrosa), fructosanos y almidones (Holmes, 1982). Los pastos tropicales acumulan almidones y a veces sucrosa y los de zona templada fructosanos y en menor proporción sucrosa (Lucas, 2003; López, 1988).

En una evaluación en 10 gramíneas tropicales para caracterizar y evaluar los carbohidratos de reserva se encontró que los máximos valores de carbohidratos de reserva (6.9%) fueron obtenidos con una frecuencia de 42 días y con una altura de corte de 30 cm (Clavero, 1993). Los órganos principales para almacenamiento de reservas orgánicas en gramíneas perennes son la base de los tallos, los estolones, rizomas y la corona (Deregibus *et al.*, 1982; Smith, 1974). Las reservas orgánicas cambian estacional y diariamente y el grado de distribución varía con la especie. El nivel de reservas es afectado por el estado de desarrollo (vegetativo o reproductivo), las condiciones del medio ambiente y del suelo, la defoliación, la nutrición mineral y la época del año (Trott *et al.*, 2004; Holmes, 1982). Cuando las plantas forrajeras son sometidas a defoliaciones frecuentes, hay reducción en la concentración de carbohidratos totales no estructurales.

En suelos deficientes en materia orgánica, la aplicación de bajas dosis de N puede incrementar el área foliar, la concentración de clorofila y la tasa de fotosíntesis y como resultado de ello promover la acumulación de reservas (White, 1973). Excesos de N en el suelo promueven el crecimiento y rebrote, estimulando la síntesis de aminoácidos y amidas; por lo cual, la mayoría de carbohidratos disponibles pueden ser utilizados como esqueletos de carbono para síntesis de proteína, impidiendo la acumulación de reservas (Lucas, 2003; White, 1973). Así mismo, excesos de N junto con altas temperaturas y frecuente e intensa defoliación causan deterioro de la pradera por reducción de la tasa de crecimiento y agotamiento de las reservas de carbohidratos (Harris, 1978). Cuando la defoliación es total, se requiere un nivel adecuado de reservas orgánicas para iniciar el proceso de rebrote en las gramíneas (Deregibus *et al.*, 1982; Harris, 1978); sin embargo

las reservas son importantes en los primeros días después de la defoliación y luego dependen del índice de área foliar (IAF) y de la absorción de nutrientes del suelo.

El índice de área foliar se define como la relación entre el área de las hojas de la planta y el área de suelo que ellas ocupan. La intensidad de defoliación determina la cantidad de forraje que permanece en la pradera, o sea la cantidad de tejido fotosintético, por lo que el área foliar residual después del pastoreo puede afectar significativamente las tasas de crecimiento de las especies y con ello alterar los balances en las asociaciones gramínea-leguminosa de las especies forrajeras en las praderas (Baret and Guyot, 1991).

En pastoreos intensivos de pasturas asociadas se debe tener en cuenta que los rebrotes emergen dependiendo de la severidad de la defoliación previa (pastoreo). La proporción de hojas jóvenes que queda en el remanente de las plantas recién pastoreadas, es lo que posibilita el potencial fotosintético de la pastura (Palhano *et al.*, 2005). La radiación solar es uno de los elementos más importantes para la producción de forraje aprovechable, en virtud que aporta toda la energía requerida para el crecimiento. La velocidad de recuperación de los carbohidratos de reserva esta relacionado con la tasa de fotosíntesis, y esta depende directamente del remanente de hojas jóvenes (Adjei *et al.*, 1989). Lo ideal es retirar los animales del lote dejando una proporción tal de hojas jóvenes y activas que permitan la rápida recuperación de la actividad fotosintética, y el movimiento adecuado de carbohidratos de reserva desde la raíz. En pasturas muy pastoreadas, se requiere mayor tiempo de descanso para la recuperación de los carbohidratos de reserva y emisión de nuevos brotes foliares. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se desarrolló esta investigación, con el propósito de generar conocimiento para dar un buen manejo de pastoreo a las praderas de Toledo y *B. decumbens*, con relación a periodos de ocupación y descanso, altura adecuada de pastoreo relacionada con el forraje residual y reservas orgánicas que permitan una buena recuperación y producción de biomasa de estos pastos, para obtener pasturas más productivas durante varios años y así reducir la degradación de praderas en condiciones de los Llanos orientales de Colombia.

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló en un Oxisol de la terraza media del Centro de Investigaciones Corpoica, La Libertad, ubicado en el municipio de Villavicencio (Meta, Colombia) a 9° 6' de latitud norte y 73° 34' de longitud oeste, a una altura de 330 m.s.n.m., la precipitación anual promedio de los últimos 30 años ha sido de 2900 mm, el promedio de temperatura es de 26 °C y una humedad relativa de 85% en la época lluviosa y 65% en la época seca. Los suelos son muy ácidos con una saturación de aluminio de 71% mientras que la saturación de bases fue 25%. Los nutrientes mas deficientes fueron fósforo, calcio y magnesio con 1 ppm, 0.44 me 100g de suelo⁻¹ y 0.12 me 100g de suelo⁻¹, respectivamente.

La siembra de los pastos para aplicar los diferentes tratamientos, se realizó en octubre del 2004, con el fin de tenerlos bien establecidos al comienzo de las lluvias del año 2005 y poder iniciar las evaluaciones correspondientes. Se hizo control manual de malezas a comienzos del mes de abril de 2005.

Los tratamientos que se establecieron fueron los siguientes:

Pasto Toledo con defoliación a los 14 días a una intensidad alta
Pasto Toledo con defoliación a los 14 días a una intensidad baja
Pasto Toledo con defoliación a los 28 días a una intensidad alta
Pasto Toledo con defoliación a los 28 días a una intensidad baja
Pasto Toledo con defoliación a los 42 días a una intensidad alta
Pasto Toledo con defoliación a los 42 días a una intensidad baja

Pasto *B. decumbens* con defoliación a los 14 días a una intensidad alta
Pasto *B. decumbens* con defoliación a los 14 días a una intensidad baja
Pasto *B. decumbens* con defoliación a los 28 días a una intensidad alta
Pasto *B. decumbens* con defoliación a los 28 días a una intensidad baja
Pasto *B. decumbens* con defoliación a los 42 días a una intensidad alta
Pasto *B. decumbens* con defoliación a los 42 días a una intensidad baja

Las frecuencias de defoliación a los 14, 28 y 42 días se establecieron en este rango, considerando que los pastos tropicales antes de los 14 días de rebrote no han acumulado suficiente biomasa para su utilización en forma eficiente, y después de los 42 días de rebrote, los pastos aunque presentan alta disponibilidad de forraje, ya se han madurado con alta formación de pared celular y disminución del contenido de proteína, lo cual puede afectar el consumo por parte del animal (Beltrán *et al.*, 2005; Lemaire, 2001; Entrena *et al.*, 1998).

Las intensidades alta y baja se establecieron con base en la altura de corte y al hábito de crecimiento de cada pasto. En el caso del *B. decumbens* que es una especie de crecimiento semierecto o decumbente (Keller-Grein *et al.*, 1998) se consideró como intensidad alta a una altura de corte de 20 cm sobre el nivel del suelo y la intensidad baja de defoliación a la altura de corte de 30 cm. El pasto Toledo es una especie de crecimiento erecto en macollas (Argel *et al.*, 2000, Lascano *et al.*, 2002), por lo tanto se estableció como intensidad baja de defoliación al corte realizado a una altura de 35 cm mientras que el corte de la intensidad alta fue de 25 cm

Diseño experimental

Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño experimental en bloques completos al azar en arreglo de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. La asignación fue la siguiente:

Parcela principal: Gramínea forrajera: *B. brizantha* cv Toledo y *B. decumbens* con un área de 108 m²

Subparcela: frecuencias de defoliación: 14, 28 y 42 días, con un área de 36 m²

Sub-subparcela: intensidades de defoliación: alta y baja, con un área de 18 m²

Número total de unidades experimentales: 2 pastos x 3 frecuencias de pastoreo x 2 intensidades de pastoreo x 4 repeticiones = 48.

Establecimiento del experimento

El suelo se preparó con un pase de cincel rígido, dos pases de rastra y un pase de pulidor. Teniendo en cuenta los análisis de suelos se aplicó la siguiente fertilización:

500 kg ha⁻¹ de cal dolomítica (150 kg de Ca, 42 kg de Mg)

500 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (100 kg de P₂O₅, 150 kg de Ca)

300 kg ha⁻¹ de yeso agrícola (90 kg de Ca, 52 kg de S)

50 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (60 kg de K₂O)

100 kg ha⁻¹ de urea (46 kg de N)

Antes de la siembra se incorporó la cal dolomítica, roca fosfórica y el yeso agrícola. A los 45 días después de la siembra se aplicó al voleo el cloruro de potasio y la urea.

La densidad de siembra utilizada fue de cuatro kg ha⁻¹ de semilla con una germinación de 40%. La siembra se realizó manualmente en surcos separados a 0.5 m colocando un promedio de 20 semillas por metro lineal. Las semillas germinaron al término de 30 días

después de la siembra, y las plantas tuvieron un espacio en el tiempo para desarrollarse y tener un buen establecimiento, de tres meses de lluvias (octubre, noviembre y diciembre).

Al comienzo de las lluvias del año siguiente (abril de 2005), se realizó el corte inicial de los pastos con guadaña manual, a la altura correspondiente de cada intensidad de defoliación procurando dejar en la planta el forraje residual de acuerdo a los tratamientos de intensidades propuestos. Estos cortes se programaron considerando las frecuencias de defoliación a los 14, 21 y 42 días.

Evaluaciones

Después de realizado el corte de uniformización de las unidades experimentales a las alturas correspondientes, se iniciaron las evaluaciones en los tratamientos con una frecuencia de defoliación de 14 días, posteriormente se evaluó los tratamientos a la frecuencia de 28 días y luego a la frecuencia de 42 días.

Los parámetros que se evaluaron fueron producción de forraje, índice de área foliar, composición botánica, y valor nutritivo del forraje. Asimismo se evaluó la concentración y tipo de nutrientes de reserva (azúcares no estructurales, almidones, N total, N soluble) y los órganos de almacenamiento en la planta (base de los tallos, corona y raíces). Como se tienen diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo lo cual influirá directamente en la calidad nutritiva del forraje, se realizó análisis de calidad del respectivo forraje.

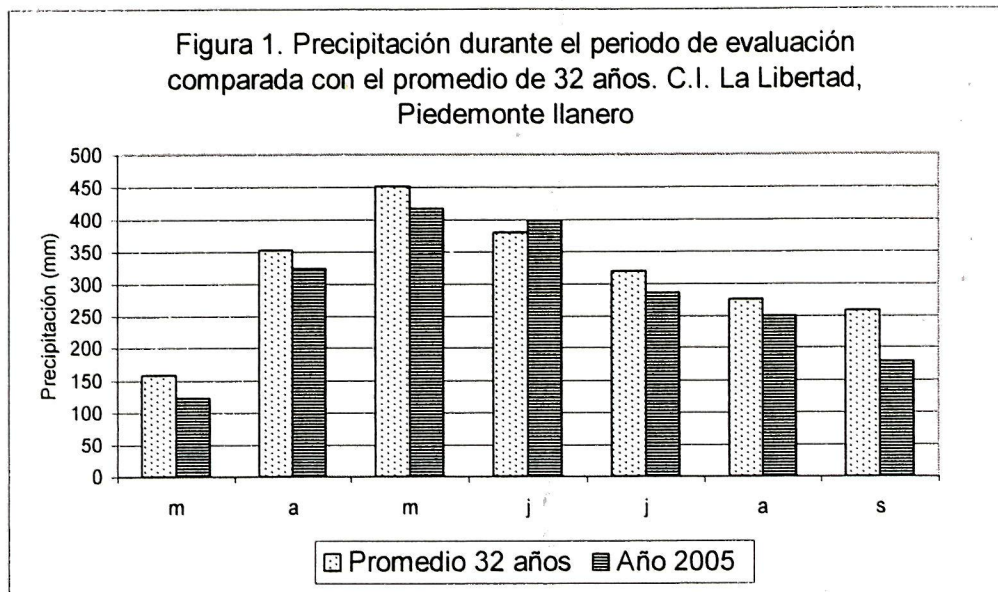
Para las evaluaciones de forraje disponible y forraje residual, se realizaron muestreos en cada unidad experimental con marcos de 0.25 m² (0.5 m X 0.5 m), el forraje cortado fue separado en hojas, tallos y material muerto o senescente, para determinar la materia seca del forraje se tomó una submuestra de 200 g. de forraje verde y se sometió a 65°C en una estufa por un periodo de 72 horas. Para determinar el área foliar se utilizó un planímetro Li-cor 3000A. En la evaluación de la calidad nutritiva de las hojas se tuvo en cuenta la proteína cruda determinada mediante Micro-kjeldahl, Fibra en detergente neutro - FDN (Van Soest., P.J. and Wine R.H. 1967) y la digestibilidad "in situ" de la materia seca en bolsa de nylon utilizando animales fistulados.

El forraje residual se evaluó en las plantas a las cuales se les había evaluado el forraje disponible, haciendo cortes a ras del suelo.

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System). Todas las variables se evaluaron mediante análisis de varianza. Para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey.

Resultados y discusión

Las evaluaciones se realizaron entre los meses de abril y septiembre del 2005, tiempo durante el cual la precipitación alcanzada fue de 1975 mm, resultando ser inferior en 219 mm con respecto al promedio de 32 años que ha sido de 2194 mm en los siete meses de estudio (Figura 1), esta precipitación corresponde al 75% del total anual, siendo mayo y junio los meses mas lluviosos del año.



Índice de área foliar

La información del área foliar de los pastos se presenta como índice de área foliar (IAF) (Tabla 1). El IAF del forraje disponible con un promedio de 2.5 (2.5 m² de área foliar en un m² de suelo), no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los pastos *B. decumbens* y Toledo, de igual forma en el forraje residual que quedó después de realizado el corte, tampoco se presentaron diferencias significativas, obteniéndose un IAF promedio de 0,92. Estas hojas o parte de hojas que quedaron después del corte, son las encargadas de realizar la fotosíntesis para la producción de nuevos tejidos y acumulación de biomasa vegetal (Macon et al., 2002). Se ha informado que el éxito en la recuperación de plantas forrajeras después de la defoliación, se debe tanto al almacenamiento de compuestos de reserva, como también al área foliar residual que queda después de la defoliación, estos dos mecanismos actúan en forma complementaria, sin embargo, cuando el área foliar residual es suficiente para la producción de nuevos tejidos vegetales, la importancia de los compuestos de reserva pasa a ser secundaria (Vecchiatti, 2002).

El IAF de los pastos fue proporcional a las frecuencias de corte o defoliación, porque a mayor periodo de desarrollo o de producción de biomasa de las plantas, es decir cuando el corte de evaluación se hizo en la frecuencia de 42 días, el IAF fue superior significativamente ($p < 0.05$) con un valor de 3.5, por el mayor tiempo que tuvieron las plantas para acumular forraje. En tanto, a los 28 días fue de 2.4 y a los 14 días de 1.4. El IAF en el forraje residual no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las frecuencias evaluadas, obteniéndose un promedio de 0,92. Es claro que a los 14, 28 y 42 días las plantas siempre fueron cortadas a la misma altura, lo que explica la presencia de un forraje residual similar.

El IAF de los pastos con respecto a las intensidades de defoliación, relacionadas con la altura a la que fueron cortados, no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el IAF del forraje disponible, obteniéndose un promedio de 2.5, por lo tanto no se presentaron efectos sobre el área foliar, cuando los cortes se realizaron a 25 o 30 cm en el *B. decumbens* y a 30 o 35 cm en el Toledo. Vecchiatti, (2002) trabajando con *Brachiaria brizantha* cv Marandu (especie parecida al pasto Toledo) en condiciones del Estado de Sao Pablo Brasil, donde se presentan diferencias climáticas especialmente en brillo solar (brillo solar en Sao Pablo es de 6.5 horas luz y en el Piedemonte llanero es de

4.5 horas luz) y los suelos son de mejor calidad especialmente en contenidos de fósforo, obtuvo un IAF de 1.7, 3.5, 4.0 y 3.8 cuando las alturas de defoliación fueron de 10, 20, 30 y 40 cm respectivamente, se aprecia que el IAF aumentó a mayor altura de defoliación especialmente con respecto a la defoliación hecha a 10 cm, sin embargo, a alturas de 30 y 40 cm la variación en área foliar fue poca, tal como sucedió con el Pasto Toledo y el *B. decumbens*. Por otra parte Gomide y Zago (1980) trabajando con *Panicum maximum* con cortes a 15, 20 y 25 cm concluyeron que los rebrotes de esta gramínea están mas asociados a la sobrevivencia de los meristemos apicales que a los carbohidratos de reserva en la base de los tallos, sin embargo en los dos casos, los meristemos y los carbohidratos de reserva pueden ser afectados por altas intensidades de defoliación o sobrepastoreo.

El IAF en el forraje residual, si presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) a favor de la intensidad baja, es decir, cuando los cortes de defoliación de los pastos se realizaron a mayor altura, obteniéndose un IAF de 1.07, mientras que en la intensidad de defoliación alta, o corte de los pastos a menor altura, el IAF del forraje residual fue de 0,78.

Tabla 1. Índice de área foliar de los pastos *B. decumbens* y Toledo, bajo tres frecuencias y dos intensidades de defoliación. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	IAF forraje disponible	IAF forraje residual
<i>B. decumbens</i>	2,3 a	0,94 a
Toledo	2,7 a	0,93 a
Frecuencia		
14 días	1,4 c	0,98 a
28 días	2,4 b	0,90 a
42 días	3,5 a	0,88 a
Intensidad		
Baja	2,6 a	1,07 a
Alta	2,4 a	0,78 b
CV (%)	25,9	35,2

Valores con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

Producción de biomasa

La evaluación de la producción de biomasa se realizó en forma fraccionada, tomando por separado las hojas, los tallos y el material muerto o senescente de los pastos. Se encontró una disponibilidad de hojas en el pasto Toledo de 1620 kgMS ha⁻¹ resultando ser superior en forma significativa ($p < 0.05$) con respecto al *B. decumbens* que produjo 1200 kgMS ha⁻¹. Sin embargo, la presencia de tallos en el forraje disponible fue mayor en el pasto *B. decumbens* ($p < 0.05$), cuyo valor fue de 804 kgMS ha⁻¹ mientras que el pasto Toledo produjo 448 kgMS ha⁻¹ siendo inferior en un 80%. Por su parte, la acumulación de material senescente fue mayor en el pasto Toledo resultando ser 2.3 veces más a lo obtenido con el *B. decumbens*. Sin embargo, la presencia de material senescente con respecto a la biomasa disponible de hojas y tallos fue de solo 3,5% en el *B. decumbens* y de 6.6% en el Pasto Toledo.

La biomasa que quedó en la planta después de realizado el corte, denominada forraje residual, en el pasto Toledo presentó mayor cantidad de hoja y tallo residual con 572 y 2218 kgMS ha⁻¹ respectivamente, mientras que el *B. decumbens* presentó una residualidad de hojas de 440 kgMS ha⁻¹ y de 1504 kgMS ha⁻¹ de tallos. Como se puede

ver, la cantidad de tallos que quedan después de la defoliación en el pasto Toledo, superó en 32% a los tallos del *B. decumbens*. La acumulación de material senescente en el forraje residual también fue 2.3 veces mayor en el pasto Toledo con respecto al del *B. decumbens*, sin embargo, es importante tener en cuenta la alta cantidad de este material en el forraje residual especialmente en el Pasto Toledo (1340 kg ha⁻¹) que fue de un 30% del total de biomasa residual mientras que en el *B. decumbens* fue de 23%. Santos (1997) encontró que en *Panicum maximum* cv Tanzania y cv Mombaca, la cantidad de material senescente aumentó cuando los intervalos de pastoreo pasaron de 38 a 42 días, en tanto, Grasselli (2000) observó que a mayor altura de defoliación aumentó en forma lineal la cantidad de material senescente, encontrándose un comportamiento diferente en este experimento porque a las intensidades de defoliación altas y bajas no se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de material senescente.

Tabla 2. Producción de biomasa (kg ha⁻¹) de los pastos *B. decumbens* y Toledo, bajo tres frecuencias y dos intensidades de defoliación. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	Masa seca Hoja		Masa seca tallo		Material senescente	
	disponible	residual	disponible	residual	disponible	Residual
<i>B. decumbens</i>	1200 b	440 b	804 a	1504 b	52 b	580 b
Toledo	1620 a	572 a	448 b	2712 a	124 a	1340 a
Frecuencia						
14 días	712 c	504 a	180 c	1912 a	37,2 b	992 a
28 días	1256 b	452 a	640 b	2116 a	108 a	1020 a
42 días	1912 a	440 a	848 a	2196 a	108 a	1008 a
Intensidad						
Baja	1384 a	544 a	672 a	2316 a	92 a	1044 a
Alta	1280 a	392 b	480 b	1824 b	80 a	968 a
CV (%)	25,3	27,7	29,1	30,6	39	30,8

Valores con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

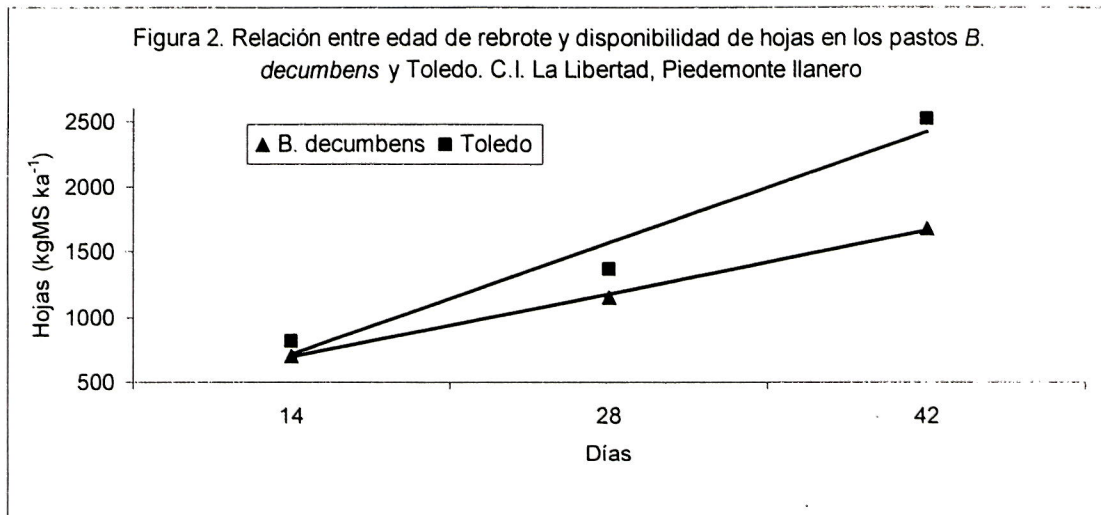
El aumento en la producción de biomasa de hojas fue superior significativamente en la medida que se aumentó la frecuencia de defoliación, encontrándose que esta fue de 712, 1256 y 1912 kgMS ha⁻¹ en los cortes realizados a los 14, 28 y 42 días respectivamente, por lo tanto en los primeros 14 días la producción de hojas fue de 712 kgMS ha⁻¹, en los siguientes 14 días se produjo 540 kgMS ha⁻¹ y en los últimos 14 días 656 kgMS ha⁻¹.

En la Figura 2 se puede apreciar la correlación existente entre el aumento de materia seca de las hojas de los pastos con respecto al aumento en la frecuencia de defoliación o edad de rebrote, en donde el pasto Toledo y el *B. decumbens* presentaron una tendencia lineal positiva con las siguientes ecuaciones de regresión:

$$\text{Pasto Toledo: } y = 855x - 142.67 \quad (R^2 = 0.96)$$

$$\text{B. decumbens: } y = 488.5x + 200.67 \quad (R^2 = 0.99)$$

Estas ecuaciones demuestran que en el pasto Toledo, por cada 14 días de rebrote hay una producción de 855 kgMS ha⁻¹ de hojas (61 kgMS ha⁻¹ diarios), mientras que en el *B. decumbens* fue de 488 kgMS ha⁻¹ (35 kgMS ha⁻¹ diarios).

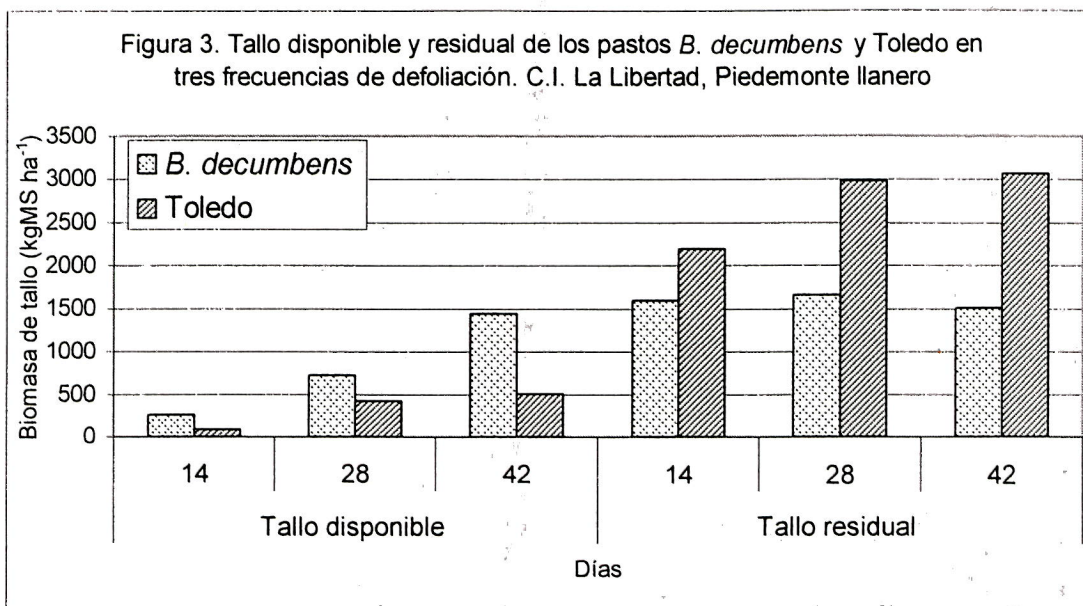


La disponibilidad de biomasa de tallos también fue mayor ($p < 0.05$) a medida que se aumentó la frecuencia de defoliación al pasar de 180 kgMS ha⁻¹ a los 14 días hasta 848 kgMS ha⁻¹ a los 42 días, sin embargo, la proporción de tallos en la biomasa total disponible fue de 20% a los 14 días, de 30% a los 28 días y de 30% a los 42 días de realizado el corte. El material senescente solo fue de 37 kgMS ha⁻¹ (5.6%) a los 14 días mientras que a los 28 y 42 días fue de 108 kgMS ha⁻¹ en las dos épocas, equivalente a una proporción de 5.3% y 3.3% respectivamente.

La biomasa de tallo en el forraje disponible del pasto Toledo fue de 85, 420 y 510 kgMS ha⁻¹ a los 14, 28 y 42 días respectivamente, resultando ser inferior con respecto al *B. decumbens*, sin embargo en el forraje residual sucedió lo contrario, porque la cantidad de tallos fue superior, con 2140, 2986 y 3072 kgMS ha⁻¹ a la misma edad de rebrote, respectivamente (Figura 3).

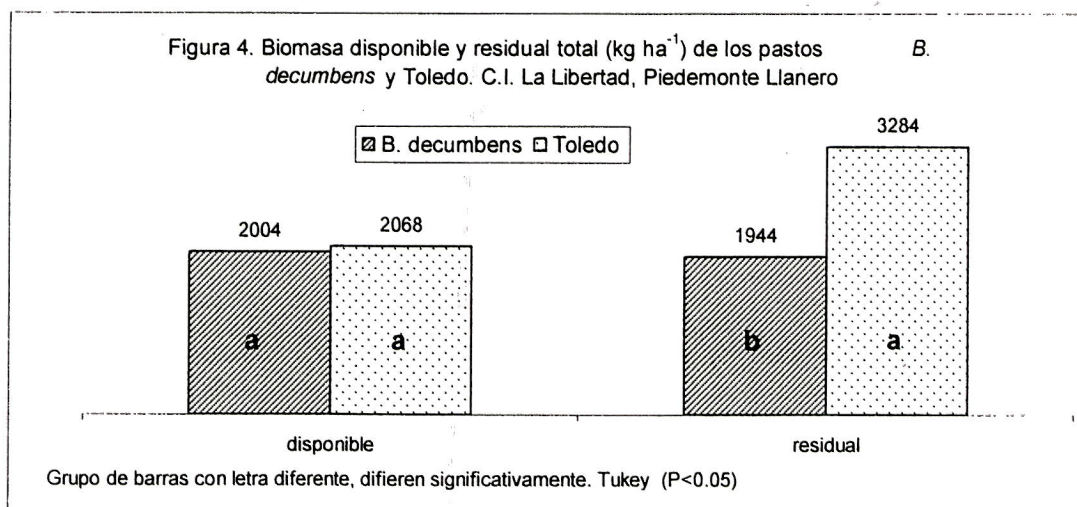
En el forraje disponible a los 42 días, el 58% correspondió a las hojas y el 42% a tallos, mientras que en el forraje residual el 82% correspondió a tallos y el 18% a hojas. La cantidad de material senescente fue baja en el forraje disponible con solo un 4%, mientras que en el forraje residual fue de un 40%.

La relación hoja:tallo en el forraje disponible del *B. decumbens* fue de 1.5:1 y en el pasto Toledo 3.6:1, en tanto, en el forraje residual del *B. decumbens* esta relación fue de 1:3.4 y en el pasto Toledo fue de 1:4.7



La intensidad de defoliación de los pastos no afectó significativamente ($p > 0.05$) la disponibilidad de materia seca de las hojas, en cambio la presencia de tallos en el forraje disponible fue superior significativamente ($p < 0.05$) en la intensidad baja o corte realizado a mayor altura, con 672 kgMS ha^{-1} mientras que a mayor intensidad de defoliación se obtuvo 480 kgMS ha^{-1} de tallos. En el forraje residual como era de esperarse, se obtuvo mayor cantidad de tallos cuando el corte se realizó a mayor altura (35 cm en el pasto Toledo y de 30 cm en el *B. decumbens*).

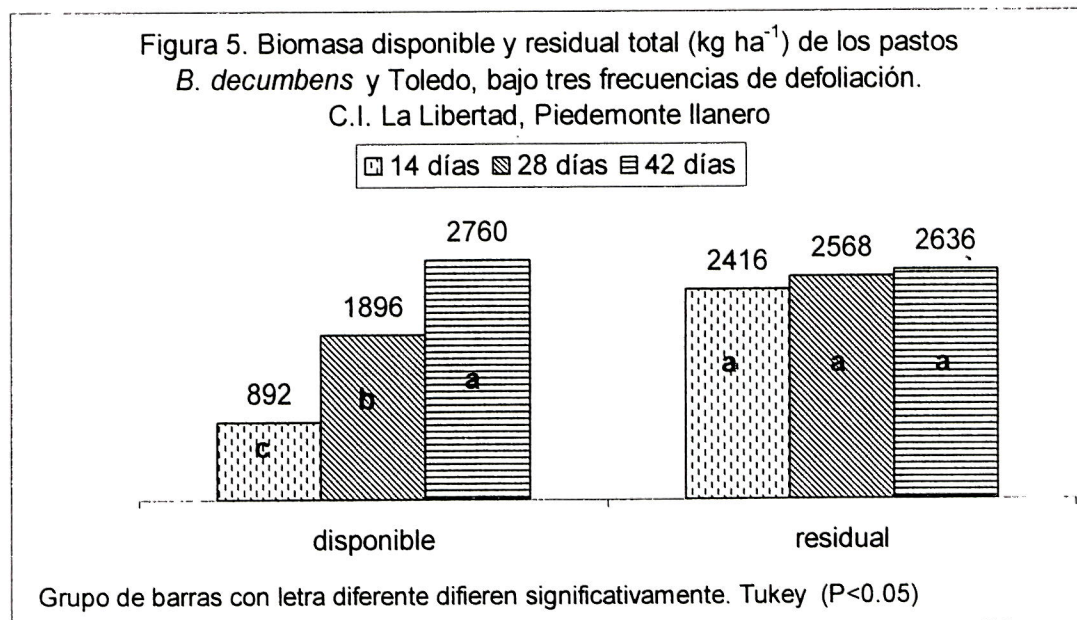
La biomasa disponible total (hojas + tallos) no presentó diferencias significativas en los dos pastos, obteniéndose a un promedio de $2036 \text{ kgMS ha}^{-1}$. Sin embargo, hay que considerar que en el forraje disponible del *B. decumbens*, un 60% correspondió a las hojas mientras que en el pasto Toledo la proporción de hojas fue del 78%. La biomasa residual total fue superior en el pasto Toledo porque con $3284 \text{ kgMS ha}^{-1}$ (el 82% esta integrado por tallos), superó ampliamente al *B. decumbens* cuya acumulación de biomasa residual fue de $1944 \text{ kgMS ha}^{-1}$, donde el 77% correspondió a tallos (Figura 4).



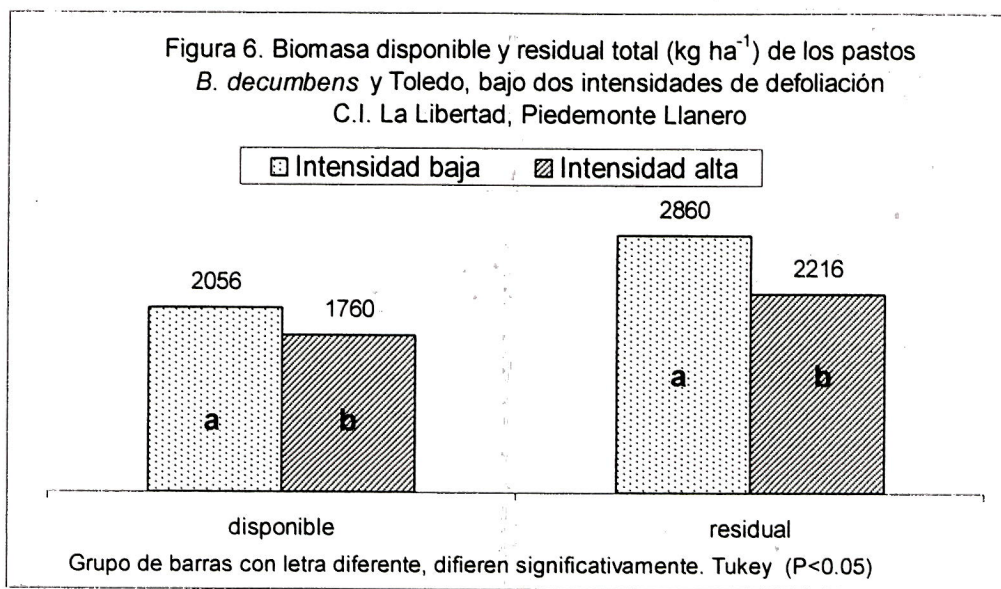
El forraje total disponible de los pastos (Figura 5), se incrementó en la medida que la frecuencia de defoliación o corte, fue mayor. El forraje total disponible a una frecuencia de defoliación de 14 días fue de 892 kgMS ha⁻¹, en tanto a los 28 días fue de 1896 kgMS ha⁻¹ y 2760 kgMS ha⁻¹ a los 42 días. El incremento de biomasa de los pastos tropicales a mayor edad también fue comprobado por Fernández *et al.*, (1991) quienes evaluaron el efecto de la frecuencia de corte a 24 días, 42 días y 56 días sobre el rendimiento del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) el rendimiento aumentó a mayor frecuencia de corte, resultando valores promedio de 734, 1405 y 2168 KgMS ha⁻¹.

En condiciones de pastoreo en el Piedemonte llanero, se ha encontrado que la disponibilidad de forraje depende del estado productivo de las praderas lo cual está relacionado con su manejo (Rincón, 1999). En praderas recientemente establecidas y bien manejadas con periodos de descanso de 30 días, la disponibilidad de forraje promedio ha estado entre 1500 y 1800 kgMS ha⁻¹ (Lascano *et al.*, 2002, Rincón *et al.*, 2002, Pardo *et al.*, 1999), sin embargo en praderas bien manejadas con varios periodos de pastoreo, la disponibilidad de forraje se estabiliza en un promedio de 1300 kgMS ha⁻¹. En este experimento se obtuvo un promedio de 1896 kgMS ha⁻¹ a los 28 días, época recomendada como periodo de descanso de las praderas, presentándose alta correspondencia con los rendimientos de praderas jóvenes, bien manejadas en la región.

No se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la cantidad del forraje residual total, por efecto de las frecuencias de defoliación, obteniéndose un promedio de 2500 kgMS ha⁻¹. Como se puede apreciar, el forraje residual total fue mayor con respecto al forraje disponible. Este forraje residual de importancia para la producción de nuevos tejidos vegetales, presentó la misma proporción del forraje disponible cuando la frecuencia de defoliación fue a los 42 días.



La intensidad baja de defoliación o la mayor altura de corte, favoreció la producción de forraje disponible y residual de los pastos evaluados. Se presentó una disponibilidad de 2056 kgMS ha⁻¹ en la intensidad baja y 1760 kgMS ha⁻¹ en la intensidad alta. El forraje residual compuesto en su mayoría por tallos fue de 2860 kgMS ha⁻¹ en la intensidad baja y de 2216 kgMS ha⁻¹ en la intensidad alta de defoliación. (Figura 6).



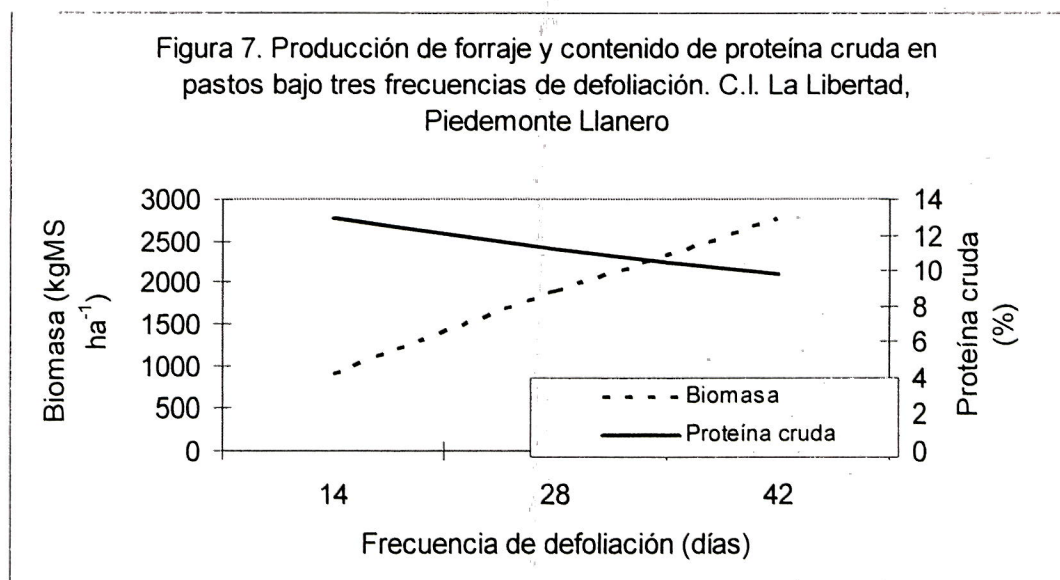
Cuando el corte o pastoreo se efectúa a bajas alturas, el crecimiento vegetativo se afecta severamente en la primera fase o etapa de crecimiento, debido a que la planta no dispone de un área foliar remanente capaz de efectuar una fotosíntesis activa que le permita una adecuada conversión de energía lumínica en biomasa, dependiendo el crecimiento en esta etapa de las reservas orgánicas de la planta. La morfología y el hábito de crecimiento de las especies tienen una gran influencia en la interrelación entre la defoliación, el IAF residual y la capacidad de intercepción de la luz, con respuestas diferentes en cada especie de acuerdo con el manejo impuesto (Palhano *et al.*, 2005; Alexandrino *et al.*, 2005).

Calidad nutritiva de los pastos

En el contenido de proteína cruda de los pastos *B. decumbens* y Toledo, fue de 12,2% y 10,5% respectivamente, sin llegar a ser diferentes significativamente ($p>0.05$). En los otros indicadores de calidad, si se presentaron diferencias significativas, encontrándose una mayor cantidad de Fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA) en el pasto Toledo con 58,4% y 31,1% respectivamente, frente a 53,4 % y 25,8 % obtenidos en el *B. decumbens*. La degradabilidad del forraje fue mas alta en el *B. decumbens* al obtener un 74,2% valor superior significativamente al encontrado en el Toledo que fue de 68,2%, sin embargo, este valor se considera bueno si se tiene en cuenta otros resultados en rangos de 60% a 67% de degradabilidad, a edades entre 25 y 45 días en Costa Rica, Centro América (Argel, *et al.*, 2000).

El contenido de proteína fue afectado por las frecuencias de defoliación porque a los 14 días, cuando el pasto estaba más tierno, se presentó el mayor contenido de proteína con 12,9%, seguido por la defoliación a los 28 días con 11,2% y luego a los 42 días con 9,8%. Los pastos tropicales en estado joven se caracterizan por mejor calidad en términos de proteína cruda, sin embargo el contenido de agua es mayor y la disponibilidad de biomasa a esta edad es baja, lo cual fue corroborado en este trabajo porque el forraje disponible solo llegó a 714 kgMS ha⁻¹ a los 14 días. El aprovechamiento del forraje disponible mediante pastoreo a edades tempranas, solo puede hacerse con una carga animal baja y con periodos de ocupación más corto, de lo contrario, los animales pueden llegar a hacer sobrepastoreo y consumir el forraje residual que necesariamente debe quedar en la pradera, para asegurar nuevos rebrotes y persistencia de los pastos.

A la edad de 42 días en condiciones del Piedemonte Llanero, el contenido de proteína generalmente ha estado en un rango de 7 a 8.5% de proteína (Argel *et al.*, 2000, Rincón *et al.*, 2002, Pardo *et al.*, 1999, Fernández *et al.*, 1991) sin embargo, los pastos evaluados en este experimento fue de 9.8% a lo cual contribuyó la fertilización realizada con nitrógeno en el establecimiento de los pastos. En la Figura 7 se puede apreciar la relación inversa que existe entre producción de biomasa y contenido de proteína cruda de los pastos evaluados. Pastos cosechados a temprana edad contienen buena proteína pero la disponibilidad de biomasa es baja, en tanto, pastos cosechados muy maduros producen bastante forraje pero de menor calidad, por lo tanto, es importante buscar un adecuado balance entre el rendimiento de forraje y la calidad nutritiva, que permitan una buena respuesta en la producción animal.



La frecuencia de defoliación de los pastos no afectó el contenido de FDN, FDA y la degradabilidad, porque las diferencias no fueron significativas ($p > 0.05$) a los 14, 28 y 42 días, cuando se realizó el corte o defoliación, obteniéndose promedios de 55,8% de FDN, 28,4% de FDA y 71,1% de degradabilidad. De igual forma, las intensidades de defoliación no afectaron la calidad de los pastos porque las diferencias encontradas en las dos intensidades no fueron significativas ($p > 0.05$). El promedio de proteína, FDN, FDA y degradabilidad fueron de 11,3%, 55,4%, 28,4 y 71,2% respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Calidad nutritiva (%) de los pastos Toledo y *B. decumbens*, bajo tres frecuencias y dos intensidades de defoliación. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Pasto	Proteína cruda	FDN	FDA	Degradabilidad
<i>B. decumbens</i>	12,2 a	53,4 b	25,8 b	74,2 a
Toledo	10,5 a	58,4 a	31,1 a	68,2 b
Frecuencia				
14 días	12,9 a	56,4 a	27,5 a	71,2 a
28 días	11,2 b	55,4 a	28,0 a	72,7 a
42 días	9,8 c	55,8 a	29,8 a	69,6 a
Intensidad				
Baja	10,9 a	55,6 a	28,4 a	70,8 a
Alta	11,7 a	55,3 a	28,5 a	71,6 a
CV (%)	9	4,9	6,5	2,5

Valores con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

Nutrientes de reserva

Los nutrientes de reserva fueron evaluados en el tallo, corona y raíz de las plantas de pasto Toledo y *B. decumbens*, a las frecuencias de defoliación de 14, 28 y 42 días. Estos nutrientes de reserva también se evaluaron en las dos intensidades o alturas de defoliación (Tabla 5). En general, se observó que el *B. decumbens* sobresalió sobre el pasto Toledo por el mayor contenido de proteína cruda ($P < 0.05$) con 4,2%, de la cual el 47% fue considerada como proteína soluble, mientras que el contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) y el almidón no difirieron en forma significativa en los dos pastos. El sitio de mayor acumulación de proteína cruda fue la corona de los pastos, y los CNE se almacenaron en las coronas y en las raíces, en tanto, el almidón se acumuló en mayor proporción en el tallo, con 31,3%.

Tabla 5. Nutrientes de reserva (%) de los pastos *B. decumbens* y Toledo localizados en los tallos, corona y raíz de la planta, bajo tres frecuencias y dos intensidades de defoliación C.I. La Libertad, Piedemonte llanero.

Pasto	Proteína cruda	Proteína soluble	CNE	Almidón
<i>B. decumbens</i>	4,20 a	48,43 a	1,12 a	28,09 a
Toledo	3,35 b	45,93 a	0,97 a	29,41 a
Sitio				
Tallo	3,37 b	48,65 ab	0,92 b	31,36 a
Corona	4,62 a	51,80 a	1,17 a	28,33 b
Raíz	3,29 b	41,12 b	1,05 ab	26,53 c
Frecuencia				
14 días	3,70 a	50,28 a	1,43 a	27,52 b
28 días	3,65 a	44,18 a	0,94 b	31,38 a
42 días	3,92 a	47,32 a	0,78 b	27,45 b
Intensidad				
Baja	3,74 a	47,80 a	1,15 a	28,43 a
Alta	3,77 a	46,60 a	0,94 b	29,10 a
CV (%)	28,6	33,1	37,2	12,8

Valores con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

El contenido de proteína cruda y proteína soluble no fue afectado por las frecuencias de defoliación lo que demuestra que no disminuyó con el aumento de la edad de los pastos, sin embargo, los CNE si disminuyeron porque de 1,44% a los 14 días, pasó a 0,78% a los 42 días. El contenido de almidón fue mayor significativamente ($P < 0.05$) cuando la defoliación se realizó a los 28 días. La altura de corte o defoliación de los pastos, no afectó el contenido de proteína cruda ni al contenido de almidón, sin embargo, a una intensidad baja o a mayor altura de corte se presentó mayor contenido de CNE. Los pastos *B. decumbens* y pasto Toledo, presentaron la mayor reserva de nutrientes en forma de almidón con un promedio de 28,7% seguido por la proteína cruda con 3,8% y en menor proporción se presentaron los CNE con un promedio de 1%.

Conclusiones

Para mejorar la disponibilidad de biomasa de los pastos *B. decumbens* y pasto Toledo, la altura de corte o de pastoreo debe realizarse a los 25 y 35 cm respectivamente, y la edad adecuada o frecuencia de defoliación debe hacerse a los 28 días para si tener adecuada producción de forraje de buena calidad. El forraje residual que viene a ser un 55% del forraje total producido por la planta, asegura buen rebrote de los pastos por el área foliar remanente que permitirá reiniciar la fotosíntesis y por la reserva de almidón que se acumula en mayor proporción en los tallos de este forraje residual

Agradecimientos

Se presenta especial agradecimiento a COLCIENCIAS por la financiación del trabajo de investigación en el marco del proyecto "Potencial productivo y aspectos fisiológicos de los pastos tropicales bajo condiciones de manejo intensivo, como alternativa para recuperar praderas en suelos ácidos del Piedemonte Llanero.

Bibliografía

- Adjei M.B., Mislevy P., Kalmbacher R.S., Busey P. 1989. Production, quality, and persistence of tropical grasses as influenced by grazing frequency. Proc. Soil Crop Sci. 48:1-6.
- Alexandrino, E., Miranda, C.A., Duarte, M.J., Comide, J.A. 2005. Rest period, canopy structural traits and steer body weight gain on intermittently grazed mombaça grass pasture. R. Bras. Zootec. 34 (6):276-284
- Argel, P., Hidalgo, C. y Lobo Di Palma, M. 2000. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) Gramínea de crecimiento vigoroso con amplio rango de adaptación a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo. Consorcio tropileche, Costa Rica. Boletín técnico, San José de Costa Rica. 15p.
- Baret, F. and Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Environment, 35, p. 161-173.
- Beltrán, S.I., Hernández, A.G., García, E.M., Pérez, P.J., Kohashi, J.S., Herrera, J.G., Quero A.R. y Gonzáles, S.S. 2005. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del Pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un invernadero. Agrociencia 39:137-147.
- Clavero, T. 1993. Effects of defoliation on non-structural carbohydrates levels in tropical pastures. Rev. Fac. Agron. (Luz) 10:126-132.
- Bircham, J.S. and Hodgson, J. 1983. The influence of swards condition on rates of herbage growth and senescence in mixed sward under continuous stocking management. Grass and Forage Sci. 38(4): 323-331
- Chaparro, C.J. 1991. Productivity, persistence, nutritive value, and photosynthesis responses of Mott elephantgrass to defoliation management. University of Florida. 322p
- Cuesta, P. A., Barahona, R.R., Báez, F.D., Ojeda, H., Mila, A.P. y León, M.I. 2003. Renovación y manejo de praderas y utilización de ensilajes en el Trópico alto. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Fondo Nacional del Ganado FEDEGAN, Universidad de Nariño, Sociedad de Agricultores y Ganaderos de Nariño. Bogotá. 56p.
- Deregibus, V.A., Trlica, M.J. and Jameson, V.K. 1982. Handbook of agricultural productivity. Vol.1 CRC Press, Inc. P.315-344.
- Da Siva, S.C. 1998. Bases para o estabelecimento do manejo de *Cynodon* sp para pastejo e conservacao. In: Simposio sobre manejo de pastagens. Ed. A.M. Peixoto. Piracicaba, Br. p.129-150.
- Entrena, I., Chacón, E. y Gonzáles, V. 1998. Influencia de la carga animal y la fertilización con azufre sobre las tasas de crecimiento, biomasa y producción aérea neta de una asociación de *Brachiaria mutica* - *Teramnus uncinatus* Zoot. Trop. 16(2):183-206

- Fernández, R.J., Chávez, M.I., Virgüez, D.R. y de Hernández, M.G. Efecto de la frecuencia de corte sobre el rendimiento y valor nutritivo del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en la unidad agroecológica 3e 144 del Valle de Aroa. *Zoot.Trop.* 9(2): 165-179.
- Fulkerson, W.J. and Snack, K. 1994. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*. *Grass and Forage Sci.* 49:373-377.
- Gomide, J.A. 1988. Fisiologia das plantas forrageiras e manejo das pastagens. *Inf. Agropec.* 88(154): 11-18
- Gomide J.A. Zago, C.P. 1980. Crecimento e recuperacao do capim coloniao apos corte. *Rev. Soc. Bras. Zoot.* 9(2): 293-305
- Grasselli, L.C.P. 2000. Caracteristica morfogenica e estruturais de *Brachiaria decumbens* sob lotacao continua. In: reuniao anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. *Annais Biosa, Brasil.* p.321-323
- Harris, W. 1978. Defoliation as a determinant of the growth, persistence and composition of pasture. In: *Plant relations in pastures*, ed. J.R. Wilson. CSIRO, Melbourne, Australia. p.67-84
- Holmes, W. 1982. Grazing management. In: *Grass its production and utilization*. Ed. W. Holmes. British Grassland Society. Great Britain. p.125-174
- Keller-Grein, G., Maass, B.L. y Hanson, J. 1998. Variación natural en *Brachiaria* y bancos de germoplasma existentes. En: *Brachiaria: biología, agronomía y mejoramiento*. Ed. J.W. Miles, B.L. Maass y C.B. do Valle. CIAT, CNPQC/EMBRAPA. Cali, Colombia; Campo Grande Brasil. p. 18 – 39.
- Lascano, C., Pérez, R., Plazas, C., Medrano, J., Pérez, O y Argel, P.J. 2002. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería Colombiana. CIAT, CORPOICA, MINAGRICULTURA. Villavicencio, Colombia. 18p.
- Lemaire, G. 2001 *Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant population in grazed swards* XIX international grassland congress, Sao Pablo Brazil. p. 29-37
- López, Y. 1988. Bases fisiológicas para la producción y utilización de pastos tropicales. XII programa para el desarrollo de la capacidad Científica en investigación para la producción y utilización de pastos tropicales. Centro Internacional de agricultura Tropical, CIAT. Cali, Valle. 15p.
- Lucas, J.M. 2003. Intervalo entre cortes em capim Marandu (*Brachiaria brizantha* cv marandu): Producto, valor nutritivo e perdas asociadas a fermentacao da silagem. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 138p.
- Macon, B., Sollenberger, L.E. and Moore, J.E. 2002. Defoliation Effects on Persistence and Productivity of Four *Pennisetum* spp. Genotypes. *Agron. J.* 94:541-548
- Palhano, A.I., de Faccio P.C., Dittrich, J.R., de Moraes, A., Barreto, M.Z., Ferreira, M.C. 2005. Sward structure and defoliation patterns in mombaçagrass according to different canopy heights. *R. Bras. Zootec.* 34 (6): 425-433

- Pardo, O., Rincón, A. y Hess, D. 1999. Alternativas forrajeras para los Llanos Orientales de Colombia. Boletín técnico No. 18 CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Meta.55p.
- Pedreira, C.G., Lynn, E., Sollenberger, L.E. and Mislevy, P. 2000. Botanical Composition, Light Interception, and Carbohydrate Reserve Status of Grazed 'Florakirk' Bermudagrass. Agron. J. 92:194-199.
- Peternelli, M. 2003. Características morfogênicas e estruturais do capim Braquiariao (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob intensidades de pastejo. Universidade de Sao paulo, Pirassununga, Sao Paulo, Brasil. 93p.
- Rodríguez, J.J. y Aviles, L.R. 1997. Pastoreo intensivo y tradicional: su influencia sobre el sistema suelo-planta-animal en el sureste de México. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5(suplm. 1): 72-75
- Rincón, A., Cuesta, P.A., Pérez, R.A., Bueno, G., Pardo, O. y Gómez J.E. 2002. Producción y utilización de los recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de la Orinoquia y el Piedemonte Caquetense. Manual técnico. Plan de Modernización Tecnológica de la Ganadería Bovina Colombiana - CORPOICA. 76p.
- Rincón, A. 1999. Degradación y recuperación de praderas en los Llanos orientales de Colombia. Boletín técnico No. 19. CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Meta. 48p.
- Santos, P.M. 1997. Estudo de algumas características agrônomicas de *Panicum maximum* Jacq. Cvs Tanzania y Mombasa, para estabelecer seu manejo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, Brasil. 62p.
- Smith, D. 1974. Growth and development of timothy tillers as influenced by level of carbohydrate reserves and leaf area. Ann. Bot. 38:595-606.
- Trott, H., Wachendorf, M., Ingwersen, B. and Taube, F. 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. I. Impact of defoliation system and nitrogen input on performance and N balance of grassland. 59:41-50
- Thomas, H. 1980. Terminology and definitions in studies of grassland plants. Grass Forage Sci. 35:13-23.
- Turner, C.L. y Seastedt, T.R. 1993. Maximization of above ground grassland production the role of defoliation frequency intensity and history. Ecological Applications. 3(1) 175 - 186.
- Vecchiatti, A. 2002. Reservas orgánicas, índice de área foliar e producto de forragem em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a intensidades de pastejo por bovinos de corte. Tesis de doctorado, Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, Brasil. 160p.
- White L.M. 1973 Carbohydrate reserves of grasses: A review. J. Range Manage.26:13-18