



INFORME FINAL

PROYECTO: POTENCIAL PRODUCTIVO Y ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LOS PASTOS TROPICALES BAJO CONDICIONES DE MANEJO INTENSIVO, COMO ALTERNATIVA PARA RECUPERAR PRADERAS EN SUELOS ÁCIDOS DEL PIEDEMONTES LLANERO.

ALVARO RINCON CASTILLO

Villavicencio, Septiembre 21 de 2006

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 CONDICIONES DE CLIMA Y SUELO	6
2.2 LOS PASTOS	7
2.3 DINÁMICA DEL NITRÓGENO	9
2.4 LAS LEGUMINOSAS FORRAJERAS	12
2.5 FISIOLOGÍA DE PASTOS	13
2.6 CALIDAD NUTRITIVA DE LOS FORRAJES	15
2.7 RESERVAS ORGÁNICAS DE LOS PASTOS	16
2.8 DEGRADACIÓN DE PRADERAS	17
2.9 INTEGRACIÓN DE LA AGRICULTURA Y LA GANADERÍA	19
EXPERIMENTO 1: RENOVACIÓN DE PRADERAS	23
DEGRADADAS DE <i>Brachiaria decumbens</i> Y SU RESPUESTA PRODUCTIVA CON ANIMALES	
1. MATERIALES Y MÉTODOS	23
1.1 LOCALIZACIÓN	
1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	24
1.3 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO	25
1.4 EVALUACIONES	27
1.4.1 EVALUACIONES PREVIAS AL INICIO DEL EXPERIMENTO	28
1.4.2 EVALUACIONES DURANTE LA FASE DE ESTABLECIMIENTO DE LAS ESPECIES	28
1.4.3 EVALUACIÓN PRODUCTIVA DE LAS PRADERAS CON BOVINOS	29
1.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
2.1 COMPORTAMIENTO DEL CLIMA	32
2.1.1 PRECIPITACIÓN	32
2.1.2 TEMPERATURA	33
2.1.3 BRILLO SOLAR	35
2.1.4 RADIACIÓN	37
2.2 CONDICIONES ANTES DE LA LABRANZA	38
2.2.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO ANTES DE INICIAR LABRANZA	38
2.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO ANTES DE INICIAR LABRANZA	40
2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PRADERA ANTES DE INICIAR LABRANZA	41
2.3 ESTABLECIMIENTO DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ-PASTOS	42
2.4 CONTENIDO DE NITRATOS Y AMONIO EN EL SUELO	43
2.5 NITRÓGENO TOTAL EN HOJAS DE MAÍZ Y PASTO	48
2.6 CONTENIDO DE CLOROFILA EN LAS HOJAS	49
2.7 DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA SECA EN LA PLANTA DE	53

MAÍZ	
2.8 PRODUCCIÓN DE GRANO DE MAÍZ	55
2.9 PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE PASTO	57
2.10 DISTRIBUCIÓN DE RAÍCES	60
2.11 DETERMINACIÓN DE ÍNDICES FISIOLÓGICOS EN LA ASOCIACIÓN MAÍZ – PASTOS	62
2.11.1 MATERIALES Y MÉTODOS	62
2.11.2 RESULTADOS	63
2.12 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS DESPUÉS DE LA COSECHA DEL MAÍZ	68
2.13 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS DESPUÉS DE LA COSECHA DEL MAÍZ	73
2.14 CONTENIDO DE MINERALES EN PRODUCTOS VEGETALES	79
2.15 DISPONIBILIDAD DE FORRAJE Y PRODUCCIÓN ANIMAL EN LAS PRADERAS ESTABLECIDAS CON LA ASOCIACIÓN MAÍZ-PASTOS	84
2.15.1 DISPONIBILIDAD DE FORRAJE PARA INICIAR EL PASTOREO	84
2.15.2 DISPONIBILIDAD DE FORRAJE DURANTE LAS ÉPOCAS LLUVIOSA Y SECA	86
2.15.3 COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LAS PRADERAS	88
2.15.4 CAPACIDAD DE REBROTE DE LOS PASTOS	90
2.15.5 NITRÓGENO EN EL SUELO DURANTE LA FASE DE PASTOREO	93
2.15.6 CALIDAD NUTRITIVA DEL FORRAJE	95
2.15.7 PRODUCTIVIDAD ANIMAL	97
2.15.8 CRECIMIENTO DE LOS BOVINOS	100
EXPERIMENTO 2: EVALUACIÓN DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ - PASTOS Y EL EFECTO DE LA COMPETENCIA INTERESPECÍFICA SOBRE LA PRODUCCIÓN, EN CONDICIONES DEL PIEDEMONTE LLANERO.	101
1. MATERIALES Y MÉTODOS	101
2. RESULTADOS	101
2.1 ÍNDICES FISIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE MAÍZ ESTABLECIDA EN MONOCULTIVO Y ASOCIADA CON PASTOS	102
2.2 ÍNDICES FISIOLÓGICOS EN LOS PASTOS ESTABLECIDOS EN MONOCULTIVO Y ASOCIADOS CON MAÍZ	105
2.3 PRODUCCIÓN DE GRANO DE MAÍZ ESTABLECIDO EN MONOCULTIVO Y ASOCIADO CON PASTOS	108
EXPERIMENTO TRES: RESPUESTA DE LAS ESPECIES FORRAJERAS A DIFERENTES FRECUENCIAS E INTENSIDADES DE DEFOLIACIÓN EN EL PIEDEMONTE LLANERO	110

1.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	111
1.2 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO	111
1.3 EVALUACIONES	112
1.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	112
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	112
2.1 FORRAJE DISPONIBLE Y FORRAJE RESIDUAL	112
2.2 CALIDAD NUTRITIVA DE LOS PASTOS	119
BIBLIOGRAFIA	121

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.

1. INTRODUCCIÓN

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 República 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 aumenta con el paso del tiempo.

Este problema 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, 2001).

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 oxisoles 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 periodos 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, bajas saturaciones 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)

En el Piedemonte llanero, los suelos de baja fertilidad se localizan en las terrazas medias y altas, sin embargo existen suelos de mejor fertilidad como los de las vegas y vegones donde se realizan la mayoría de los cultivos semestrales como arroz, maíz, soya y algodón (Sánchez y González, 1989, Sánchez y Owen, 1994).

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. (Robbins *et al.*, 1986)

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 Gualdron, 1985; CIAT, 1990). La estructura blocosa, prismática o columnar evoluciona a estructura laminar, presentándose una disminución de la infiltración de agua en el perfil del suelo y aumento de la escorrentía que incrementa la erosión de los suelos (Martínez J. 1993).

La baja calidad nutritiva de los forrajes reduce la producción de carne y leche; 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 bovinos. 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 (Smith *et al.* 1997). 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.

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.

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 (800.000 aproximadamente) 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.

El proyecto se desarrollo durante dos años, cuyas actividades se enmarcaron en tres experimentos:

Experimento uno: Renovación de praderas degradadas de *Brachiaria decumbens* y su respuesta productiva con animales.

Experimento dos: Evaluación de la asociación maíz - pastos y el efecto de la competencia interespecifica sobre la producción, en condiciones del Piedemonte llanero

Experimento tres: Respuesta de las especies forrajeras a diferentes frecuencias e intensidades de defoliación en el Piedemonte llanero

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CONDICIONES DE CLIMA Y SUELO

El clima de la Orinoquía está influenciado por los vientos alisios y la zona de confluencia intertropical, que determinan un clima estacional monomodal. Las lluvias comienzan en abril y terminan en noviembre, siendo mayo, junio y julio los meses de más alta precipitación; con un promedio de 2900 mm anuales en Piedemonte y 2400 mm en Altillanura y Llano inundable. Normalmente en el mes de agosto se presenta un "veranillo" y en los dos meses siguientes, las lluvias tienen un ligero aumento. (Sánchez y González, 1989). En la época seca que abarca los meses de diciembre hasta marzo, se presenta un alto déficit de agua, con una precipitación de 8% del total anual de lluvias, afectando la disponibilidad de forraje con reducciones en un 50% del promedio obtenido en época de lluvia.

La temperatura fluctúa entre 25 y 28 °C, los meses de mayor humedad relativa son los lluviosos con 80 a 84% y en la época seca se registra la menor humedad relativa especialmente en el mes de enero con 66%. En el Piedemonte el brillo solar tiene un promedio diario de 4.93 horas y la velocidad del viento es de 54.89 km. La radiación solar expresada en número de calorías incidente sobre cada centímetro cuadrado del terreno, es más baja en el Piedemonte llanero (311.2) que en otras Regiones del país como los Valles del Sinú, Cesar y Cauca que es de 406.7, 462.2 y 439.5 calorías cm² día⁻¹ respectivamente; lo cual nos indica que en el Piedemonte se recibe 50% menos de radiación solar con respecto a los Valles mencionados. Esto implica que las tasas de fotosíntesis, proporcionales a la intensidad de radiación, sean de 19.68 Kg de CH₂O m² año⁻¹, muy inferior a la de los Valles que está entre 26 y 29.5 (HIMAT, 1995). La radiación

solar en el Piedemonte, es más alta en el segundo semestre ($338 \text{ calorías cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$), mientras que en el primer semestre es de $284 \text{ calorías cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$. En los valles la radiación solar es similar en los dos semestres.

Los países o regiones comprendidas entre la línea ecuatorial y los 30° N y 30° S constituyen el ambiente tropical y el maíz cultivado en esa zona se conoce como maíz tropical. Las regiones que están entre los 30° y 34° Norte y Sur son clasificadas como ambientes subtropicales. El ambiente tropical se divide en tres categorías basadas en la altitud: 1) tierras tropicales bajas, entre el nivel del mar y los 1 000 msnm, 2) tierras tropicales medias, entre 1 000 y 1 600 msnm, y 3) tierras tropicales altas, a mas de 1 600 msnm. La mayor parte del germoplasma subtropical es cultivado en ambientes de altitud media y de ese modo ligado al ambiente subtropical. En consecuencia, los genotipos de maíz se clasifican en: a) tropicales de tierras bajas; b) sub-tropicales de tierras bajas y de media altitud, y c) tropicales de tierras altas. Se estima que se cultivan 38 millones de hectáreas en los ambientes tropicales de tierras bajas, 17 millones de hectáreas en los ambientes subtropicales y de media altitud y 6,5 millones de hectáreas en tierras tropicales altas. (Paliwal, 2001)

La fotosíntesis disminuye a temperaturas de la hoja mayores de 40°C aparentemente por daño en las membranas, también puede tener un efecto sobre la producción de hormonas especialmente el ácido abscísico y citoquinina en las raíces y a su vez restringir el desarrollo de cloroplastos y reducir la actividad fotosintética (Paulsen, 1994)

Los suelos de los Llanos orientales de Colombia 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). Estos suelos presentan un alto grado de evolución, que se manifiesta en el predominio de cuarzo en la fracción arena y de caolinita y óxidos de hierro en la fracción arcilla; bajo contenido de bases intercambiables (Ca, Mg, K) y azufre, pH ácido, altos niveles de aluminio en el complejo de intercambio, al problema de bajo contenido de fósforo 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 Piedemonte. (Botero y López, 1982).

2.2 LOS PASTOS

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 $60 \text{ kg ha}^{-2} \text{ año}^{-1}$, se introdujo gran cantidad de germoplasma forrajero (CIAT 1986, 1987, 1988) en su mayoría proveniente de África. En el 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 $350 \text{ kg ha}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Pérez y Lascano 1992, Rincón 1999). Las praderas introducidas a los Llanos constituidas principalmente por la gramínea *B. decumbens*, han contribuido en el desarrollo de una ganadería más productiva en los últimos 30 años.

Gracias a los avances logrados en la generación de tecnología, se dispone de materiales forrajeros adaptados al Piedemonte llanero y a la Altillanura colombiana como *B*

decumbens, *B. humidicola*, *B. dictyoneura* y *B. brizantha*. Las leguminosas más usadas en el Piedemonte son el Kudzú (*Pueraria phaseoloides*) y el maní forrajero (*Arachis pintoi*), en tanto en la Altillanura, la de mejor comportamiento ha sido el Capica (*Stylosanthes capitata*). La producción de materia seca de *B. decumbens*, depende de la precipitación y de la fertilidad del suelo. Los mejores rendimientos se han obtenido en suelos francos a arcillosos y con precipitación bien distribuida; y decrecen en zonas con baja lluviosidad y en suelos arenosos como los del extremo oriental de la Altillanura. En el Piedemonte del Meta la producción de forraje seco fluctúa entre 6.6 y 9.8 ton ha⁻² año⁻¹ (Pardo et al., 1999).

Las praderas bien manejadas de gramíneas y leguminosas por su biodiversidad, abundante desarrollo radicular y alta producción de biomasa de buena calidad no solo aumentan la productividad ganadera sino que se constituyen en buena alternativa para mejorar suelos degradados procedentes de cultivos o praderas. Las leguminosas forrajeras son plantas con buenas características en producción de forraje y mejoramiento del recurso suelo (Heichel, 1978).

2.2.1 EL PASTO MULATO

El pasto Mulato es el primer híbrido comercial de *Brachiaria* en el mundo, producto de trabajos iniciados hace 15 años, en el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Este pasto se originó a partir de cruces entre especies de *Brachiaria* con el propósito de obtener pastos resistentes o tolerantes al mión de los pastos (*Aeneolamia* sp), plaga más importante de las praderas en La Orinoquia colombiana. El cruce se realizó entre el único *Brachiaria* sexual diploide, susceptible al mión de los pastos (*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 mión de los pastos. (Miles y do Valle, 1998)

Como resultado de estos cruces se obtuvo el Híbrido Mulato liberado a los productores en países como México y Colombia. Es una gramínea forrajera perenne, vigorosa, con buen número de macollas, con alta producción de forraje (25 a 30 tMS ha⁻² año⁻¹) y abundante cantidad de hojas; de vigoroso rebrote al corte o pastoreo y excelente palatabilidad (CIAT, 2003).

Este pasto se caracteriza por ser de mejor calidad nutritiva y de alto potencial de producción, por lo tanto es más exigente en suelos de mejor fertilidad, motivo por el cual se ha considerado como una buena alternativa forrajera en los sistemas agropastoriles.

2.2.2 EL PASTO TOLEDO

El pasto Toledo es una variedad forrajera de *Brachiaria brizantha* la cual fue recolectada en Burundi África en 1985, introducida a Colombia en la década de los 80 y liberada a los productores en Colombia en el año 2002. Es una planta que crece formando macollas y alcanza 1.60 m. de altura. Tiene un amplio rango de adaptación a climas y suelos. Crece bien en condiciones de trópico, entre 1600 y 3.500 mm anuales de precipitación. Aunque se desarrolla bien en suelos ácidos de regular fertilidad, su mejor desempeño se ha observado en suelos de buena fertilidad donde se han obtenido 30 tMS ha⁻² año⁻¹. Estos rendimientos de forraje del pasto Toledo permiten utilizar cargas superiores a 2.5

animales por hectárea con un periodo de descanso entre 21 y 28 días (Argel *et al.*, 2000). En el Piedemonte llanero el pasto Toledo asociado con maní forrajero (*Arachis pintoï*) se han obtenido ganancias de peso animal de 600 kg ha⁻² año⁻¹ (CORPOICA, 2002, Lascano *et al.*, 2002)

2.2.3 EL *Brachiaria decumbens*

El pasto *Brachiaria decumbens*, se le conoce con los nombres Braquiaria común, pasto amargo y pasto peludo. Es una gramínea perenne, estolonífera, de crecimiento semierecto a postrado, que enraíza en los nudos. Crece bien a alturas entre 0 y 1.800 msnm, con precipitaciones entre 1.500 y 4.500 mm al año, en suelos arenosos a arcillosos bien drenados, ácidos y de baja fertilidad; tolera sequías prolongadas, y la quema. Es una gramínea susceptible al ataque de la plaga "mión de los pastos" (*Aeneolamia sp.* *Zulia sp.*). La producción de materia seca de esta gramínea, depende de la precipitación y de la fertilidad del suelo. Los mejores rendimientos se obtienen en suelos francos a arcillosos y con precipitación bien distribuida; y decrecen en zonas con baja lluviosidad y en suelos arenosos como los del extremo oriental de la Altillanura. En el Piedemonte del Meta la producción de forraje seco fluctúa entre 6.6 y 9.8 t ha⁻¹ año⁻¹; en tanto, en bancos de sabana de la Llanura aluvial de desborde entre 9.0 y 12.0 t ha⁻¹ año⁻¹. En el Piedemonte de Casanare, entre 4.6 y 8.7 t ha⁻¹ año⁻¹ y en Puerto Carreño entre 1.7 y 2.4 t ha⁻¹ año⁻¹ (ICA, 1994). *B. decumbens* es la especie con mayor distribución en América tropical. En la Orinoquia Colombiana se han sembrado aproximadamente 1.500.000 hectáreas de pastos introducidos, de los cuales un millón están en el Piedemonte llanero.

2.3 DINÁMICA DEL NITRÓGENO

El nitrógeno (N) es necesario en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas, hormonas, clorofila y varios 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 se encuentra en la atmósfera y solo una pequeña fracción de este nutriente está disponible para ser absorbido por las plantas y animales. 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 forrajeras a la fertilización con N es bastante variada, el conocimiento de aspectos metabólicos y fisiológicos de las plantas puede contribuir a un mejor entendimiento del papel del N como regulador del crecimiento y consecuentemente de su efecto sobre la producción y calidad del forraje. (Menezes, 2004)

Los elevados requerimientos de N que tiene el cultivo de maíz y el impacto que dicho nutriente sobre el rendimiento, hace necesario un adecuado diagnóstico de su disponibilidad en el suelo. La decisión de la cantidad y momento de aplicación del fertilizante nitrogenado, debe buscar la mayor eficiencia (kg de grano producido por unidad de nutriente aplicado) y mayor beneficio económico, principalmente en momentos como los actuales, que exigen mayor eficiencia, en especial en tecnologías de bajo costo (Salvagiotti *et al.*, 2000). En el cultivo de maíz, a pesar de las bajas exigencias nutricionales en los estados iniciales, altas concentraciones de N en la zona radicular son beneficiosas para un mejor desarrollo de la planta (Mengel and Barber, 1974; Varvel *et*

al., 1997). La productividad del maíz está asociada con la actividad metabólica del N ejerciendo un papel directo en la acumulación de materia seca de los granos (Büll, 1993).

El N se encuentra en los suelos principalmente en forma nítrica (NO_3) y en forma amoniacal (NH_4). 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 and Gass, 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). La nitrato reductasa es la enzima que participa en la asimilación de estos compuestos nitrogenados. Andrade *et al.*, 2001, trabajando con niveles de NO_3 y NH_4 en *Panicum maximum* encontraron que la mayor actividad de la nitrato reductasa en las hojas de este pasto ocurría cuando se combinó en proporción de 50/50 las dos formas de N, sugiriendo un efecto estimulador del NH_4 en la actividad de la nitrato reductasa en la presencia de NO_3 .

Se ha indicado que existen diferencias significativas en la forma en que las plantas forrajeras absorben y utilizan el N. También se ha reportado la existencia de plantas forrajeras que inhiben la nitrificación en el suelo, lo cual fue comprobado por Salinas, (1989) quien 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*.

En los últimos años se ha registrado una notable difusión de la fertilización nitrogenada del maíz, acompañado por la creciente información sobre sus ventajas económicas y ambientales, desde el punto de vista de la reposición de los nutrientes extraídos por las cosechas. Un uso eficiente del nutriente requiere la correcta detección previa de su deficiencia en el suelo, o del potencial de respuesta económica a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, para lo cual es preciso disponer de una metodología ajustada a los planteamientos tecnológicos más intensivos pero acorde con el marco económico, y sin riesgo para el ambiente (Attanandana y Yost, 2003). El maíz requiere alrededor de 20-25 kg ha^{-1} de N por cada tonelada de grano producida. Por ello, para producir por ejemplo 5t ha^{-1} de grano, el cultivo debería disponer de alrededor de 100 a 125 kg de N (Sánchez, 1976). Esta cantidad sería la demanda de N para este nivel de rendimiento. La oferta de N para cubrir las necesidades nitrogenadas proviene de varios componentes: (Montesano *et al.*, 2003)

- 1- N de nitratos disponible a la siembra (N-NO_3^- disponibles de 0-60 cm)
- 2- N mineralizado de la materia orgánica: la cantidad de N mineralizado durante el ciclo del cultivo varía según temperatura, humedad y tipo de suelo. Se puede considerar alrededor del 2.5% del Nt (N total del suelo).
- 3- N del fertilizante: en el caso de que el N inicial medido por análisis de suelos a la siembra (nitratos) y el N mineralizado desde la materia orgánica sean inferiores al requerido por el cultivo, se deberá fertilizar para mantener el balance en equilibrio (oferta de N=demanda de N).

El manejo del fertilizante debería contemplar qué pérdidas de N se pueden presentar y se tiene que diseñar la estrategia de fertilización que minimice la incidencia global de las

mismas. Las pérdidas de N que deben ser consideradas para estimar la dosis de fertilizante a agregar se caracterizan brevemente a continuación:

Volatilización de amoníaco: Esta pérdida se genera en aplicaciones de urea o fertilizantes que contienen urea en su composición o aplicaciones de fertilizantes amoniacales en suelos con pH elevados. Cuando la urea se hidroliza en el suelo, se incrementa el pH alrededor de los gránulos del fertilizante alcanzando pH de 8.5 desplazando el equilibrio del amonio hacia el amoníaco, que se pierde como gas. La enzima que cataliza la hidrólisis de la urea en el suelo es la ureasa. La concentración de esta enzima es muy superior en los rastros que en suelo. Por ello, la aplicación de urea sobre residuos incrementaría la tasa de pérdida de N por esta vía. Los otros factores que predisponen la pérdida por volatilización son la temperatura (mayores a 15-18 °C), dosis de N, vientos, pH del suelo, etc. Una vez incorporado el fertilizante (ya sea por un implemento agrícola o por las lluvias y/o riego) la magnitud de la pérdida se reduce significativamente. (Bueno et al., 2004)

Lixiviación de nitratos: Esta pérdida es el lavado de nitratos por el agua de precolación del suelo por debajo de la zona de aprovechamiento de las raíces. Para que se genere la misma es necesario un flujo vertical de agua en el perfil del suelo saturado provocado por lluvias intensas o el riego. Esta pérdida resulta más importante en suelos arenosos por la mayor movilidad vertical de los nitratos. Existen varios factores que inciden en forma integral en la magnitud de las pérdidas de N por lixiviación de nitratos: tipo de suelo (textura, permeabilidad, etc.), cobertura de residuos o de cultivos; disponibilidad de nitratos en el suelo; intensidad de la lluvia y/o riego; etc. En términos generales, un excedente o balance positivo de agua en el sistema suelo-planta determina una salida neta de nitratos fuera del sistema suelo-planta. La estrategia de manejo del fertilizante debería procurar aplicar el N escapando a los eventos de lluvias intensas o en etapas en donde el cultivo comienza a consumir agua y nutrientes en forma más intensa.

Desnitrificación: Este proceso es poco relevante en maíz. Se presenta en condiciones de excesos hídricos prolongados en el suelo que generan anaerobiosis que promueven la reducción de los nitratos a óxidos de N y en casos extremos a N molecular (N₂). Este mecanismo de pérdida se presenta cuando la humedad del suelo se incrementa por encima de 60% de la capacidad de campo. (Torres, 2002).

El método de balance de N ha sido propuesto entre otros 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 0,4 y 0,6, mientras que la eficiencia de utilización del N mineralizado es de 0,7 a 0,8 (Meisinger, 1984). La dosis de N a aplicar (N_f) surge de la siguiente ecuación (Salvagiotti, y col. 2000)

$$N_{\text{fert}} = ((N_{\text{cul}} \times \text{Rend}) - ((N_{\text{min}} \times \text{Ef}_1) + (N_{\text{in}} \times \text{Ef}_2))) / \text{Ef}_3$$

N_{fert} = N del fertilizante (kg/ha)

N_{cul} = Requerimiento de N del cultivo (kg / q)

Rend = Rendimiento (q / ha)
 N_{min} = N Mineralizado (kg/ha)
 N_{inic} = N inorgánico inicial (kg/ha)
 Ef_1 = Eficiencia de uso del N_{min}
 Ef_2 = Eficiencia de uso del N_{inic}
 Ef_3 = Eficiencia de uso del $N_{fert.}$

2.4 Las leguminosas forrajeras

Las leguminosas han sido reconocidas como fuente de excelente forraje y como mejoradoras de la fertilidad del suelo debido a su habilidad para fijar N del aire y para incorporar a la capa arable grandes cantidades de materia orgánica (Bernal, 2003). Las leguminosas tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico por medio de bacterias nitrificantes que forman nódulos en las raíces de estas plantas, producen el suficiente nitrógeno para sus propias exigencias y para la gramínea acompañante, para lo cual es necesario el establecimiento de una simbiosis totalmente efectiva entre las leguminosas y el rizobium, buena nutrición de las plantas para que funcione la simbiosis y la planta se desarrolle bien y el manejo del pastoreo que permita que la leguminosa persista.

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 pintoi*). Esta leguminosa nodula con rizobios de diferentes especies de plantas hospedantes por lo cual maní forrajero ha sido clasificada como promiscuo efectivo (Thomas, 1995). Silvester *et al.*, 1988 estudiaron 30 cepas de rizobium con maní forrajero, encontrando que algunas de estas cepas aumentaron en tres veces o más el contenido de nitrógeno en la parte aérea de la planta en comparación con el testigo sin inocular en un oxisol que tenía *Rhizobium* nativo. De igual forma el rendimiento de forraje aumentó en más de 4 veces con respecto al testigo.

Las leguminosas jóvenes que se cultivan en suelos deficientes en N, muestran síntomas de deficiencia del elemento durante un periodo de tiempo comprendido entre el momento en que se agotan las reservas de N de las semillas y el momento en que los nódulos se torna activos y empiezan a fijar N del aire. Durante este periodo las leguminosas responden bien a aplicaciones de N, pero si tiene que competir con gramíneas por el N aplicado en forma de fertilizante, generalmente la leguminosa acaba siendo desplazada dada su inhabilidad para competir con la gramínea por el N. En plantas mas viejas de leguminosas, se encuentra poca respuesta a la aplicación de N (Bernal, 2003).

En suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia, se ha observado un efecto positivo de la leguminosa introducida en praderas de gramíneas como el *B. decumbens*. En praderas de gramíneas donde la presencia de las leguminosas kudzu y maní forrajero estuvo en 30 y 45 % respectivamente al final de tres años bajo pastoreo, el pH paso de 4.7 a 5.0, la saturación de aluminio disminuyó de 81% a 67%, la materia orgánica pasó de 3.3 a 3.8%, el calcio de 0.3 a 0.7 me/100 g de suelo y el magnesio de 0.09 a 0.12 me 100 g de suelo⁻¹. Los elementos que no aumentaron su contenido en el suelo fueron el fósforo y el potasio, (Rincon, 1999).

Estos resultados confirman la importancia que tienen las leguminosas en el mejoramiento de suelos por el aporte de nitrógeno fijado por la simbiosis con el rizobium, y otros nutrientes resultantes del permanente reciclaje por descomposición de la hojarasca y raíces. Las praderas asociadas de gramíneas y leguminosas son una alternativa importante para mejorar las condiciones de los suelos ácidos para el posterior desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles en la Orinoquia Colombiana.

Los beneficios de la asociación de gramíneas con leguminosas se refleja en una mejor productividad animal. Las ganancias de peso animal en fincas del Piedemonte llanero, han sido superiores en un 57% con respecto a las praderas fertilizadas con nitrógeno. De otra parte, en estas praderas asociadas se obtuvo más de un 100% de ganancia de peso animal, con respecto al testigo de solo *B. decumbens*. En la Altillanura colombiana las pasturas asociadas con maní forrajero se han caracterizado por su alta productividad animal, sin llegar a presentar síntomas de degradación después de varios años de pastoreo. Las ganancias de peso vivo anuales de los novillos que consumen pasturas asociadas con maní forrajero, con un buen sistema de manejo fueron de 160 a 200 kg animal⁻¹ y de 250 a 600 kg ha⁻¹ (Lascano, 1995).

Cuando se mantiene un adecuado balance de N y P es posible mantener un buen crecimiento de las plantas de la leguminosa sin afectar la nodulación. El número y densidad de los nódulos así como la rata de fijación del N se incrementan considerablemente con la adición de P, contribuyendo al aumento en el porcentaje de leguminosa, puesto que el P mejora su habilidad para competir con los pastos asociados. Por otra parte, el potasio solamente presenta un efecto benéfico en la nodulación en presencia de niveles adecuados de P (Bernal, 2003).

2.5 FISIOLOGÍA DE PASTOS

El estudio de la dinámica de los ecosistemas de pastos, y en especial, su capacidad de transformación de energía lumínica y otros sustratos como factores determinantes del crecimiento, ha sido una temática poco estudiada en las regiones tropicales.

La mayoría de la información obtenida en este sentido se limita a la representación algebraica de los cambios que se producen en la fitomasa o en los constituyentes químicos en la planta a través del tiempo; en otros casos, se realizan análisis del crecimiento mediante índices empíricos, pero sin penetrar en la esencia de las múltiples y complejas funciones que se desarrollan en las diferentes estructuras morfológicas, ni las relaciones e interrelaciones que se establecen entre el método de explotación y el complejo ambiental, las cuales constituyen factores claves para el desarrollo de prácticas de manejo en los recursos forrajeros.

La alta radiación solar es uno de los principales recursos que tiene el trópico. La alta intensidad de luz se traduce en alta rata de fotosíntesis que en gramíneas tropicales (C4) es de dos a tres veces más que las gramíneas de la zona templada. El grupo más grande que presenta la ruta fotosintética C4 está conformado por las plantas tropicales de la familia *Panicoidae*. Asociadas con esta ruta en los pastos tropicales hay otros aspectos que los distinguen de los pastos de la zona templada y de las leguminosas tropicales,

estas diferencias tienen consecuencias importantes en la productividad de los pastos. Los aspectos más notables 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. 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 en las grandes diferencias en las resistencias intracelulares a la transferencia de CO₂ (Black, 1976)

El establecimiento y mantenimiento de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas en el trópico ha tenido dificultades. Muchos factores afectan el balance entre estas dos familias de plantas y es aparentemente la diferencia sus mecanismos de fotosíntesis, uno de estos factores. Especies de pastos tropicales difieren en la habilidad para capturar radiación solar, y de este modo afectar la tasa neta de asimilación. 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 mucho menor. Las leguminosas forrajeras tienen una disposición de las hojas más horizontal y el índice de área foliar es relativamente menor comparado con las gramíneas. (Mott y Popenoe, 1982).

Los pastos poseen características fisiológicas y morfológicas propias que le brindan adaptación específica para su crecimiento y calidad. Sin embargo, estos experimentan modificaciones morfológicas en el rendimiento y su calidad cuando ocurren cambios en las condiciones climáticas, donde la temperatura, la radiación solar (cantidad y calidad), las precipitaciones y su distribución son los componentes que más determinan en las condiciones tropicales. Esta marcada diferencia entre la estructura foliar de gramíneas y leguminosas adiciona otro factor de complicación en el manejo de estas asociaciones. La temperatura es un factor importante y determinante en la distribución de gramíneas y leguminosas en el trópico, dos aspectos son importantes en la temperatura: el promedio diario y la variación diurna y nocturna. La amplitud de esta variación se aumenta con el incremento en latitud y altitud. Bajas temperaturas restringen el crecimiento de gramíneas y leguminosas. Cuando la temperatura durante un periodo del día es de 10°C, las tasas de crecimiento se aproximan a cero. Las temperaturas para obtener máxima producción en leguminosas es de 20°C y para gramíneas de 30°C pudiendo llegar hasta 40°C. (Fitzpatrick and Nix, 1970).

Uno de los mecanismos estructurales utilizados por los pastos para reducir los efectos de estrés por altas temperaturas, es el aumento del contenido de la pared celular, fundamentalmente en lignina, la cual reduce de forma muy marcada la digestibilidad y la calidad de éstos. Wilson *et al.*, (1991), al estudiar el efecto del aumento de la temperatura en el contenido de componentes estructurales y la digestibilidad en las hojas y tallos de *C. dactylon*, *P. maximum* var *trichoglume*, *L. perenne* y *M. sativa*, encontraron que la reducción en la digestibilidad de la materia orgánica y de la pared celular estaba asociada a un aumento en la lignificación de sus tejidos. Aunque, Nelson y Moser (1994) argumentaron que pudieran existir otros mecanismos que influyan en este proceso, pero aún la información es muy limitada. Probablemente, esto explique el efecto contrario que ocurre en el contenido de la pared celular del *Paspalum* con el aumento de la temperatura.

Cuando la nutrición mineral es adecuada, la tasa potencial de fijación de CO_2 y consecuentemente la producción de materia seca, da a los pastos tropicales una ventaja competitiva marcada sobre las leguminosas en la utilización de la energía luminosa. El mantenimiento de una leguminosa en asociación con un pasto tropical, se logra a través de una limitación en el suministro de N, lo que determina a su vez una limitación en la productividad potencial del pasto que favorece a la leguminosa.

La adaptación y producción de forrajes tropicales en muchos casos depende de las reservas de nutrientes que tiene el suelo y de la adición de fertilizantes. En una mezcla de gramíneas y leguminosas, los requerimientos de nutrientes que exige la leguminosa son básicos para su supervivencia. Algunas especies como *Desmodium*, *Stylosanthes* y *Arachis* tiene la capacidad de extraer nutrientes en suelos de baja fertilidad como son los oxisoles y ultisoles pues son los hábitats naturales de este género. (Mott y Popenoe, 1982).

2.6 CALIDAD NUTRITIVA DE LOS FORRAJES

La calidad de los forrajes es una de las grandes limitantes para mejorar la productividad ganadera en el trópico. Los nutrientes que aprovecha el bovino se encuentran en la pared celular y el contenido celular de los pastos. Las plantas en estados vegetativos tempranos tienen una sola capa en su pared celular y de poco espesor (pared primaria). A medida que la planta va madurando, se deposita una segunda capa interna llamada pared secundaria. Los principales componentes de estas dos paredes son los carbohidratos: la celulosa y la hemicelulosa. Entre ambas pueden formar un 40 a 80% de la composición total del forraje. (Hess, 1988)

Los monogástricos no pueden digerir ninguno de estos dos compuestos, en cambio los rumiantes si lo pueden hacer parcialmente a través de los microorganismos que tienen en el rumen. De esta manera pueden transformar a la celulosa y hemicelulosa fuentes energéticas utilizables. A medida que la planta va avanzando en madurez, comienza a depositar lignina entre ambas paredes, lo que les da resistencia y rigidez. La lignina es totalmente indigerible, aun por las bacterias del rumen. Como la lignina se entrelaza con la celulosa y la hemicelulosa, un mayor contenido de la misma implica una menor digestibilidad de la otra dos.

Los componentes de la pared celular son aprovechables como fuente de energía por las bacterias del rumen, dando ácidos grasos, principalmente ácido acético, que actúa como fuente energética para el animal y precursor de la grasa de la leche. La degradación de la fibra por los microorganismos ruminales es lenta. El contenido celular comprende la proteína, grasas, azúcares solubles, almidón y cenizas que abarca a todos los componentes de origen inorgánico (minerales).

El valor nutritivo y la capacidad de ingestión vienen determinados por el estado fisiológico del pasto y por su composición química y ambos tienen un reflejo en la digestibilidad, convirtiéndose ésta en el principal componente del valor alimenticio. (Lascano, 1988). La digestibilidad decrece con la madurez fisiológica, de manera que normalmente el pasto joven es de digestibilidad alta y sólo en el caso de que el pasto alcance un estado de madurez próximo a la floración la digestibilidad comienza a decrecer de forma notable. Tanto en las leguminosas como en las gramíneas existe una relación inversa entre

contenido en proteína (bruta o verdadera) y en fibra. A medida que se aproxima la madurez el contenido en fibra bruta aumenta y el de proteína disminuye. Las praderas a medida que maduran, presentan una reducción en el contenido de N soluble y aumento de lignina en la pared celular. Estos efectos negativos se reducen mediante un buen manejo de praderas y de la fermentación ruminal de tal forma que esta sea lo más eficiente posible para suministrar los nutrientes requeridos por el animal (Arreaza, 2002).

Los microorganismos del rumen necesitan de buena concentración de amoníaco para su crecimiento, lo cual asegura la digestión de la fibra del forraje. Para tener un nivel de amoníaco suficiente en el rumen, se requiere de una fuente de N adecuada, en cantidad suficiente, rápidamente degradable sincronizada con la degradación rápida de los carbohidratos solubles y una fuente de N de degradación lenta que sincronice con la degradación lenta de los carbohidratos estructurales o Fibra (Kolver *et al.*, 1998).

Existen modelos como el CNPCS desarrollado por la Universidad de Cornell (Cornell Net carbohydrate and protein system), el cual utiliza submodelos que simula la fermentación ruminal y calcula la producción de bacterias y productos de fermentación en el rumen, que posteriormente sirven para calcular el desempeño animal, de acuerdo al aporte de nutrientes generados y de los nutrientes de la dieta no fermentados que sobrepasan la fermentación ruminal. Para alimentar estos modelos se requiere de una mayor información a cerca de la composición nutricional del alimento suministrado al ganado (fraccionamiento de carbohidratos y de proteínas), siendo la base de los cálculos para predecir el desempeño animal (Arreaza, 2002).

2.7 RESERVAS ORGÁNICAS DE LOS PASTOS

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 (Smith, 1973). Los pastos tropicales acumulan almidones y a veces sucrosa y los de zona templada fructosanos y en menor proporción sucrosa (Sheard, 1973, 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, 1973). 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 (Smith, 1973). Cuando las plantas forrajeras son sometidas a defoliaciones frecuentes, hay reducción en la concentración de carbohidratos totales no estructurales (CTNE).

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 (Deregibus et al, 1982; 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 importante 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.

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. 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 (Silveira., *et al* 2005).

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.

2.8 DEGRADACIÓN DE PRADERAS

El uso de pastos en la producción de rumiantes es la forma más económica de alimentación, cuando son bien manejadas y utilizadas respetando las características fisiológicas y exigencias climáticas y de fertilidad del suelo, esas pasturas se mantienen productivas por mucho tiempo. 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 degradación de praderas es la pérdida de la capacidad productiva de una pastura, que se manifiesta con baja producción y calidad de forraje, pérdida de cobertura e invasión de otras especies vegetales, con disminución en la productividad y rentabilidad de los sistemas ganaderos.

En el sistema dedicado a la ceba de novillos en el Piedemonte llanero, se estima que por causa de la degradación de las praderas se están dejando de producir 200.000 novillos al año, lo que representa un menor ingreso a la región de 234.000 millones de pesos. En el sistema de doble propósito se dejan de producir 200.000 litros diarios de leche (Rincón, 1998)

Las principales causas de esta degradación de praderas se atribuyen a la pérdida de fertilidad de los suelos porque no se aplican los fertilizantes necesarios para suplir las deficiencias naturales de estos suelos, ataque de la plaga "mión de los pastos" (*Aeneolamia sp*, *Zulia sp*) durante los meses de máxima precipitación, utilización en el pastoreo de un elevado número de animales, con períodos largos de ocupación que consumen los puntos de crecimiento y de reservas de los pastos, por lo cual la planta pierde vigor, capacidad de rebrote y cobertura, facilitando la invasión de arvenses, compactación y predisposición a la erosión del suelo (Spain y Gualdrón, 1985). Por otra parte, el uso de cargas bajas permite la acumulación de forraje sobremaduro de baja calidad y provee buenas condiciones para el desarrollo del "mión" de los pastos. (Calderón y Varela, 1982)

En algunos casos, el problema está relacionado con un deficiente establecimiento de la pradera, que se manifiesta a través de alta invasión de arvenses y baja población de las especies forrajeras sembradas. El análisis de la degradación de las praderas se debe realizar considerando cada caso en particular, según el estado o etapa del proceso de degradación, y con base en ellos, se determina el tipo de tratamiento de renovación a aplicar. (Menezes y Silveira, 2004, Rincón, 1998)

Para las condiciones de los llanos se han establecido cuatro categorías, junto con los criterios técnicos a aplicar en la definición del estado de degradación de praderas de *B. decumbens* en época lluviosa:

0: Pradera en buen estado: Presenta plantas vigorosas, la cobertura de las especies sembradas es superior al 80%, el forraje disponible es superior a 1300 kg ha⁻¹ de materia seca cada 30 días, con valores de proteína cruda entre 8 y 10%, y presencia de otras especies inferior al 10%.

1: Estado de degradación Baja: La cobertura de las especies sembradas fluctúa entre 70 y 80%, con una disponibilidad de forraje entre 900 y 1299 kg ha⁻¹ de materia seca cada 30 días, proteína cruda entre 6 y 7.9% y la proporción de otras especies es inferior al 20%.

2: Estado de degradación media: La cobertura de las especies sembradas fluctúa entre 50 y 69%, la disponibilidad de forraje entre 500 y 899 kg ha⁻¹ de materia seca cada 30 días, la proteína cruda entre 5 y 5.9%, presencia de otras especies entre 21 y 30%

3: Estado de degradación alta: La cobertura de las especies sembradas es menor del 50%, la disponibilidad de forraje no supera los 500 kg ha⁻¹ de materia seca en rebrotes de 30 días, la proteína cruda es inferior al 5 % y la presencia de otras especies es superior al 30%.

Las pasturas se constituyen en una alternativa eficiente para disminuir la degradación de los suelos tropicales. La creciente valorización de las tierras y de los productos de origen

animal justifica el mejor uso de los suelos para compensar las inversiones de capital en la actividad pecuaria, bajo tales circunstancias los sistemas de producción agropecuaria demandará reconocer que los pastos como componentes de un agroecosistema son plantas cultivadas y por lo tanto necesitan de manejo adecuado para su establecimiento y mantenimiento en niveles satisfactorios de rentabilidad y sostenibilidad. Además considerar el rol de las pasturas y sus interacciones con los demás componentes de la producción agropecuaria a nivel de la finca como un todo (Muzilli, 1999).

2.9 INTEGRACIÓN DE LA AGRICULTURA Y LA GANADERÍA

La validación de los modelos de agroecosistemas con pasturas, consideran solo pasturas o su combinación con producción agrícola y que se destinan a reemplazar pasturas de baja calidad nutritiva o infestadas con malezas y plagas por pasturas de mejor calidad forrajera; la asociación o sucesión de pasturas con cultivos temporales para mejorar las condiciones del suelo, controlar malezas y disminuir los costos de renovación de las pasturas; Ofrecer residuos y forrajes para la alimentación suplementaria del hato ganadero en periodos de escasez de pastos; promover sistemas agrosilvopastoriles a través de la rotación de pasturas con cultivos temporales intercalados entre especies arbóreas y plantas forrajeras arbustivas con el fin de promover sombra, dar protección contra vientos, suministrar alimentación suplementaria a los animales y producir madera. (Musilli, 1999).

Considerando las características agroecológicas y socioeconómicas prevalentes en las sabanas de Latinoamérica, el reto consiste en generar, validar y difundir tecnologías de uso y manejo del suelo que sean ecológicamente sostenibles, económicamente rentables y socialmente aceptables con el fin de mejorar la producción agropecuaria y disminuir los riesgos de los cambios de clima y mercadeo en los sistemas de producción fundamentados en los cultivos anuales mecanizados y en pasturas (IICA-Procitropicos 1994, citado por Muzilli, 1999).

La rotación de cultivos, además de la preservación del suelo, tiene beneficios como el control biológico cultural de malezas y plagas, la mejor organización del trabajo en la Finca, el mejor uso del capital invertido y la reducción de riesgos por cambios climáticos o fluctuaciones en los precios. Sin embargo, las rotaciones deberán ser flexibles, considerando las variaciones de clima y suelo, las oportunidades de mercadeo, los intereses y los recursos de los productores. Es decir, no se deben buscar recetas de rotación, sino proporcionar conocimientos y opciones que posibiliten ajustes para cada situación (Gutiérrez, 1991; Viegas y Machado, 1990; citados por Musilli, 1999).

El Brasil, es el país que más adelantos tiene en el desarrollo de sistemas agropastriles en América Tropical, estos sistemas se realizan 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. Los productores del Cerrado están utilizando varias tecnologías de integración. Una de ellas es el sistema Barreirao, el cual reúne prácticas para la solución de los problemas que comúnmente ocurren en la mayoría de los suelos bajo pasturas degradadas, en las condiciones del Cerrado Brasileño. La omisión o alteración en la aplicación de estas prácticas puede comprometer la producción del cultivo, de la especie forrajera o de ambos. Las principales prácticas que se deben realizar son: Conocimiento del suelo realizando muestreos para su análisis. Preparación del suelo con un pase de rastra-arado entre 10 a 15 cm de profundidad, a los

30 días antes del inicio de lluvias para incorporar la pradera degradada. Luego se hace un arado profundo con arado de vertedera, luego nivelación. Uso de semillas de buena calidad, se deben sembrar 80 a 100 semillas por metro con variedades de arroz de ciclo corto, con variedades de ciclo intermedio debe ser entre 60 y 70 semillas por metro. Con la semilla de *Brachiaria* se debe sembrar entre 5 a 7 kg ha⁻¹ con un valor cultural de 30%, las cuales deben quedar a una profundidad de 8 a 10 cm. mientras que los cultivos deben quedar a una profundidad de 3 a 5 cm. La fertilización es de 12 kg de N, 90 kg de P₂O₅, 30 a 45 kg de K₂O 30 kg de FTE y 20 kg de sulfato de zinc por hectárea. La cosecha se hace cuando el cultivo esta en su punto ideal y la introducción de animales a pastoreo se hace después de un periodo mínimo de 30 a 60 días después de la cosecha.

Los cultivos de maíz y de arroz no difieren mucho en la extracción y traslado de nutrientes hacia los granos. El arroz moviliza 24% el P₂O₅ y 22% del K₂O recomendado en el sistema Bareirao, mientras que en el maíz esos valores son de 42 y 33% respectivamente. Esto significa que la mayoría de los nutrientes aplicados, si no ocurren pérdidas por erosión o lixiviación, son retenidos en el suelo o en la materia orgánica y representan residuos disponibles para las pasturas.

En una encuesta de 20 ganaderos que utilizan el sistema Bareirao mostró variaciones en la capacidad de carga animal entre las épocas seca y lluviosa de 1993 y 1994. En el periodo seco la carga en las pasturas degradadas fue de 0.6 ua ha⁻¹ y en las praderas recuperadas de 1.2 ua ha⁻¹. En el periodo lluvioso de 1.2 ua ha⁻¹, se incrementó a 2.6 ua ha⁻¹. Además de mejorar la productividad animal en la finca, con el Sistema Bareirao 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).

Otro sistema ha sido desarrollado por la Fundación para la investigación y difusión de tecnología para el Estado de Mato Grosso do Sul, que consiste en la rotación de *B. decumbens*, *B. brizantha*, *P. maximum* con cultivos anuales, en la hacienda Santa Terezinha cerca a Uberlandia. Con la introducción de la actividad agrícola a esta hacienda, el sistema original de ganadería de cría se transformó en un sistema integrado, en el cual se alternaron ciclos de cultivos y pasturas en el tiempo y el espacio. En 1992 todas las pasturas originales de *B. decumbens* ya habían sido reemplazadas por pasturas de *P. maximum* sembradas en forma simultánea con maíz después de un ciclo de cultivos de 3 a 4 años. A partir de esa época la proporción del área en pasturas se ha mantenido en un 40% del área total de la finca, manteniendo el mismo número de animales que se tenían cuando el porcentaje de pasturas de la finca era del 100%, es decir la capacidad de carga se aumentó de 1 a 1.8 animales ha⁻¹.

El nuevo sistema de producción mejoró también las condiciones del suelo. Durante el ciclo de cultivos se elevó la fertilidad en el suelo debido al uso de fertilizantes y correctivos. Durante el ciclo de pasturas se recuperó la agregación del suelo y la materia orgánica aumentó en 30% en comparación con áreas que tienen 4 años de cultivos, también ocurrió un enriquecimiento de C, N, P en los macroagregados de estos suelos bajo los sistemas de pasturas (Ayarza et al., 1999).

El Sistema Santa fe, que lleva el mismo nombre de la Finca donde se desarrollo inicialmente esta tecnología, en Santa Helena de Goias, se fundamenta en la producción asociada de cultivos de granos como el maíz, sorgo, mijo, arroz y soya, con especies forrajeras tropicales especialmente del género *Brachiaria*, tanto en siembra directa como en siembra convencional, con el suelo parcial o totalmente corregido. Estos cultivos anuales presentan gran desarrollo inicial ejerciendo con esto alta competencia sobre las especies forrajeras evitando así la reducción en la capacidad productiva de los granos. Este sistema presenta grandes ventajas pues no altera el cronograma de actividades del productor y de bajo costo y no exige equipos especiales para su implantación. La asociación se establece anualmente pudiendo ser sembrada en forma simultánea la especie forrajera y el cultivo o 20 a 30 días después de la emergencia del cultivo (Kluthcouski y Aidar, 2003).

Estos trabajos realizados por el CIAT y EMBRAPA específicamente en Fincas de la región de Uberlandia, Minas Gerais, en evaluación de adopción de los sistemas agropastoriles, los resultados de la caracterización de los sistemas de producción en las cuencas seleccionadas mostraron que los cultivos ocupan un 72% de área total de las fincas. El resto está ocupada por pasturas cultivadas y área de reserva ubicadas en áreas no mecanizables.

Por razones económicas y/o agronómicas, en los Cerrados del Brasil, la explotación de cultivos y de ganadería solas, es decir sin integrar estos dos sistemas, son insostenibles, con reflejos negativos también en los parámetros ambientales y sociales. Así, en la actual coyuntura económica, tanto la competitividad como la sostenibilidad del sector estará cada vez más dependiente de la reducción de los costos de producción y de la utilización intensiva de las áreas agrícolas durante todo el año aprovechando las condiciones de temperatura y radiación solar (Kluthcouski et al., 2003).

Los trabajos realizados en Colombia en sistemas agropastoriles se basan en el sistema arroz- pastos, con experimentos realizados en algunas fincas de la Altillanura y en el C.I. Carimagua desde el año 1989. El éxito de los resultados obtenidos permitieron validar y ajustar esta tecnología en áreas comerciales de los centros de investigación y en fincas de productores. Algunos resultados obtenidos durante más de 5 años son los siguientes: El cálculo de absorción de nutrimentos por unidad de área en la biomasa aérea, muestra que el cultivo de arroz fue el principal extractor entre las especies del sistema, pero también sugiere que las pasturas compiten con él particularmente por P, K y Mg aunque sin afectar la producción de grano. Aparte del Zinc los suelos después de la primera cosecha de arroz fueron químicamente mejores que los de la sabana nativa original, las pasturas se desarrollaron bien con la fertilidad residual. Con la preparación temprana del suelo la producción de arroz en todos los tratamientos aumentó en 1 t ha^{-1} en comparación con la preparación tardía. La producción de arroz sembrado después de *B. decumbens* + *P. phaseoloides* produjo más de 3 t ha^{-1} en todos los tratamientos incluso en aquellos que no recibieron N o que solo recibieron 25 kg ha^{-1} de N, no obstante, cuando se duplicó la dosis de fósforo (50 Kg ha^{-1}) no se encontró efecto sobre la producción. La siembra de arroz en solo pasturas de *B. decumbens* sin aplicación de N tanto con 25 kg ha^{-1} como con 50 kg ha^{-1} de fósforo dió bajos rendimientos de arroz paddy (1.3 t ha^{-1}) pero con la aplicación de 40 kg ha^{-1} de N se incrementó la producción de arroz a 3 t ha^{-1} y con 80 kg ha^{-1} de N se aumentó a $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ de arroz. La producción de arroz después de sabana nativa fue de menos de 2 t ha^{-1} . El análisis inicial de los

suelos mostró que el estado del K, Ca, y Mg fue mayor en las pasturas introducidas que en la sabana nativa. (Sanz *et al*, 1999).

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 experimentos realizados en algunas fincas de la Altillanura y en los Centros de Investigación (CORPOICA, 2002). 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. El potencial de producción de estos cultivos se ha visto con gran expectativa para suplir las importaciones especialmente de maíz, que está alrededor de 2 millones de toneladas utilizadas para la elaboración de concentrados para aves.

La integración de la agricultura y la ganadería trae beneficios al productor con aumento de la productividad y del lucro, mayor estabilidad de renta debido a la producción diversificada y reducción de la vulnerabilidad a los rasgos climáticos. El pasto se beneficia con la utilización de fertilizantes y correctivos en las actividades agrícolas, residuos de los elementos utilizados, podrán permanecer en suelo contribuyendo para el aumento de la fertilidad. En sucesión a cultivos anuales, principalmente con leguminosas, los pastos permiten obtener animales con un peso vivo superiores a 500 kg año⁻¹. 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 también, las características físicas del suelo. El uso del pasto en secuencia con la agricultura, reduce la incidencia de plagas y enfermedades en función de rotación de cultivos. Además de eso, los pastos favorecen el aumento de materia orgánica y ayudan al control de erosión del suelo, debido a su cobertura. Por otro lado si los pastos, como *Brachiaria*, fueran manejados adecuadamente, queda un residuo de paja sobre el suelo de 5 a 10 t ha⁻¹ de materia seca. En el interior del suelo quedan de 10 a 20 t ha⁻¹ de raíces, que contribuyen para el establecimiento de los cultivos anuales (Pereira y Pacheco, 2003).

EXPERIMENTO UNO

RENOVACIÓN DE PRADERAS DEGRADADAS DE *Brachiaria decumbens* Y SU RESPUESTA PRODUCTIVA CON ANIMALES

En este experimento se evaluó la renovación de praderas degradadas de *B. decumbens* mediante la siembra de *B. brizantha* cv. Toledo y el híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato, con el cultivo de maíz, con lo cual se buscaba contar con una producción de grano del maíz y un buen desarrollo de los pastos gracias a la mejor fertilidad de suelos debida a las enmiendas y fertilización aplicados al cultivo de maíz. Con la cosecha de maíz se pretendía reducir los costos del mejoramiento de las praderas y obtener forrajes más productivos para la alimentación de los bovinos. Se evaluaron las respuestas fisiológicas de las especies durante la etapa de establecimiento y durante la fase de pastoreo, al igual que los parámetros químicos y físicos del suelo.

Con la realización de este experimento se dio cumplimiento a dos de los tres objetivos específicos del proyecto. Estos objetivos son:

- Evaluar parámetros fisiológicos productivos de las especies utilizadas en la recuperación de praderas, durante la fase de establecimiento y bajo pastoreo.
- Determinar la contribución del N proveniente de la leguminosa *Arachis pintoi* y de fertilización química sobre el rendimiento y calidad nutritiva de los pastos

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 LOCALIZACIÓN

El experimento se desarrolló en el Centro de Investigaciones La Libertad localizado 22 km. de Villavicencio a 4°04' de latitud norte y 73°28' de longitud oeste, en condiciones de clima y suelo representativas del Piedemonte llanero. Las lluvias comienzan en Abril y terminan a mediados de diciembre, los meses más lluviosos son junio y julio. La precipitación anual es de 2800 mm. La temperatura promedio de 26°C., y la humedad relativa de 85% en la época lluviosa y 65% en la seca.

Los suelos corresponden a una terraza media que se caracteriza por el bajo contenido de nutrientes y la alta saturación de aluminio que los permite clasificar como oxisoles, que de acuerdo a los levantamientos y estudios de suelos realizados hasta hoy en toda la Orinoquia, estos son los suelos que ocupan las unidades fisiográficas de mayor extensión y por lo tanto con mayor porvenir para el desarrollo agropecuario, estos suelos son fuertemente meteorizados, de carga variable extremadamente ácidos y lavados, con un complejo coloidal inorgánico constituido por arcillas de muy baja actividad y/o con un marcado carácter óxico (Mejía, 1996)

1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Este experimento está relacionado con la renovación de praderas degradadas de *Brachiaria decumbens* y su respuesta productiva con animales. La renovación de praderas degradadas de *B. decumbens* se realizó a través del cultivo del maíz híbrido "Master" y la siembra simultánea de los pastos híbrido de *Brachiaria* cv "Mulato" y *Brachiaria brizantha* cv "Toledo", además se tuvo otro tratamiento de recuperación del *B. decumbens* bajo las mismas condiciones de los ya mencionados. Estos tres pastos se asociaron con la leguminosa *Arachis pinto*. El *A. pinto* se usó en razón de su buena cobertura, persistencia y aporte de N. Se utilizó el cultivo de maíz por el impacto económico del grano producido en la reducción de costos de establecimiento de praderas y en el alto potencial productivo de la nueva pradera, que posibilita la introducción de especies forrajeras de alto valor nutritivo y producción de biomasa para sistemas intensivos de producción animal. Para determinar la calidad de los forrajes y su efecto en la producción animal se utilizó el sistema de fraccionamiento de proteínas y carbohidratos, como insumos básicos para la predicción de la producción y requerimientos nutricionales de los bovinos CNCPS, 2000 (Cornell net carbohydrate and protein system)

1.2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos se distribuyeron en bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones en donde:

Parcela principal: Gramínea forrajera (área de 3 ha)

Subparcela: fuentes y niveles de N (área de 1 ha)

Numero total de unidades experimentales: 3 pastos x 2 fuentes y niveles de N x 3 repeticiones = 18. Área total = 18 ha.

1.2.2 TRATAMIENTOS

Maíz + Híbrido de *Brachiaria* cv Mulato + *A. pinto* + 100 kg de N

Maíz + Híbrido de *Brachiaria* cv Mulato + 200 kg de N

Maíz + *Brachiaria brizantha* cv Toledo + *A. pinto* + 100 kg de N

Maíz + *Brachiaria brizantha* cv Toledo + 200 kg de N

Maíz + *Brachiaria decumbens* + *A. pinto* + 100 kg de N

Maíz + *Brachiaria decumbens* + 200 kg de N

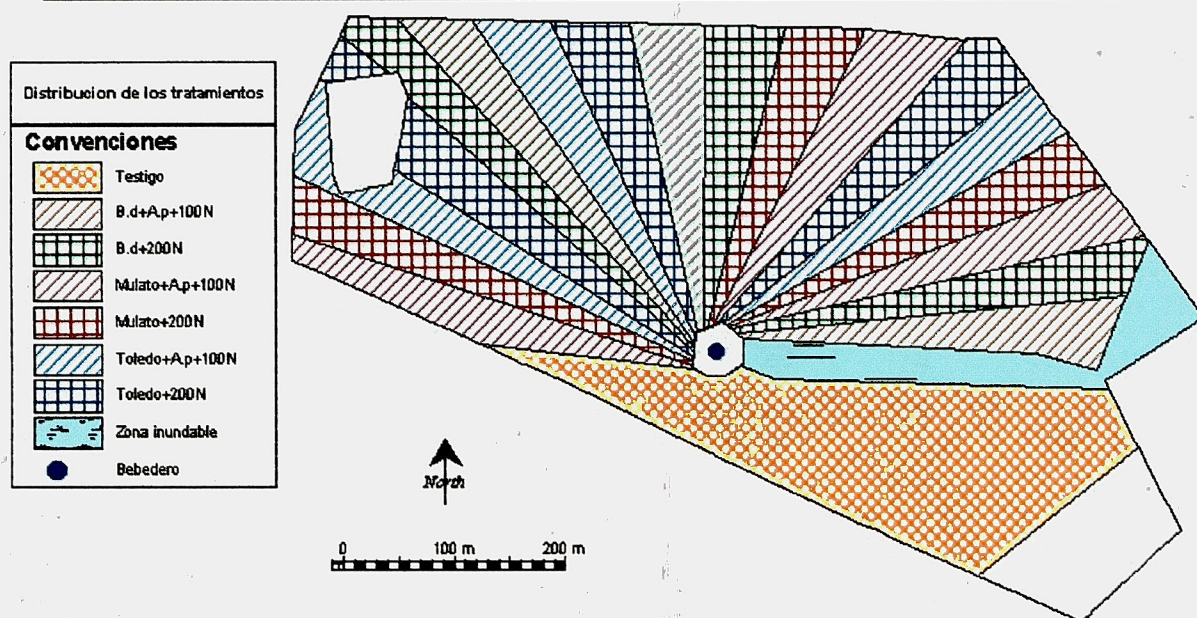
Estos tratamientos se establecieron en un sistema radial (figura 1) y las divisiones de los potreros se hicieron con cerca eléctrica.

El Híbrido de *Brachiaria* cv Mulato y el *Brachiaria brizantha* cv Toledo se utilizaron en este experimento por tratarse de materiales de alta producción y calidad nutritiva que se adaptan a suelos de buena fertilidad como los generados después de la siembra del maíz y por ser alternativas para intensificar la producción en estos sistemas. El *B. decumbens* por ser la gramínea forrajera más cultivada en el Piedemonte llanero se incluyó para ver capacidad de rendimiento cuando se establece con el cultivo de maíz.

Dada la capacidad del *A. pinto* para asociarse con gramíneas en estos suelos, se utilizó esta leguminosa, con una fertilización nitrogenada de 100 kg de N ha⁻¹, debido a que

gran parte del N aplicado sería aprovechado para la producción de grano de maíz en un periodo de cuatro meses tiempo de duración del ciclo del maíz.

Figura 1. Distribución de los tratamientos en el campo en forma radial. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero



1.3 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO

Antes de iniciar la labranza, se realizó un pastoreo con 100 novillos durante 10 días con el fin de disminuir la biomasa en el terreno para que se facilitara la acción de los implementos. Inicialmente se realizó 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.

La aplicación de enmiendas y fertilizantes se realizó teniendo en cuenta los resultados del análisis químico de los suelos y las exigencias de estos cultivos en suelos ácidos. La cal, 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 naturales de bajos costos y de lenta solubilidad que posteriormente será beneficioso para los pastos. Estos tres insumos fueron mezclados y aplicados 45 días antes de la siembra, con el fin de mejorar las condiciones de saturación de bases para el 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 por parte de los pastos, ya que por la lenta solubilidad de la roca fosfórica, el P no estaría disponible para las necesidades del cultivo de maíz, para lo cual se aplicó fosfato diamónico (DAP), fertilizante rápidamente disponible.

Para el cálculo de las dosis de cal a aplicar se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Cal (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{saturación de bases deseada} - \text{saturación de bases del suelo}) \times \text{C.I.C}}{\text{poder relativo de neutralización de la cal}}$$

Por la diversidad de cales, rocas y yesos que hay en el mercado con concentraciones variables que no corresponden a la información de las etiquetas, se realizó análisis químico de los insumos para determinar su concentración real.

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 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, en una hectárea se aplicó 555 kg de Ca, 88 kg de Mg, 79 kg de P, 75 kg de K y 44 de S.

El contenido de P en el suelo fue de solo 2 kg ha⁻¹ y el cultivo de maíz en suelos ácidos para tener un rendimiento de 4 t ha⁻¹ año⁻¹ requiere de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (CORPOICA, 2003) que fueron suministrados en el momento de la siembra con 150 kg ha⁻¹ de DAP. Con respecto al potasio, en el suelo se encontró 93 kg ha⁻¹ de K₂O y el cultivo requiere de 120 kg por lo tanto este nutriente fue aplicado con 100 kg ha⁻¹ de KCl en el momento de la siembra y 50 kg a los 15 días después de la siembra (dds), junto con la primera aplicación del N. El contenido de Mg en el suelo fue de 26 kg ha⁻¹ y las necesidades del cultivo son de 40 kg .ha⁻¹ las cuales fueron cubiertas con la cal dolomítica aplicada que contenía 88 kg ha⁻¹ de este elemento. Por su parte el S, solo se encontró 6 kg ha⁻¹ en el suelo y el cultivo necesita de 25 kg ha⁻¹, déficit que fue solucionado con el yeso agrícola aplicado. Para solucionar las deficiencias de los microelementos principales, se aplicó en el momento de la siembra 20 kg ha⁻¹ del producto Borozinco, cantidad que contenía 3000 g de Zn, 100 g de Cu, 500 g de B y 1200 g de S.

La única fuente de variación en fertilidad fue el nivel de N aplicado (100 y 200 kg de N ha⁻¹) y la presencia o no de *A. pintoii*. 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.

Las densidades de siembra utilizadas fueron:

Maíz: 25 kg ha⁻¹

Gramíneas forrajeras: 4 kg ha⁻¹

A. pintoi: 250 kg ha⁻¹ de material vegetativo

El maíz se estableció 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. En sentido perpendicular a la siembra del maíz. El tratamiento que incluyó el maní forrajero, se estableció a 80 cm de distancia entre surcos (en medio de los surcos del maíz) y a 80 cm entre plantas, colocando dos estolones por sitio de siembra, a los 20 días después de hecha la siembra del maíz y las gramíneas forrajeras.

Para el control de *Diatrea* spp se hizo control biológico a los 45 y 60 días dds, con una liberación de *Trichograma pretiosum* distribuyendo en todo el cultivo 100 pulgadas de huevos, de igual forma se liberaron 160 larvas de *Chrysoperla* spp (Crisopa) junto con la primera liberación de *Trichograma*. A los 15 dds se presentó un fuerte ataque de *Spodoptera frugiperda* en el cogollo de la planta del maíz, el cual fue controlado con una aplicación de 250 cc del insecticida inhibidor de kitina, Intrepid (Methoxyfenozide) mezclados con 30 kg de melaza y 300 L de agua, por hectárea. A los 30 días dds se hizo otro control de cogollero con una aplicación de 250 cc de del insecticida inhibidor de kitina Atabron EC. (Clorfluazuron) mezclados con 30 kg de melaza y 300 L de agua, por hectárea. Para la captura de adultos de *Spodoptera frugiperda* y de *Diatrea* spp se colocaron trampas en el perímetro del lote con una mezcla de agua con melaza.

1.4 EVALUACIONES

1.4.1 EVALUACIONES PREVIAS AL INICIO DEL EXPERIMENTO

Antes de iniciar las actividades de labranza, se hicieron evaluaciones en el suelo y en la pradera para saber la condición inicial y tener un punto de referencia para establecer los cambios ocasionados por la acción de los tratamientos aplicados.

1.4.1.1 Suelo

Características químicas: pH, materia orgánica, P, Ca, Mg, K, S, Al, Zn, B, Cu, disponibilidad de nitratos.

Características físicas: Densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, resistencia a la penetración, retención de humedad.

1.4.1.2 Pradera

Disponibilidad de forraje, composición botánica, cobertura y valor nutritivo (proteína cruda, FDN, FDA, P, Ca, Mg, K, S, B, Cu y digestibilidad *in vitro*).

1.4.2 EVALUACIONES DURANTE LA FASE DE ESTABLECIMIENTO DE LAS ESPECIES

La fase de establecimiento de los forrajes y de producción del maíz, comprendió aproximadamente cuatro meses, tiempo durante el cual se hicieron las siguientes evaluaciones:

1.4.2.1 En el suelo

Contenido de nitratos y amonio: entre los 0 y 20 cm de profundidad para determinar la disponibilidad de N aprovechable por la planta, en los siguientes momentos:

Después de labranza y antes de la siembra

A los 15 dds (después de la primera fertilización con N)

A los 35 dds de la siembra (después de la segunda fertilización con N)

A los 60 dds (inicio del llenado de grano)

Características químicas: pH, materia orgánica, P, Ca, Mg, K, S, Al, Zn, B y Cu.

Características físicas: Densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, resistencia a la penetración, retención de humedad.

Las evaluaciones de las características químicas, físicas (excepto densidad aparente) se realizaron después de la cosecha del maíz. La densidad aparente se evaluó al primero y segundo mes después de realizada la labranza y posteriormente después de la cosecha de maíz

1.4.2.2 En el cultivo de maíz

Germinación, altura de la planta, número de hojas por planta, área foliar, biomasa antes de la cosecha, materia seca en hojas, tallos y granos, Contenido de clorofila en las hojas, rendimiento de grano, biomasa de raíces.

Medidas fisiológicas: Índice de área folia., tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, índice de cosecha.

Para determinar la extracción de N por el cultivo, se evaluó el contenido de este elemento en la planta entera a los 15 y 35 días después de la siembra y al inicio de la floración en la planta entera, y en el grano al momento de la cosecha. Otra metodología que se aplicó para determinar el contenido de N en las hojas del maíz fue midiendo la intensidad del verde la cual está estrechamente asociada con el contenido de clorofila y ésta a su vez con la concentración de N en las hojas. La medición de la clorofila se realizó mediante el equipo Minolta SPAD 502.

1.4.2.3 En las especies forrajeras

Germinación, altura de la planta, cobertura, área foliar, peso fresco y peso seco del forraje, contenido de clorofila en las hojas, composición botánica, número de hojas, biomasa de raíces.

Medidas fisiológicas: Índice de área foliar, tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo.

Para determinar los parámetros fisiológicos de crecimiento del maíz y de las especies forrajeras se recogieron como muestras cinco plantas por cada especie vegetal en sus respectivas replicaciones, a partir de los 15 días después de la emergencia del cultivo, se midió el área foliar y el peso seco cada 15 días.

El contenido de N en las hojas de las especies forrajeras, se evaluó en el momento de la cosecha del maíz.

Para evaluar la distribución de las raíces de la asociación maíz-pastos, se utilizó el método del Perfil del suelo (Bohm, 1979), que consistió en la apertura e una calicata en el suelo en un plano transversal a la posición de las raíces de una planta de maíz y de pasto en una longitud de 80 cm y a una profundidad de 60 cm. Una vez abierta la calicata se procedió a suavizar y nivelar la cara expuesta a la calicata y posteriormente la remoción de una capa de suelo de 3 a 5 mm de grosor por medio de un punzón, con el propósito de exponer las raíces y hacerlas visibles para su conteo y mapeo usando un marco cuadrículado o malla en la cual se registraron el número de raíces presentes en cada cuadrícula.

Para determinar la biomasa de raíces en la asociación del maíz con los pastos se empleó el método del monolito (Bohm, 1979), para lo cual se extrajo el volumen de tierra en un área de 80 x 40 cm y una profundidad de 30 cm. Esta tierra fue lavada para obtener la cantidad de raíces presentes en este volumen de tierra (0.096 m^3)

Para establecer relaciones entre la producción y los factores climáticos, se tomó información de precipitación, temperatura, brillo solar y radiación.

1.4.3 EVALUACIÓN PRODUCTIVA DE LAS PRADERAS CON BOVINOS

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 $242 \text{ kg animal}^{-1}$ (edad entre 1 y 1.5 años). Se estableció un sistema de pastoreo rotacional en las tres replicaciones, 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.

1.4.3.1 Suelo

Al finalizar el establecimiento de las especies forrajeras (inicio del pastoreo) y al finalizar el período de pastoreo se evaluaron las siguientes características químicas del suelo: pH, materia orgánica, P, Ca, Mg, K, S, Zn, B, Cu; al igual que las características físicas: Densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, resistencia a la penetración, humedad y retención de humedad. La densidad aparente del suelo se evaluó al inicio del pastoreo durante tres meses seguidos y finalmente al año, con el fin de hacer un seguimiento al efecto del pisoteo del ganado en la compactación del suelo.

Para determinar la disponibilidad de N en el suelo bajo pastoreo, se evaluó el contenido de nitratos y amonio al inicio del pastoreo y luego a los ocho meses.

1.4.3.2 Desarrollo y 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. Las evaluaciones de desarrollo y producción de forraje bajo pastoreo, se realizaron durante 3 veces en la época lluviosa y dos veces en la época seca. Estas evaluaciones se hicieron durante los 7, 14, 21 y 28 días tiempo durante el cual la pradera permaneció en descanso. Se tomó información sobre masa seca, área foliar, altura de planta, cobertura. Con estos datos se calcularon los parámetros fisiológicos tasa de crecimiento del cultivo, tasa de crecimiento relativo, tasa de asimilación neta, índice de área foliar.

Después del pastoreo se midió el forraje residual que dejan los animales, con respecto a masa seca, altura de planta, composición botánica, cobertura.

1.4.3.3 Calidad nutritiva del forraje

Al finalizar los 28 días del periodo de descanso y antes de entrar los animales a pastoreo, se evaluó calidad nutritiva del forraje mediante fraccionamiento de la proteína cruda, fraccionamiento de los carbohidratos estructurales y solubles, digestibilidad, FDN, FDA y lignina, P, Ca, Mg, S, Zn, B, Cu.

En la tabla 1, se encuentran relacionados los análisis realizados y la metodología empleada.

Tabla 1. 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
Fósforo	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.
Proteína cruda	Micro-kjeldahl
Fibra en detergente neutro – FDN	Van Soest., P.J. and Wine R.H. 1967
digestibilidad “in situ” de la materia seca	bolsa de nylon utilizando animales fistulados
fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, en forraje	espectrofotometría.
Nitratos y amonio	Kjeldahl
Área foliar	Por medio de planímetro Licor 3000
Clorofila	medidor de clorofila Minolta SPAD 502
Fraccionamiento de proteínas y carbohidratos no estructurales	Cornell Net carbohydrate and protein system
Textura	Bouyucos
Densidad aparente	Cilindro (Coile 1936, citado por IGAC, 1990)
Densidad Real	Pignómetro IGAC, 1990)

1.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System). A las variables de respuesta fisiológica se evaluarán mediante un análisis de estadísticas descriptivas; en tanto que para las demás variables se realizaron los análisis de varianza respectivos. Para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey. Para la determinación de estadísticas descriptivas y ecuaciones de regresión se utilizó el programa Excel.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 COMPORTAMIENTO DEL CLIMA

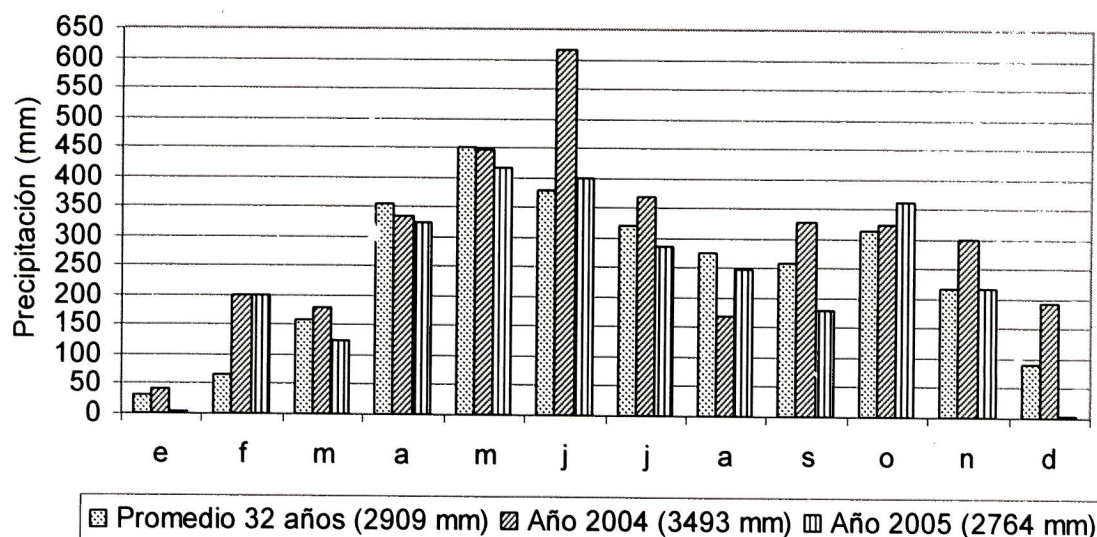
2.1.1 PRECIPITACIÓN

El año 2004 se caracterizó por presentar mayor cantidad de lluvia (3493 mm) con respecto al promedio de 32 años (2908 mm), encontrándose la mayor diferencia en los meses de febrero, junio y septiembre, durante los cuales se superó al promedio de estos meses en 135, 237 y 71 mm respectivamente (figura 2). Sin embargo, en el mes de agosto la precipitación disminuyó a 170 mm constituyéndose el segundo mes más seco del año después de enero, hecho que facilitó la realización de la siembra del experimento.

En el año 2005, la precipitación total fue de 2764 mm, inferior en 145 mm con respecto al promedio de 32 años, no obstante, durante el mes de febrero la precipitación fue superior en más de tres veces con respecto al promedio de años anteriores. En los meses siguientes, las lluvias fueron ligeramente inferiores con excepción del mes de junio que fue superior en 19 mm con respecto al promedio de la región.

Durante el ciclo del cultivo (Agosto a diciembre) se presentó una disponibilidad de 1313 mm de agua, superior en 160 mm con respecto al promedio de los años anteriores que ha sido de 1153 mm en el segundo semestre del año. 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 citado por Lafitte, 2002). El bióxido de carbono ingresa a la planta a través de los estomas de las hojas, y por estas mismas aberturas sale el agua transpirada por la planta, motivo por el cual la temperatura de la hoja es generalmente un poco más baja que la temperatura ambiental. Cuando la transpiración está limitada por el cierre de los estomas, ocurren efectos que pueden afectar el rendimiento de la planta como es el aumento de la temperatura en la hoja y reducción de la fotosíntesis por falta de CO₂ (Salisbury y Ross, 1994, Lafitte, 2002). De acuerdo a la disponibilidad de agua para la asociación maíz-pastos que fue de 1312 mm durante el segundo semestre del año 2004 y considerando que el cultivo de maíz requiere de al menos 500 mm de agua bien distribuidos (Lafitte, 2002), no se presentó deficiencia de agua que pudiera afectar los rendimientos de grano.

Figura 2. Precipitación en el Piedemonte Llanero (C.I. La Libertad) durante los años 2004 y 2005 comparada con el promedio de 32 años.



2.1.2 TEMPERATURA

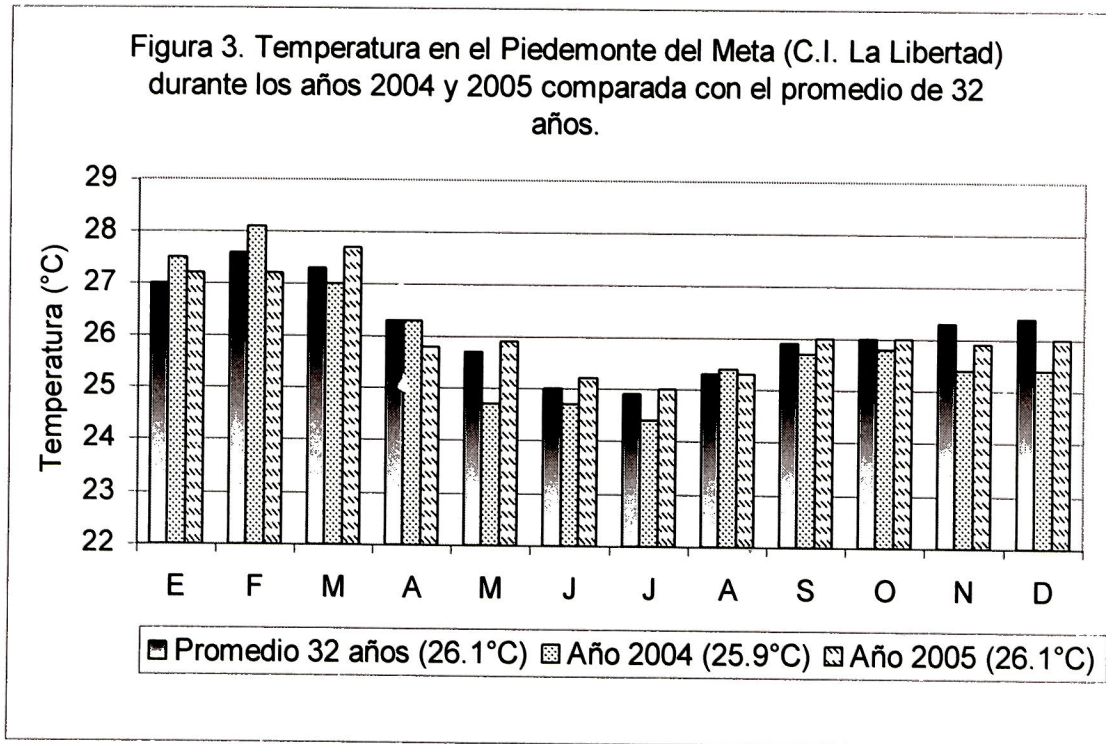
Contrario a lo ocurrido con la precipitación, durante el año 2004 la temperatura fue menor especialmente durante los meses de noviembre y diciembre. La temperatura en este año fue de un grado menos (25.5 °C) con respecto a los 26.5 °C del promedio del C.I. La Libertad (figura 3). Es importante destacar que la temperatura mínima fue constante en 22 °C mientras que la temperatura máxima estuvo alrededor de 27.5 °C. Estas temperaturas se consideran adecuadas para un buen desarrollo del maíz. (figura 4)

Durante el año 2005, la temperatura en los cuatro primeros meses presentó alguna fluctuación, porque en febrero y abril fue inferior en 0,4 °C con respecto al promedio de 32 años, en tanto, en marzo fue superior en 0,4 °C. Desde mayo hasta septiembre la temperatura fue similar al promedio de 32 años, ubicándose en el rango de 25 y 26°C

La temperatura y la radiación solar son dos de los principales factores ambientales que gobiernan los procesos ecofisiológicos y metabólicos en las plantas. El régimen térmico es un importante regulador tanto del crecimiento como del desarrollo vegetal. Las tasas de aparición de hojas, de expansión foliar, la duración del área foliar y la senescencia son dependientes de la temperatura (Correa, 1984). En los cereales, las altas temperaturas aceleran la senescencia foliar, reduciendo la duración del periodo de llenado de granos y con ello el rendimiento (Fuenzalida *et al.*, 1985).

La fotosíntesis y el desarrollo del maíz alcanzan las mayores tasas cuando la temperatura es del orden de 30 a 33°C. La fotosíntesis depende fundamentalmente de la temperatura foliar diurna, en cambio el desarrollo depende del régimen térmico diario. Por ello, entonces un régimen diurno cálido acompañado de temperaturas nocturnas bajas, favorece el crecimiento sin acelerar en la misma proporción el ritmo del desarrollo del

cultivo. La producción de grano disminuye cuando las temperaturas nocturnas son altas. Entonces se puede lograr un alto crecimiento y rendimiento al tener condiciones de alta luminosidad, temperaturas diurnas moderadamente altas y noches frescas. (Duncan, 1975, Santibáñez y Fuenzalida, 1889).

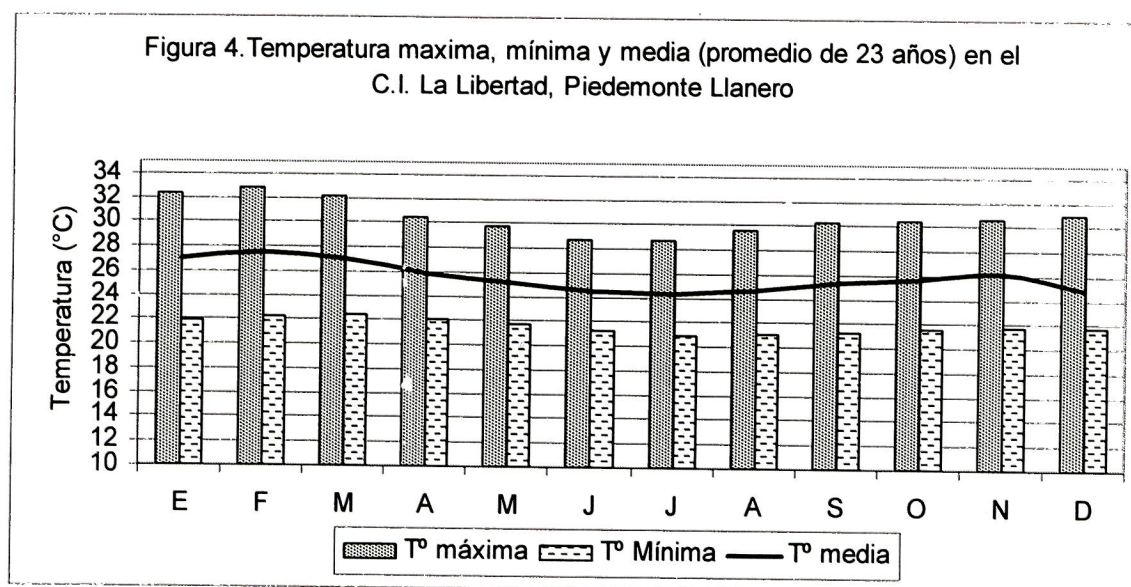


Todos los procesos fisiológicos y funciones de las plantas se llevan a cabo dentro de ciertos límites de temperatura relativamente estrechos. En general la vida activa de las plantas superiores se ubica entre 0 y 50°C. Estos límites varían mucho de una especie a otra. Los procesos fisiológicos que se efectúan dentro de una planta tales como la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento, responden con frecuencia en forma diferente a la temperatura. Es práctica común estimar la duración de un proceso fisiológico en función del tiempo térmico medido en grados-día. Toda planta para completar su ciclo vegetativo debe acumular cierto número de grados de temperatura (Squire, 1990 citado por Lafitte, 2002). Norman *et al.*, 1995 afirman que las tasas máximas de fotosíntesis en el maíz tropical se encuentran entre 30 y 40°C. El efecto de la temperatura sobre la eficiencia de conversión en el rango de 20 a 40°C es relativamente pequeño pero las temperaturas fuera de este rango de adaptación del cultivar (por debajo de 15°C o por encima de 44°C para maíz tropical de tierras bajas) también pueden reducir la eficiencia de conversión. Teniendo en cuenta esta consideración, la temperatura umbral mínima en la cual la planta comienza a crecer en el trópico bajo es de 15°C y las temperaturas máximas y mínimas ocurridas durante los meses de desarrollo del cultivo (agosto a noviembre del año 2004), se calculó los grados día acumulados durante el ciclo del cultivo del maíz en asociación con los pastos, de acuerdo a la siguiente fórmula propuesta por Constable y Shaw, 1988, citados por Medina, 2003:

$$\text{Grados día} = (\text{Temp. Máx.} - 15^{\circ}\text{C}) + (\text{Temp. Min.} - 15^{\circ}\text{C})/2$$

Mes	T° máxima	T° Mínima
Agosto	29,6	21,0
Septiembre	30,2	21,3
Octubre	30,5	21,5
Noviembre	30,6	21,8

Reemplazando estas temperaturas en la fórmula, se llegó a la conclusión que la asociación maíz-pastos, durante el ciclo del cultivo presentó una acumulación de 1298 grados día.

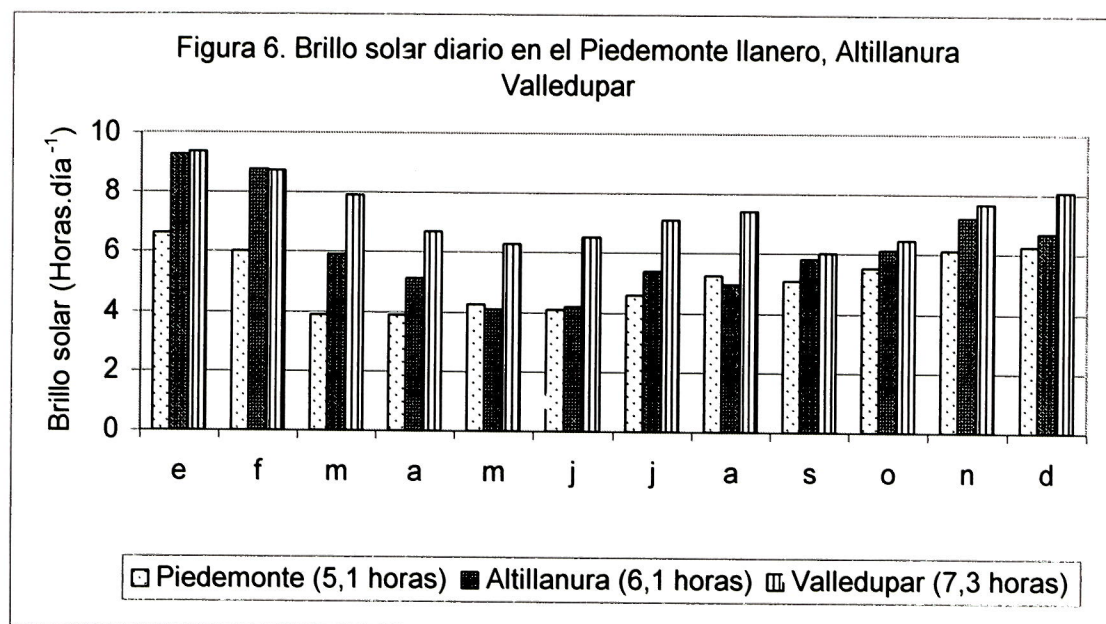
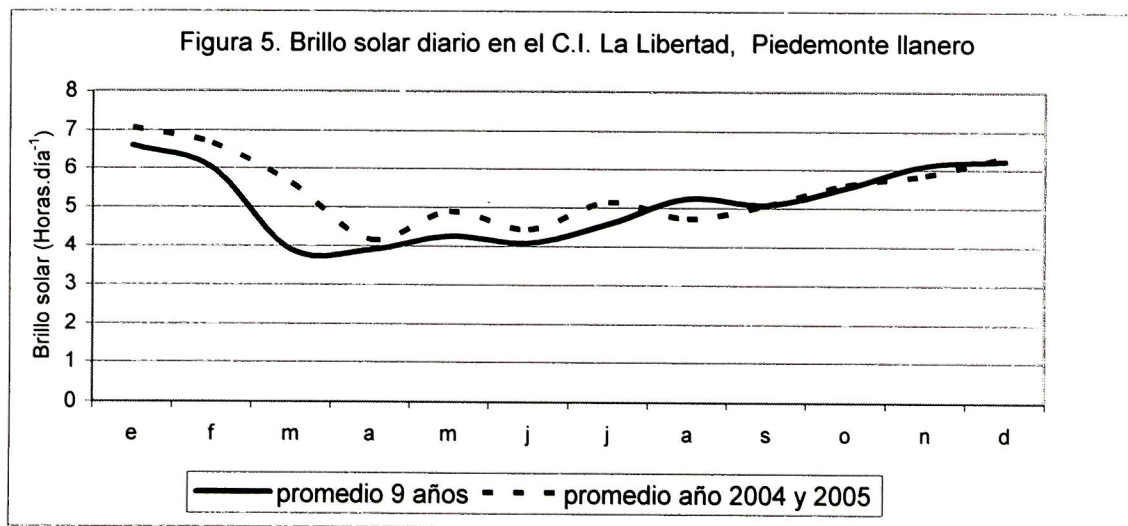


2.1.3 BRILLO SOLAR

En el Piedemonte llanero el brillo solar ha sido de 5.7 y 4.9 horas día⁻¹ en las épocas seca y lluviosa respectivamente. En los años 2004 y 2005, en los cuales se ejecutó el experimento, se encontró que en la época seca se aumentó a 6.4 horas día⁻¹ en los dos años mientras que en la época lluviosa el brillo solar fue de 5.2 horas día⁻¹ en el año 2004 y 4.8 horas día⁻¹ en el 2005 (figura 5).

El comportamiento del brillo solar en julio y agosto del 2004, meses en los cuales se realizaron las actividades de preparación de suelos y siembra, fue inverso a la cantidad de lluvia, es decir que en estos meses se presentó menos lluvia y más brillo solar, hecho que favoreció la ejecución de estas actividades. El promedio de brillo solar diario de 32 años durante los meses de julio y agosto, ha estado entre 4 y 5 horas, mientras que del 2004 fue de 7 y 6 horas respectivamente. Durante el ciclo de cultivo que fue entre los meses de agosto y noviembre del año 2004 el promedio de brillo solar fue de 5.7 horas día⁻¹ y un total de 680 horas de brillo solar.

En las condiciones de Piedemonte llanero donde la alta nubosidad influye en el brillo solar, hacen que este parámetro importante para el desarrollo de las plantas sea bajo en comparación con otras regiones del país. La información del IDEAM (2004) reporta que en el Piedemonte llanero el promedio diario de brillo solar es de 5.1 horas, en tanto en la Altillanura colombiana es de 6.1 horas y en una región de la Costa Atlántica (Valledupar) es de 7.3 horas. De acuerdo a esta información, se tiene que en el Piedemonte llanero las plantas tienen 364 y 812 horas de brillo solar menos con respecto a la Altillanura y a Valledupar respectivamente. (Figura 6)

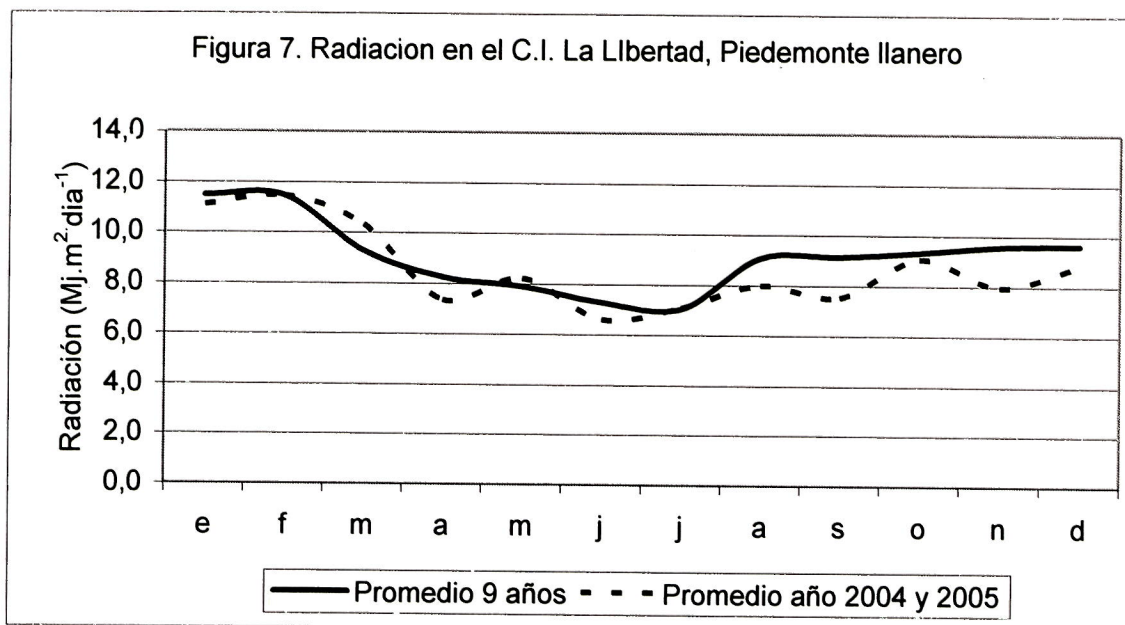


2.1.4 RADIACIÓN

La radiación diaria en los trópicos varía de $10 \text{ MJ m}^2 \text{ día}^{-1}$ en zonas nubosas a $25 \text{ MJ m}^2 \text{ día}^{-1}$ en zonas semiáridas durante la estación seca. En el Piedemonte llanero el promedio de radiación de los últimos nueve años, ha sido de $9.1 \text{ MJ m}^2 \text{ día}^{-1}$ mientras que el promedio de los años 2004 y 2005 fue de $8.6 \text{ MJ m}^2 \text{ día}^{-1}$. (Figura 7)

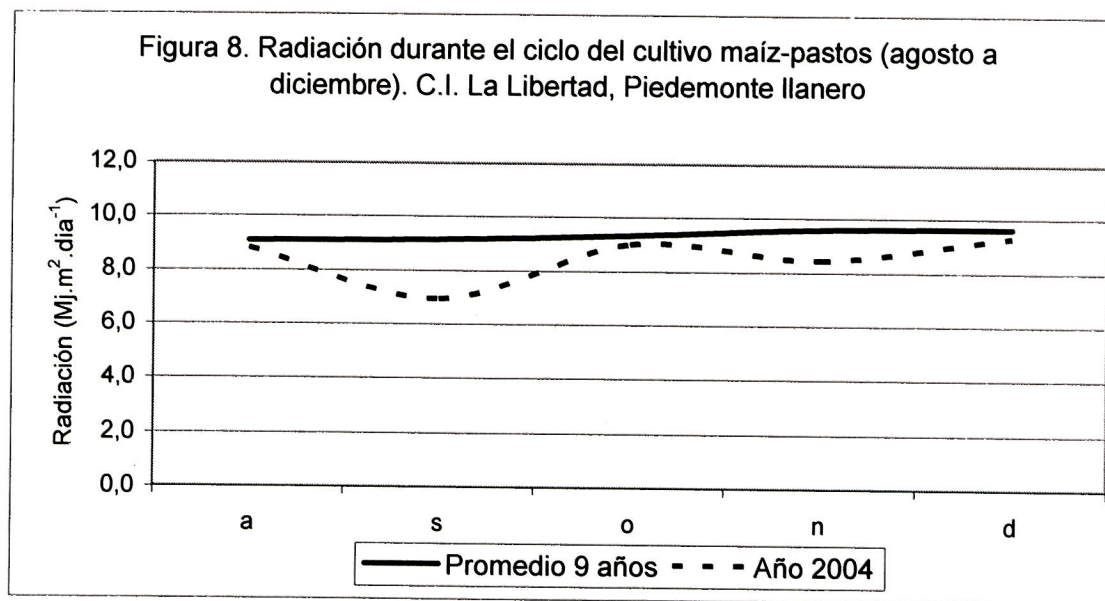
Un maíz sin estrés sembrado a altas densidades puede interceptar alrededor del 55% del total de la radiación recibida en el periodo del cultivo. Se ha informado de eficiencias de conversión para cultivos de maíz sin estrés, que van de 1,2 a 1,6 g de biomasa por encima de la superficie de la tierra por cada MJ de radiación solar interceptada (Muchow, 1994 citado por Lafitte, 2002). Bajo buenas condiciones en zonas templadas y sin estrés, el maíz puede crecer a razón de $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ durante varias semanas, resultando así en una alta productividad. En áreas tropicales con mayores temperaturas y días más cortos se han obtenido tasas de crecimiento de 250 a $350 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Fisher y Palmer, 1984 citado por Lafitte, 2002). El maíz y los pastos tropicales presentan un proceso fotosintético C4 lo cual les proporciona el beneficio de la continua respuesta al incremento de la radiación hasta la plena luz con bajos niveles de fotorespiración.

La radiación promedio en el segundo semestre agrícola (agosto a noviembre) en el Piedemonte llanero ha sido de $9.3 \text{ MJ m}^2 \text{ día}^{-1}$ la cual es superior a la presentada en el primer semestre agrícola (abril a julio) la cual ha sido de $7.5 \text{ MJ m}^2 \text{ día}^{-1}$, de acuerdo a esta información, se pueden obtener mejores rendimientos de plantas C4 como el maíz, en el segundo semestre del año por la mayor radiación y brillo solar además por la buena disponibilidad de agua, sin embargo, estos rendimientos pueden ser afectados por la mayor incidencia de plagas en cultivos establecidos en el segundo semestre.



Durante los meses de desarrollo y acumulación de materia seca del cultivo de maíz asociado con pastos (agosto a noviembre del año 2004) La radiación promedio fue de 8.5

$\text{Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ menor en $0.8 \text{ Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ con respecto al promedio de la región y con una fluctuación que estuvo entre 7 y $9 \text{ Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (figura 8). Con esta radiación y asumiendo una producción de 1.2 g por cada Mj interceptado, se tiene que durante el periodo de llenado de la mazorca que es de 40 días aproximadamente, la producción promedio de maíz fue de 4 t ha^{-1} , durante el segundo semestre del año 2004, en condiciones del Piedemonte llanero.



2.2 CONDICIONES ANTES DE LA LABRANZA

2.2.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO ANTES DE INICIAR LABRANZA

Las condiciones de suelo en donde se estableció el experimento corresponden a una terraza media del Piedemonte llanero, que se clasifican como oxisoles con características de alta acidez intercambiable a lo cual contribuye el buen contenido de aluminio. El contenido de materia orgánica es de 2,2% la cual aportaría 53 kg ha^{-1} de N anualmente a una profundidad de 20 cm y una densidad aparente de $1,2 \text{ g cc}^{-1}$, considerando que se mineralice el 2% de esta materia orgánica. Uno de los elementos más bajos en los oxisoles es el fósforo, caso que se corrobora en este suelo que contiene solamente 1 ppm. De las bases intercambiables solo el potasio se encontró en un contenido medio ($0,10 \text{ me } 100 \text{ g suelo}^{-1}$) y el sodio en un contenido adecuado ($0,26 \text{ me } 100 \text{ g suelo}^{-1}$), en tanto el calcio y el magnesio mostraron ser muy deficientes, dando como resultado una saturación de bases de 24.7%. La saturación de aluminio fue cercana al 70%. De igual forma los microelementos con excepción del hierro, son deficientes especialmente el cobre y el zinc.

Los datos de la tabla 2 demuestran la poca variabilidad en el contenido de nutrientes tanto los elementos mayores como los elementos menores, teniendo en cuenta que se tomaron tres repeticiones en toda el área y para cada repetición se tomaron 10

submuestras. Con estos resultados fue necesario aplicar correctivos al suelo para dar las condiciones adecuadas para el buen desarrollo del cultivo de maíz.

Tabla 2. Características químicas del suelo en donde se estableció el experimento, terraza media, C.I. La libertad Piedemonte llanero

Parámetro	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
Textura	FA	FA	FA	FA
pH	4.5	4.4	4.3	4.4
Materia orgánica (%)	2.2	2.2	2.4	2.26
Fósforo (ppm)	1	1	1	1
Acidez interc. (me/100 g)	2.5	2.5	2.8	2.6
Aluminio (me/100 g)	2.0	2.0	2.4	2.13
Calcio (me/100 g)	0.39	0.30	0.44	0.37
Magnesio (me/100 g)	0.12	0.10	0.12	0.11
Potasio (me/100 g)	0.14	0.07	0.10	0.10
Sodio (me/100 g)	0.26	0.24	0.30	0.26
Azufre (ppm)	3	3	3	3
Hierro (ppm)	138	114	127	126
Boro (ppm)	0.21	0.13	0.26	0.20
Cobre (ppm)	0.8	0.9	0.8	0.83
Manganeso (ppm)	1.6	3	4	2.8
Zinc (ppm)	0.4	0.6	0.6	0.53
C.I.C. efectiva	3.4	3.2	3.8	3.46
Saturación de bases (%)	26.7	22.2	25.3	24.7
Saturación de aluminio (%)	68.7	73.8	71.4	71.3

Las enmiendas utilizadas, cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola fueron analizadas en el laboratorio para determinar la veracidad de los contenidos de los elementos, reportados en las etiquetas de cada producto, encontrándose algunas diferencias (tabla 3). En el caso de la cal dolomítica, si bien el contenido de Ca obtenido en el análisis hecho en el laboratorio, fue superior en 1% a lo reportado en la etiqueta del fabricante, con el Mg sucedió todo lo contrario, ya que de 14% reportado en la etiqueta, en el análisis solo dio 5.9%. La roca fosfórica si cumplió con lo reportado en la etiqueta pues los valores del análisis de laboratorio fueron superiores, tanto en el contenido de Ca como en el contenido de P, en cambio el yeso agrícola presentó menos contenido de Ca y S con respecto al valor de la etiqueta de este producto.

Tabla 3. Comparación del contenido de los elementos en las enmiendas teniendo en cuenta el valor real (resultado de análisis de laboratorio) y en valor reportado en la etiqueta de cada producto.

Elemento	Cal dolomítica		Roca fosfórica		Yeso agrícola	
	Valor real (%)	Valor etiqueta (%)	Valor real (%)	Valor etiqueta (%)	Valor real (%)	Valor etiqueta (%)
Ca	26.6	25.6	24.9	22.8	18.5	24.4
Mg	5.9	14				
S					14.8	19.5
P			12.5	9.6		

2.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO ANTES DE INICIAR LABRANZA

Las características físicas de este suelo sometido durante varios años al pastoreo, mostraron ser mejores en los primeros 10 cm de profundidad del suelo ($P < 0.05$), en cuanto a porosidad (46%) valor relacionado con la densidad aparente (1.36 g cc^{-1}) y la densidad real (2.53 g cc^{-1}). A medida que se profundizó en el perfil del suelo, la densidad aparente se incrementó hasta 1.56 g cc^{-1} , sin embargo, las diferencias no fueron significativas ($P < 0.05$) a profundidades entre 10 a 20 cm y entre 20 a 30 cm. (tabla 4).

La saturación de humedad fue mayor en los primeros 10 cm del perfil del suelo y esta fue disminuyendo a mayor profundidad, del mismo modo la liberación de agua del suelo a una tensión de 0.1 bar fue mayor en las capas superficiales, lo cual nos indica que la mayor cantidad de movimiento del agua se presenta en los macroporos.

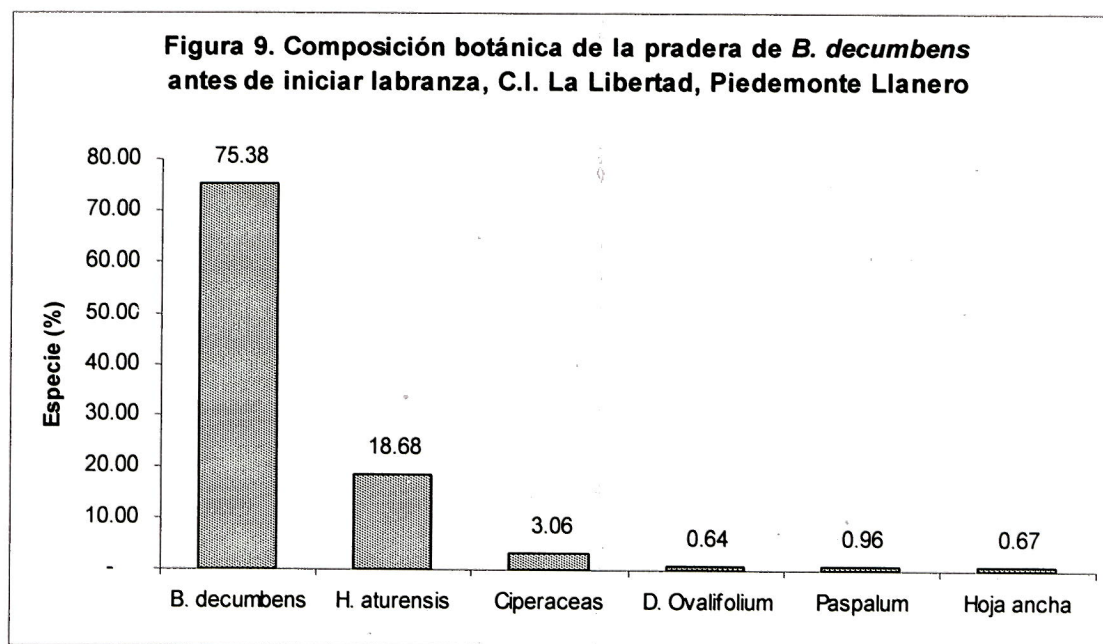
Tabla 4. Características físicas del suelo antes de iniciar la labranza

Profundidad (cm)	Saturación de humedad (%)	Tensión de humedad a 0.1 bar	Densidad aparente (gr/cc)	Densidad real (gr/cc)	Porosidad (%)
0 - 10	31.2 a	24.4 a	1.36 b	2.53 b	46.0 a
10 - 20	26.6 ab	21.3 ab	1.49 a	2.67 a	44.2 ab
20 - 30	24.2 b	19.8 b	1.56 a	2.63 ab	40.1 b
C.V	7.9	7.9	3.1	2.5	4.2
D:M.S.	4.7	3.7	0.09	0.14	3.9

Valores en columnas con letras iguales no difieren significativamente ($p < 0.05$) Tukey

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PRADERA ANTES DE INICIAR LABRANZA

El área seleccionada para el establecimiento del experimento estaba constituida por una pradera de *B. decumbens* de bajo vigor, con escasa disponibilidad de forraje y regular calidad nutritiva, con invasión de otras especies como la dormidera (*Mimosa púdica*), maciega (*Paspalum virgatum*), paja comino o grama amarga (*Homolepis aturensis*). Después de un periodo de descanso de 30 días la disponibilidad de forraje obtenida fue de solo 478 KgMS ha⁻¹, similar a las producciones obtenidas en las praderas degradadas de la región (Rincón, 1998), mientras que en praderas en buen estado con el mismo periodo de descanso puede obtenerse en promedio 1500 KgMS ha⁻¹. Sin embargo, la especie dominante en la composición botánica fue *B. decumbens* con un 75% mientras que la otra especie de mayor presencia fue el *Homolepis aturensis* con 19%. (Figura 9)



La calidad nutritiva del *B. decumbens* con una edad de 30 días de rebrote muestra un nivel aceptable de proteína cruda (8.9 %) sin embargo otros parámetros como la fibra total (FDN) es superior al 60%, de la cual la mitad corresponde a la lignina y a la celulosa (FDA) difícilmente degradable en el rumen de los bovinos. Con respecto a los minerales, se presentó una gran deficiencia de fósforo y calcio, los contenidos de 0,018% de P y 0,19% de Ca se constituyen en serios limitantes para el desarrollo de los bovinos, considerando que para la producción de ganado de carne los contenidos mínimos de estos elementos en el forraje debe ser de 0,20% y 0,30% en el mismo orden. El potasio y el magnesio encontrados en el forraje, si llenan los requerimientos de los bovinos de ceba y el azufre es deficiente. (Tabla 5)

Tabla 5. Calidad nutritiva del *B. decumbens* (%) antes de iniciar las actividades de recuperación.

Parámetro	Valor
Proteína cruda	8,9
FDN	63,2
FDA	31,4
Degradabilidad	57,2
Materia orgánica	90,9
Fósforo	0,018
Potasio	1,05
Calcio	0,19
Magnesio	0,18
Azufre	0,09

2.3 ESTABLECIMIENTO DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ-PASTOS

A los seis días después de la siembra de las especies, la germinación del maíz fue del 80% con una población inicial de 56.000 plántulas por hectárea. La germinación de los pastos fue más lenta que la del maíz, por tal motivo a los 6 días de realizada la evaluación solo se encontró 2.5 plántulas m^{-2} . En este corto periodo de establecimiento, se obtuvo la siguiente información:

Numero de plantas de maíz m lineal⁻¹: 4.5
 Altura de la planta de maíz: 9 cm
 Número de hojas planta⁻¹ de maíz: 4
 Número de plántulas de pasto m^{-2} : 2.5

A los 50 días después de realizada la siembra se hizo una evaluación de población de maíz, encontrándose un promedio en todos los tratamientos de 4 plantas m lineal⁻¹. A esta edad todas las plantas tenían un promedio de 10 hojas planta⁻¹ con excepción del tratamiento de maíz + pasto Toledo + 100 Kg ha^{-1} de N, que presentó 11 hojas planta⁻¹, además fue el tratamiento en donde las plantas tenían mayor altura (1.58 m) y donde se presentó mayor población de la especie *Mimosa pudica* (dormidera), que es considerada como maleza en potreros. La mejor cobertura del suelo se presentó en los tratamientos con el pasto *B. decumbens*, a lo cual contribuyó el desarrollo de macollas de este pasto provenientes del material original, del cual estaba constituida la pradera degradada donde se hizo la siembra de las asociaciones, sin embargo en las otras asociaciones la cobertura del suelo no alcanzó el 50% considerando que las especies solo tenían 50 días de sembradas. (Tabla 6).

El mayor desarrollo del pasto dentro del cultivo de maíz ocurrió en los tratamientos correspondientes al *B. decumbens*, en donde la mayor población provenía de cepas que

rebrotaron después de la labranza. Los pastos Mulato y Toledo que tenían un 50% de germinación en pruebas realizadas antes de la siembra, presentaron una población entre 5 y 7 plantas m², que es considerada como buena para el establecimiento de pastos.

Tabla 6. Población, desarrollo del maíz, plantas de dormidera (*Mimosa pudica*) y cobertura en los tratamientos de maíz-pastos, a los 50 días después de la siembra. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Tratamiento	Plantas de maíz (N°m lineal ⁻¹)	Hojas de maíz (N°planta ⁻¹)	Altura planta de maíz (m)	Plantas dormidera (N m ⁻²)	Cobertura (%)
Maíz+ <i>B.decumb.</i> +100N	3.95 a	10.58 b	1.60 ab	2.6 bc	58.3 ab
Maíz+ <i>B. decumb.</i> +200N	3.91 a	10.04 b	1.53 bc	1.8 c	72.9 a
Maíz +Mulato +100N	3.87 a	10.20 b	1.45 cd	3.0 abc	51.0 b
Maíz +Mulato +200N	4.08 a	10.00 b	1.40 d	3.3 abc	47.3 b
Maíz +Toledo +100N	3.95 a	11.30 a	1.68 a	4.6 a	46.6 b
Maíz +Toledo +200N	4.00 a	10.04 b	1.50 bcd	3.8 ab	44.0 b
C.V.	15.8	10.4	13.2	91.1	28.4
D:M:S:	0.52	0.90	0.16	2.4	23.7

Valores en Columnas con letras iguales no difieren significativamente (p<0.05) Tukey

2.4 CONTENIDO DE NITRATOS Y AMONIO EN EL SUELO

Antes de iniciar la labranza se midió el contenido de nitratos en el suelo a una profundidad de 20 cm encontrándose unos valores promedios de 0.10 mg Kg⁻¹ equivalentes a menos de 0.05 Kg ha⁻¹ de N a partir del nitrato. El contenido de N en forma de amonio estuvo en 7.5 mg Kg⁻¹ equivalente a 11.6 Kg ha⁻¹ de N. Estos bajos contenidos demostraron una deficiencia de N manifestada en la clorosis y escaso vigor del pasto *B. decumbens*. A este bajo contenido de N, contribuye el bajo contenido de materia orgánica de este suelo.

Después de realizada la labranza del suelo y antes de la siembra, se determinó el contenido de amonio y nitratos en este 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. El aumento de N disponible fue apreciable con la aplicación de la labranza del suelo, el cual hacia más de 15 años no era sometido a esta práctica. El maíz es una planta que toma el N en forma de nitratos principalmente (Cramer and Lewis, 1993), se ha calculado que para la producción de 1 t ha⁻¹ de grano se requiere de 25 Kg de N disponible (Salvagiotti y otros 2000), es decir que para lograr una producción de 4 t ha⁻¹ de grano se necesita 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 las evaluaciones realizadas a los 15 días después de la siembra, 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 ($p < 0.05$) en los contenidos de las dos fuentes de N (Tabla 7). A los 35 dds, cuando ya se había hecho la segunda fertilización con urea, los contenidos de nitrato y amonio en el suelo tampoco se 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 de nitrato y 54.9 mg kg⁻¹ de amonio.

Tabla 7. 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

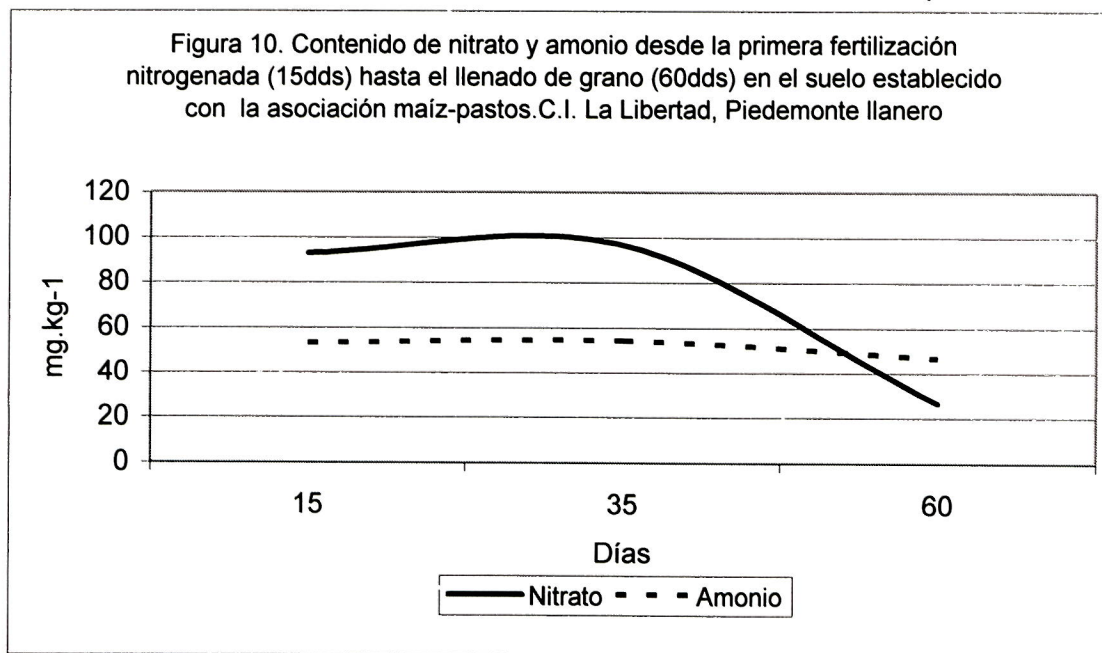
Pasto	Nitrato (mg kg ⁻¹)			Amonio (mg kg ⁻¹)		
	15 dds	35 dds	60 dds	15 dds	35 dds	60 dds
<i>B. decumbens</i>	90.1	93.3	18.7	55.2	60.7	42.0
Mulato	93.4	93.3	28.0	53.3	52.3	51.3
Toledo	95.3	102.7	32.7	51.3	51.7	46.7
Nitrógeno:						
100 kg ha ⁻¹	69.5	99.5	28.6	46.6	46.7	43.5
200 kg ha ⁻¹	93.4	93.3	24.9	62.1	62.2	49.8
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns

A los 60 dds edad del cultivo de maíz, cuando este 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, y el promedio fue de 26.4 mg kg⁻¹ de nitrato. En contenido de amonio a los 30 dds tampoco vario significativamente entre las tres asociaciones, obteniéndose un promedio de 46.6 mg Kg⁻¹

El cultivo dispuso de 93 mg kg⁻¹ a la edad de 15 días cuando el maíz se encontraba en buen desarrollo vegetativo y de 96 mg kg⁻¹ a los 35 días época en la cual se inició la floración. Sin embargo, los valores de NO₃ en el suelo descendieron hasta 26.4 mg kg⁻¹ a los 60 días, fecha de 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 de los tejidos vegetativos a la mazorca durante el proceso de llenado del grano varia considerablemente, habiéndose informado de un rango de 20 a 60% del N total del grano derivado de la absorción antes de la antesis. El N depositado en el tallo es el que se moviliza primero hacia la mazorca y la cantidad de N movilizado depende del cultivar, de la cantidad y del momento de la aplicación del N como fertilizante (Lafitte, 2002, Binkley and Vitousek, 1992, 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 10). 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 catiónico 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.



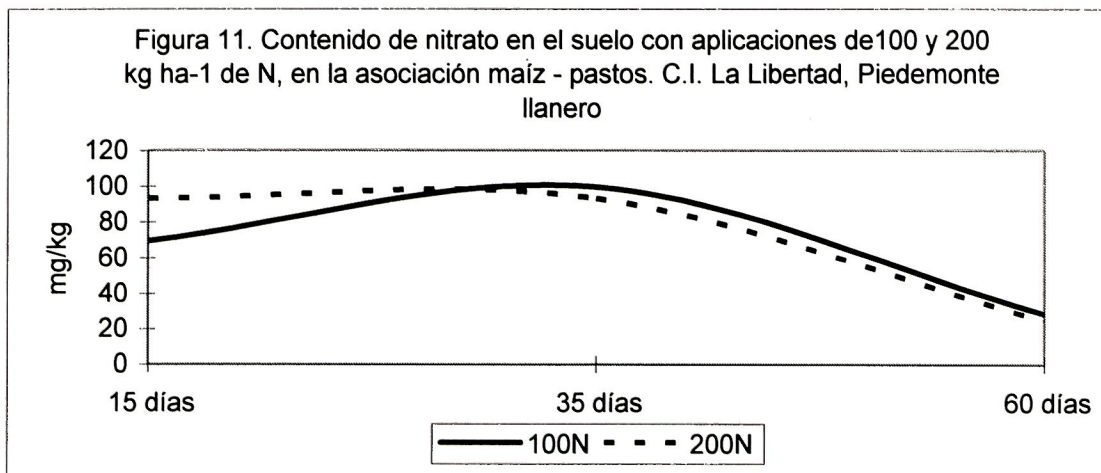
El maíz absorbe gran parte del N en forma de nitrato (Salvagiotti et al., 2000, Potash and phosphate Institute, 1997), por lo tanto, en dos etapas importantes del desarrollo de este cultivo (a los 15 y a los 35 días), tuvo una disponibilidad total de 86 kg ha^{-1} de N. En este periodo de desarrollo del maíz se aplicaron dos tratamientos de fertilización nitrogenada: 100 y 200 kg ha^{-1} de N en forma de urea. Teniendo en cuenta que la eficiencia de la urea es de aproximadamente 60% (Meisinger, 1984), en el tratamiento de 100 kg ha^{-1} la disponibilidad de N proveniente de la urea para el cultivo fue de 60 kg ha^{-1} . Por otra parte, considerando que la materia orgánica de este suelo fue de 2.2%, con una densidad aparente de 1.3 g cc^{-1} y una mineralización anual de 2.5%, la disponibilidad de N para el cultivo proveniente de la materia orgánica fue de 33 kg ha^{-1} . por lo tanto, la disponibilidad real de N proveniente del fertilizante y de la materia orgánica, fue de 93 kg ha^{-1} , cantidad un tanto superior a los 86 kg ha^{-1} de N disponible en forma de nitrato en el suelo. Además en el momento de la siembra de las asociaciones, el maíz dispuso de 27 kg ha^{-1} de N aplicados con el fosfato diamónico, que con una eficiencia del fertilizante del 60%, la asociación presentó una disponibilidad de 17 kg ha^{-1} en los primeros estados de desarrollo junto con los $33,6 \text{ kg ha}^{-1}$ provenientes del nitrato presente después de realizada la labranza. Este N proveniente de nitrato debió ser absorbido rápidamente por el maíz y en menor parte por el pasto, considerando que el fertilizante aplicado en el momento de la siembra (fósforo, potasio, microelementos) y el N y potasio fraccionado, fue ubicado en el surco del maíz, lo cual permitió un buen desarrollo de raíces para la absorción de estos nutrientes. Durante los primeros 60 días de desarrollo del cultivo, la precipitación fue de 540 mm que debió favorecer la lixiviación de nitratos que no alcanzaron a ser tomados por las plantas. Esto pudo ocurrir en el tratamiento donde se aplicó el doble de N (200 kg ha^{-1}) ya que 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. (figuras 11 y 12)

Es importante la reserva de $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ presente en el amonio almacenado en las arcillas del suelo, que representa un 70% de todo el N inorgánico (Tabla 8). Estudios recientes han demostrado 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 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 formación de granos (Potash and phosphate Institute, 1997).

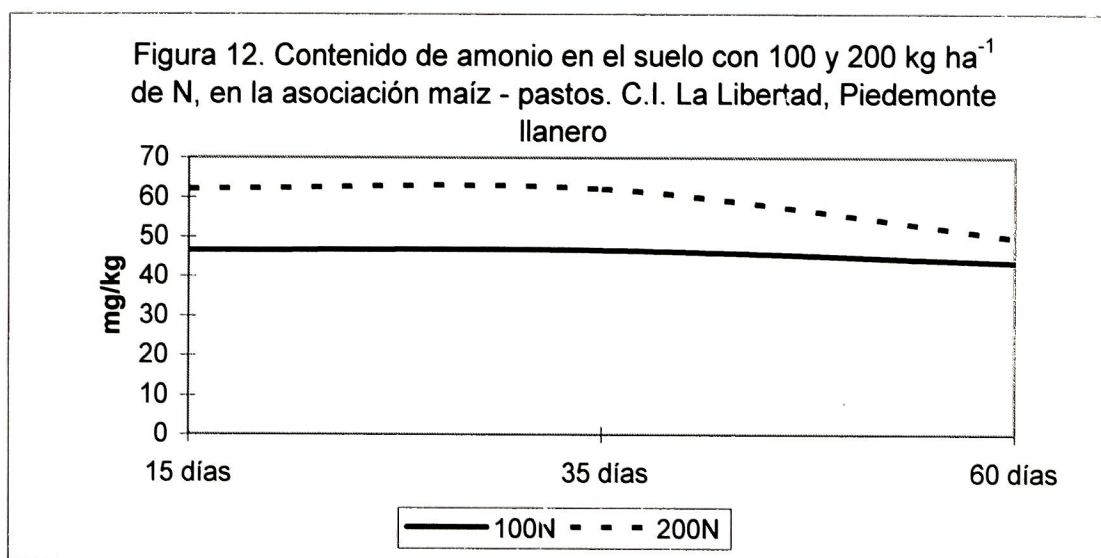
Tabla 8. Contenido de N inorgánico en el suelo desde la primera fertilización nitrogenada hasta el inicio del llenado de grano en el cultivo de maíz asociado con pastos

Día 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

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 $96,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (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 11).



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 encontró 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 12, después de la segunda aplicación de N en forma de urea, el contenido de amonio en el suelo tiende 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 baja en suelos ácidos. El nitrato puede perderse por denitrificación proceso mediante el cual el nitrato se reduce a formas gaseosas como el óxido nitroso (N₂O) o N₂ que se pierde en la atmósfera. Además gran aporte del nitrato puede escurrirse en el perfil del suelo (Potash and phosphate Institute, 1997).

2.5 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 mediante análisis de laboratorio por la metodología de Keldahl, coincidiendo con la 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 con el pasto Toledo fue superior significativamente ($P<0.05$) con 2.9 y 2.83% de N respectivamente (Tabla 9), 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 inferior ($p<0.05$) mientras que el pasto Mulato y Toledo presentaron niveles superiores (3.31 y 3.20% respectivamente). A la edad de 35 días, el N foliar en el pasto presentó niveles superiores a los encontrados en el maíz. De acuerdo a estos resultados, a esta edad el pasto Mulato presentó una mayor capacidad para extraer N del suelo lo cual se manifestó por el mayor contenido de este nutriente en las hojas del pasto y menor contenido en las hojas del maíz. En cambio en la asociación del maíz con el *B. decumbens*, gramínea conocida por su adaptación a condiciones de baja fertilidad de los suelos la concentración de N fue igual en las hojas de maíz y en las hojas de pasto con un valor de 2.9%.

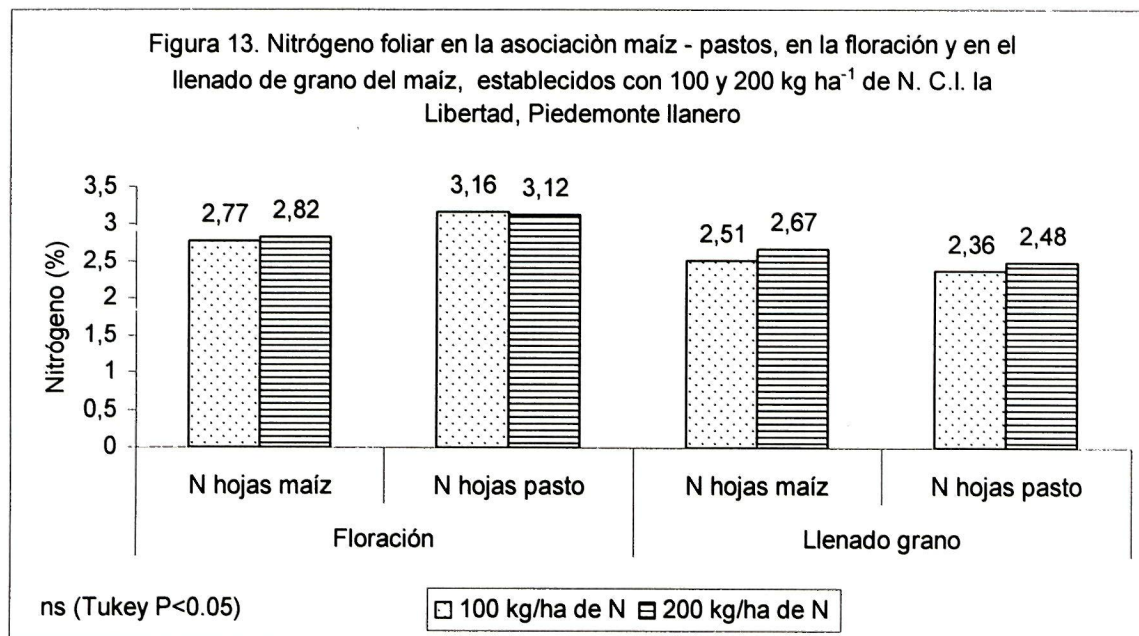
En la fase de llenado de grano (edad del cultivo de 65 días) el contenido de N foliar en el maíz no presentó diferencias significativas al estar asociado con los tres pastos, el promedio obtenido fue de 2.59% de N foliar. Sin embargo, el contenido de N foliar en el maíz no presentó mayores diferencias entre el momento de la floración y el momento del llenado de grano, aunque la presencia de nitratos en el suelo fue baja a la edad de 60 días, hecho que nos permite confirmar el almacenamiento de N para su translocación a la mazorca. Los pastos se caracterizan por la disminución del N foliar y aumento de la fibra, con el paso del tiempo, sin embargo el pasto Mulato siguió siendo el de mayor contenido de N con un 2.58% a los 65 días. En las hojas de pasto Toledo, el contenido de N fue inferior significativamente (2.30 %) con respecto a los otros dos pastos. En esta fase, contrario a lo presentado en la floración, los pastos reportaron menor contenido de N foliar con respecto al maíz.

Tabla 9. Contenido de N (%) en las hojas de maíz y pasto en el momento de la floración y del llenado de grano.

Pasto	N en floración de maíz (35 días)		N en llenado de grano (65 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

Valores en columnas con letras iguales no difieren significativamente ($p<0.05$) 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 el momento de la floración como en el llenado del grano. Como se indicó anteriormente, en la floración del maíz, el pasto presentó mayor contenido de N foliar que el maíz mientras que en el llenado de grano ocurrió todo lo contrario (figura 13)



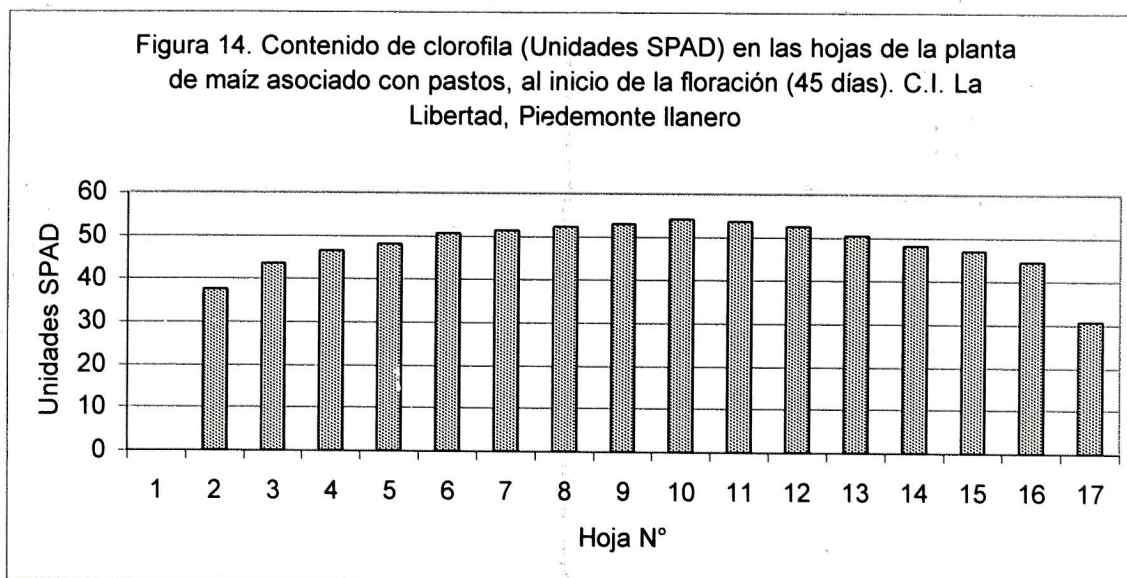
El contenido de N foliar en el maíz presentó menor variación a los 35 y 65 días de edad del cultivo tanto con 100 y con 200 kg ha⁻¹ de N. Sin embargo, en el estado más joven el N foliar promedio fue de 2.8% y en el momento de la floración de 2.6, valores que se encuentran en los límites inferiores del rango de 2.75 a 3.25 propuesto por Malavolta *et al.*, (1997), como adecuado. No obstante otros autores como Pearson y Hall, (1984) afirman que la concentración de N en las hojas de maíz tiende a ser baja con valores que van de 1 a 4% de N, comparándolo con otros cereales C3 como el trigo. La eficiencia del uso del N en la fotosíntesis es mayor en el maíz de modo que la baja concentración intrínseca del N no limita la productividad, frente a otros cultivos (Sinclair y Horie, 1989 citados por Lafitte, 2002). Los pastos que a los 35 días presentaron más de 3% de N foliar, con el paso del tiempo disminuyó a valores cercanos de 2.5% de N foliar.

2.6 CONTENIDO DE CLOROFILA EN LAS HOJAS

El contenido de clorofila en la hoja está estrechamente relacionado con la concentración de N en la hoja 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. La carencia de N y en consecuencia la carencia de clorofila no permite que la planta utilice la luz solar como fuente de energía en el proceso de fotosíntesis y la planta pierde la habilidad para ejecutar funciones esenciales como la absorción de nutrientes (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.

El medidor de clorofila Minolta® SPAD 502 (Soil PLant Análisis Development), es un instrumento que 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 (Rozas y Echeverría, 1998, Zoratelli *et al.*, 2003, Caires *et al.*, 2005). Con este medidor de clorofila se realizaron evaluaciones en las hojas del maíz a la edad de 45 días, cuando el cultivo estaba en floración, encontrándose los contenidos de clorofila más altos significativamente ($p < 0.05$), medidos en unidades SPAD, desde la hoja 6 hasta la hoja 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, Rozas y Echeverría, 1998, quienes determinaron que un valor adecuado de clorofila para un buen rendimiento de grano debe ser superior a las 50 unidades SPAD en estas hojas. Los valores más bajos de clorofila que fluctuaron entre 31 y 48 unidades SPAD se presentaron en las hojas bajas (entre la 2 y la 5), que por su mayor edad se encontraban en proceso de senescencia, las cuales han cumplido su papel de fuente y translocación de nutrientes a las hojas más jóvenes (de la 13 a la 17), cuya área foliar se encontraba en expansión. El N es uno de los elementos más móviles de la planta, lo cual favoreció a la mazorca en formación ya que tuvo buena disponibilidad de este nutriente, considerando que en las hojas 7 a 9, sitio donde se desarrolla la mazorca, los valores fueron superiores a 50 unidades SPAD (figura 14).



Estos resultados nos lleva a concluir que para hacer evaluación de clorofila en las hojas con el clorofilómetro Minolta® SPAD 502, puede hacerse en las hojas del tercio medio de la planta porque las hojas inferiores ya se encuentran en proceso de senescencia y las hojas superiores hasta ahora se están formando y cumplen la función de vertedero. En las hojas expandidas solo una pequeña fracción de los productos de la fotosíntesis permanecen en el sitio de producción, la mayoría son translocados, los coeficientes de reparto de la materia seca entre los distintos órganos varía continuamente durante el crecimiento de la planta. Las exportaciones de los productos asimilados son dirigidos

principalmente hacia los centros de crecimiento activo y más tarde a los órganos reproductivos y de reserva (Santibáñez y Fuenzalida, 1989)

Para determinar la concentración de clorofila en toda la hoja, se realizaron mediciones en la base, mitad y parte superior de las hojas. Se encontró que cuando la evaluación se hizo en el tercio inferior o base de la hoja el contenido de clorofila medido en unidades SPAD no presentó diferencias significativas entre las hojas 6 y 13, siendo superior en forma significativa ($p < 0.05$) con respecto a las demás hojas. En el tercio medio este rango se amplió entre la hoja 4 y la hoja 13 y en el tercio superior o ápice de la hoja, el rango de valores superiores se ubicó entre la hoja 7 y la hoja 14 (Tabla 10). El promedio encontrado en estas hojas fue de 52 unidades SPAD en los tres tercios de la hoja evaluados.

Tabla 10. 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.

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

Valores en columnas con letras iguales no difieren significativamente ($p < 0.05$) 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* presentó el mejor contenido de clorofila en los tres tercios de la hoja de maíz. El maíz asociado con el pasto Toledo presentó el menor de contenido de clorofila en el tercio inferior o base de la hoja mientras que el maíz asociado con el pasto Mulato presentó el menor contenido de clorofila en el

tercio medio de la hoja. Sin embargo, en el tercio superior o ápice de la hoja del maíz no se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en asociación con los tres pastos. 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 11).

Tabla 11. 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.

Pasto:	Contenido de clorofila en maíz (Unidades SPAD)		
	base de hoja	mitad de hoja	ápice de hoja
<i>B. decumbens</i>	50.97 a	51.59 a	50.10 a
Mulato	50.22 ab	50.10 b	49.99 a
Toledo	49.80 b	51.19 a	49.91 a
Nitrógeno:			
100 kg ha ⁻¹	49.16 b	49.38 b	48.44 b
200 kg ha ⁻¹	51.49 a	52.52 a	50.88 a
C.V. (%)	10.9	11.2	11.7

Valores en columnas con letras iguales no difieren significativamente ($p < 0.05$) Tukey

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 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 490 granos de maíz planta⁻¹ los cuales tuvieron un peso promedio de 193 g (Tabla 12).

De igual forma 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.

Sin embargo, 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 188 y 197 gr planta⁻¹ sin llegar a ser diferentes en forma significativa al utilizar 100 o 200 kg ha⁻¹ de N en la fertilización, respectivamente.

Tabla 12. Rendimiento de maíz en las plantas a las que se les evaluó clorofila (SPAD) en el momento de la floración.

Pasto	Clorofila (unidades SPAD)	Cantidad de Granos (Nº planta ⁻¹)	Peso de granos (gr planta ⁻¹)
<i>B. decumbens</i>	50.8 a	526.8 a	202.2 a
Mulato	50.1 a	465.4 a	185.5 a
Toledo	50.3 a	478.9 a	190.8 a
Nitrógeno:			
100 kg ha ⁻¹	48.9 b	474.4 a	188.6 a
200 kg ha ⁻¹	51.6 a	507.4 a	197.2 a
C.V (%)	11.4	19.8	19.0

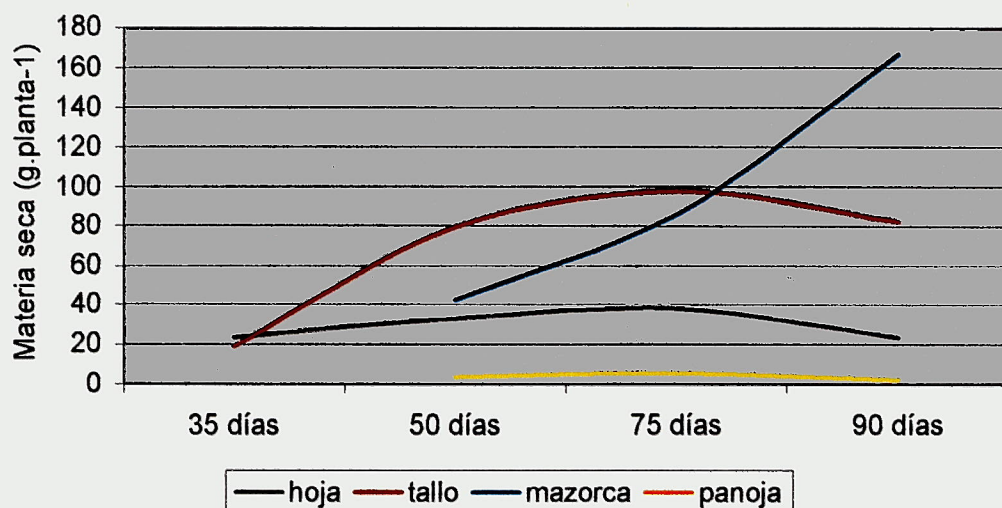
Letras iguales en la misma columna no difieren en forma significativa (p<0.05) Tukey

2.7 DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA SECA EN LA PLANTA DE MAÍZ

La distribución de la materia seca del maíz se midió a los 35, 50, 75 y 90 días después de la siembra. El máximo valor de masa seca de hojas y tallo se obtuvo cuando el maíz tenía una edad de 75 días, con 38,5 y 97.9 gr planta⁻¹ respectivamente. Posteriormente estos valores empezaron a decrecer por senescencia de sus órganos y transporte de fotoasimilados a la mazorca, lugar en donde se presentó la mayor acumulación de biomasa, de tal forma que a los 90 días era de 166.4 gr planta⁻¹ que correspondió al 61.6% del total de la parte aérea de la planta. (Figura 15). El órgano que acumuló menos biomasa fue la panoja la cual emergió después de los 40 dds y mantuvo su biomasa entre 4 y 6 g planta⁻¹. Durante el crecimiento temprano del cultivo, el reparto de fotoasimilados está dirigido hacia las partes aéreas y hacia las raíces, no compitiendo con los órganos de reserva. El crecimiento de las raíces normalmente no es continuo a lo largo del desarrollo del cultivo y estudios puntualizan la finalización del crecimiento en la floración (Supinito, 1965, Welbank y Williams, 1968, Citados por Santibáñez y Fuenzalida, 1989)

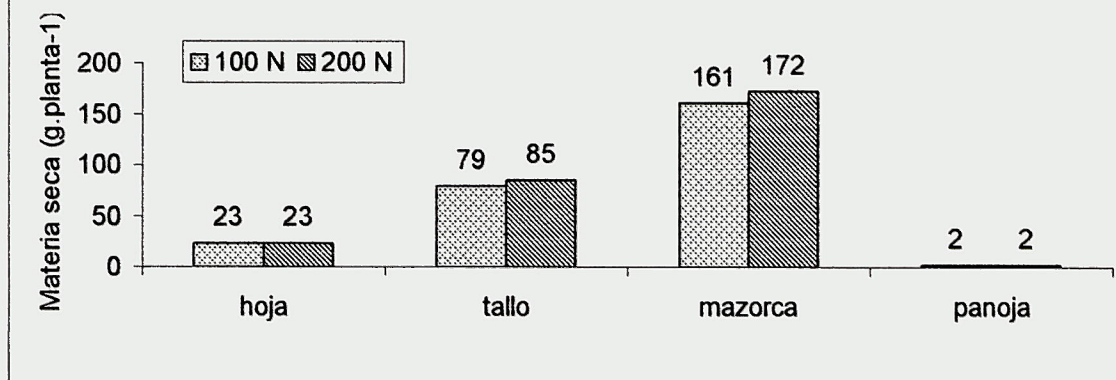
La planta de maíz llegó a su máxima longitud del tallo de 2 m aproximadamente a la edad de los 50 días y a partir de ahí se mantuvo estable, en cambio la acumulación de materia seca en este órgano siguió hasta los 75 dds. Es decir que aunque no hubo incremento en su longitud, sí aumentó su grosor.

Figura 15. Distribución de materia seca del híbrido de maíz Master asociado con pastos. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero



En la distribución de la materia seca del maíz a la edad de 90 días, no se presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre aplicar 100 o 200 de N (figura 16). La hoja que llegó a su máxima acumulación de materia seca los 75 dds con $38.5 \text{ g planta}^{-1}$ ($1487 \text{ kgMS ha}^{-1}$), a los 90 dds esta se redujo a 23 g planta^{-1} y el tallo que alcanzó su máximo valor a la edad de 75 dds con $97.9 \text{ g planta}^{-1}$ ($3.783 \text{ kgMS ha}^{-1}$), también disminuyó a un promedio de 82 g planta^{-1} . A nivel de la mazorca se apreció que con 100 kg de N, el peso de la mazorca fue de 161 planta^{-1} y con 200 kg ha^{-1} de N fue de 172 planta^{-1} , sin llegar a ser diferentes significativamente, representando un promedio de $6433 \text{ kgMS ha}^{-1}$. Los cálculos de los valores expresados en kgMS ha^{-1} se realizaron con base en la población final de plantas de maíz que fue de $38640 \text{ plantas ha}^{-1}$.

Figura 16. Distribución de materia seca de maíz asociado con pastos, bajo dos niveles de nitrógeno a los 90 días dds. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero



2.8 PRODUCCIÓN DE GRANO DE MAÍZ

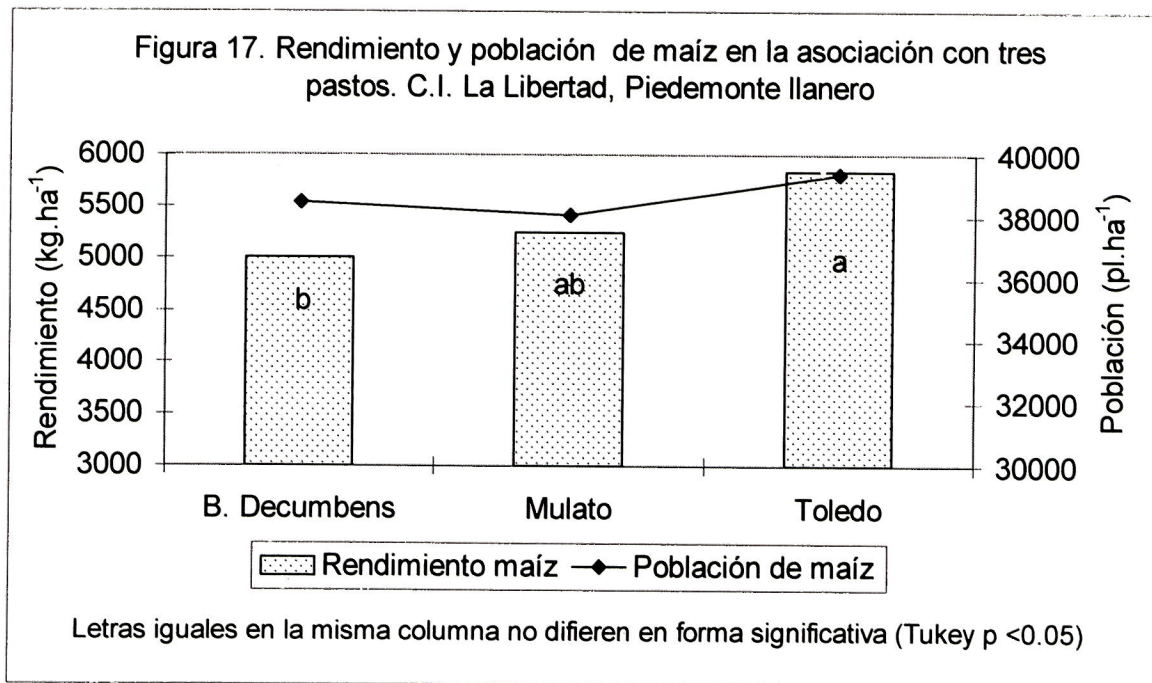
La evaluación de rendimiento se realizó a los 130 dds, edad en la cual el grano de maíz tenía una humedad del 18%. La producción de grano de maíz asociado con pasto Toledo fue superior significativamente ($P<0.05$) con un valor de 5.836 kg ha^{-1} de grano frente a un promedio de 5.100 kg ha^{-1} obtenido en la asociación con pasto Mulato y *B. decumbens*. Este mayor rendimiento en la asociación con el pasto Toledo pudo ser influenciado por la mayor población de plantas de maíz ($39,384 \text{ plantas ha}^{-1}$) en el momento de la cosecha y por el mayor peso de grano por planta (147 gr) (Tabla 13, figura 17). La población del maíz a los 15 dds fue de $4.5 \text{ plantas m}^{-2}$ lo cual equivalía a tener $50.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. A los 50 dds la población ya se había reducido a $3.9 \text{ plantas m}^{-2}$ ($48.750 \text{ plantas ha}^{-1}$). En el momento de la cosecha se obtuvo un promedio de $3.1 \text{ plantas m}^{-2}$, equivalentes a $38.640 \text{ plantas ha}^{-1}$. 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.

Tabla 13. Rendimiento de maíz asociado con tres pastos y con dos niveles de N. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

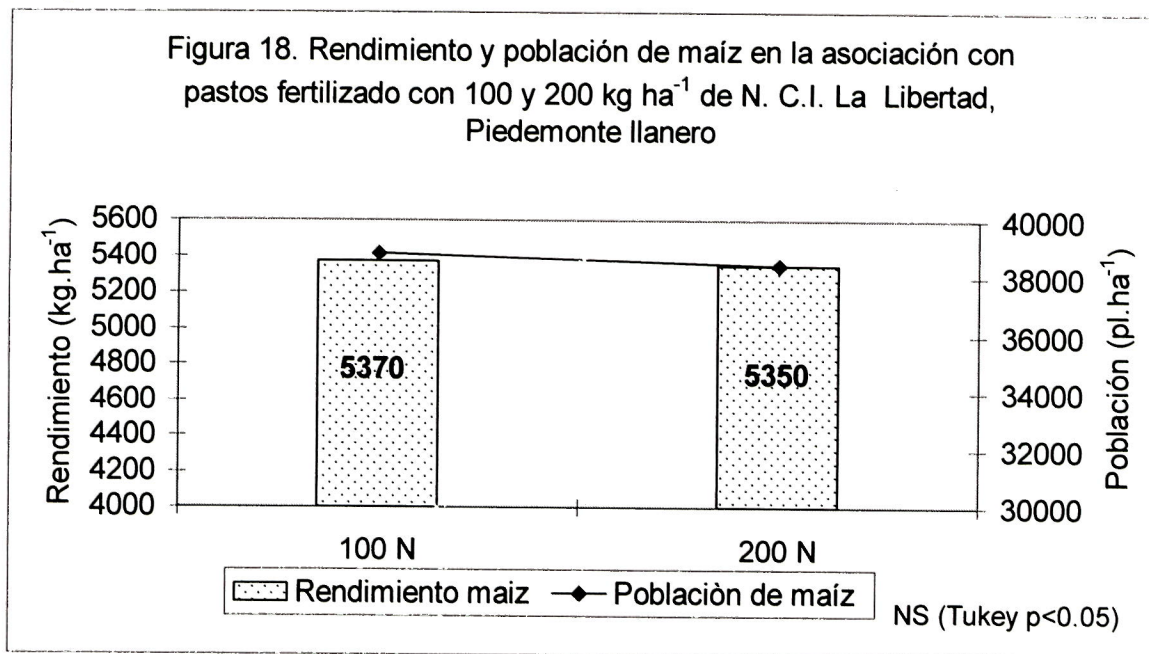
Pasto	Población (Plantas ha^{-1})	Rendimiento (kg planta $^{-1}$)	Rendimiento (kg ha^{-1})
<i>B. decumbens</i>	38.475	0.131	5.000 b
Mulato	38.061	0.138	5.243 ab
Toledo	39.384	0.147	5.836 a
	ns	ns	
Nitrógeno:			
100 kg ha^{-1}	38.850	0.137	5.370
200 kg ha^{-1}	38.431	0.140	5.350
Promedio	38.640	0.138	5.360
CV (%)	11.9	8.61	12.9

Valores en Columnas con letras iguales no difieren significativamente ($p<0.05$) Tukey

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 (figura 18). Este comportamiento de no respuesta a una mayor fertilización nitrogenada, es un reflejo de lo presentado en el 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 estas condiciones de fertilización nitrogenada, con dos niveles diferentes.



Con respecto al índice de cosecha, no se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las asociaciones de maíz con los tres pastos ni entre niveles de N aplicados. Este índice de cosecha estuvo entre 0.47 y 0.48 (tabla 14). La biomasa seca producida por la planta de maíz fue en promedio de 275 g planta⁻¹ y los granos alcanzaron una masa seca de 133 g planta⁻¹. El índice de cosecha alcanzado por este cultivo de maíz asociado con pastos, se encuentra entre los valores reportados por Derieux (1978) citado por Santibáñez y Fuenzalida (1989), los cuales varían ampliamente entre híbridos, con valores que han fluctuado entre 27 y 52%.

Tabla 14. Índice de cosecha de maíz en asocio con tres pastos y con dos niveles de N al momento de la cosecha (130 días)

Pasto	Masa seca (g planta ⁻¹)				Índice de cosecha
	mazorca	Hojas + tallo	Total	grano	
<i>B. decumbens</i>	167.0	113.1	280.1	133.6	0.47
Mulato	160.7	103.4	264.1	128.6	0.48
Toledo	171.5	108.9	280.4	137.3	0.48
Nitrógeno:					
100 kg ha ⁻¹	161.2	105.3	266.5	128.9	0.48
200 kg ha ⁻¹	171.8	111.9	283.7	137.5	0.48
CV (%)	24.1	23.1	23.6	24.1	12.8
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns

ns. Diferencias no significativas ($p < 0.05$) Tukey

2.9 PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE PASTO

La biomasa producida por los pastos asociados con el maíz, se evaluó a los 50, 75, 90 y 140 dds del cultivo. En la primera evaluación la disponibilidad de biomasa 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. En la segunda evaluación que fue a los 75 días la producción de biomasa aérea no presentó 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 (en el momento de la cosecha del maíz) la disponibilidad de forraje de los pastos Mulato y Toledo fue superior significativamente ($P < 0.05$) con respecto al *B. decumbens* en 685 kg (Tabla 15)

La mayor producción de biomasa del pasto *B. decumbens* al inicio del establecimiento del cultivo, pudo ser debida al desarrollo de plantas a partir de material vegetativo que quedó en el lote después de la labranza. Estas fracciones o partes de planta tienen la capacidad de reiniciar un desarrollo rápido en presencia de buena humedad del suelo, además favorecido por la mejor fertilidad del suelo dando origen a plantas vigorosas en un tiempo más corto que las plantas provenientes de semilla. Una vez establecidas las plantas a partir de semilla su capacidad de producción de hojas y tallos aumentó especialmente con

el Pasto Toledo que tuvo su mayor disponibilidad de biomasa a los 90 días de establecida la asociación, gracias a la mayor penetración de luz favorecida por la senescencia de las plantas de maíz y al crecimiento erecto de este pasto (figura 22).

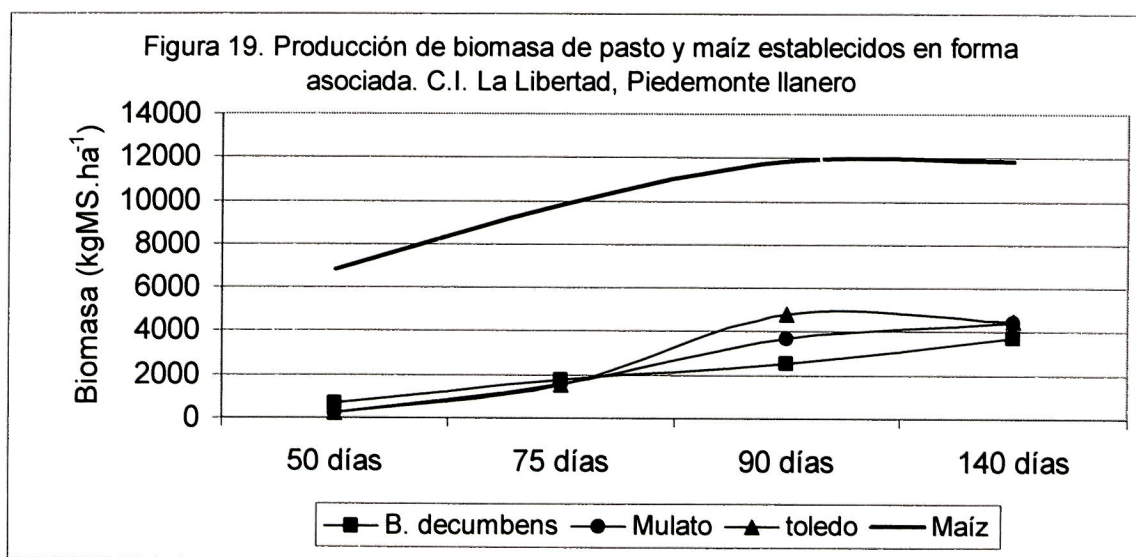
Con respecto a los niveles de N aplicados, de igual forma a lo sucedido con la producción de grano de maíz, no se presentaron diferencias significativas en la producción de biomasa de los pastos en las cuatro épocas de evaluación.

Tabla 15. Biomasa de pasto (kgMS ha⁻¹) durante cuatro estados de desarrollo de la asociación maíz-pastos

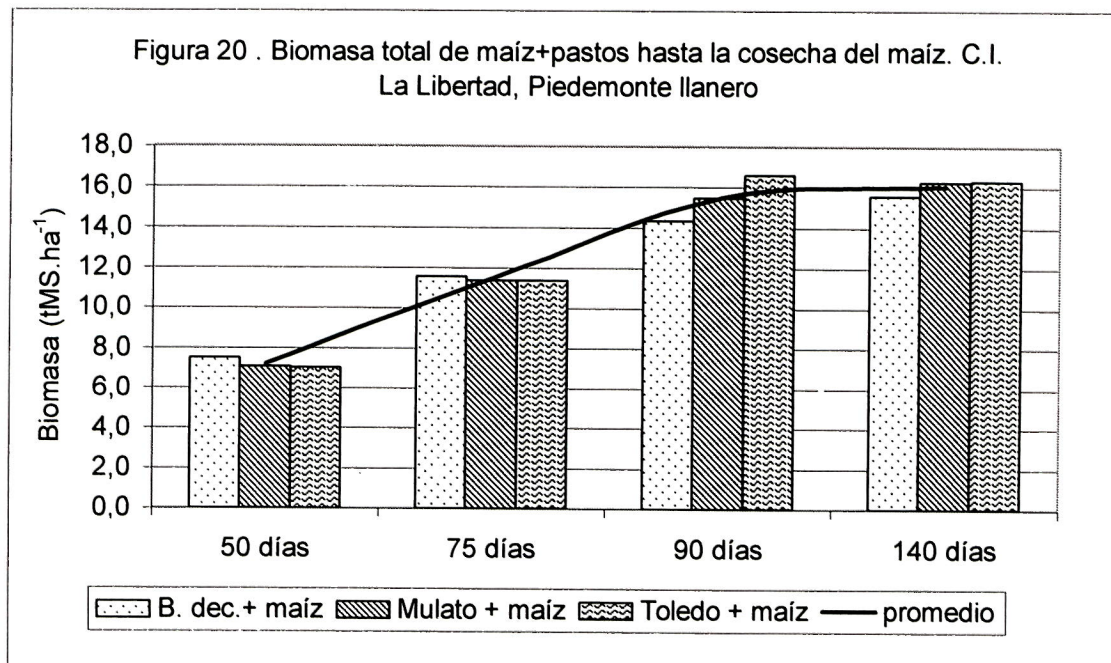
Pasto	50 días	75 días	90 días	140 días
<i>B. decumbens</i>	682 a	1768 a	2533 b	3762 b
Mulato	237 b	1574 a	3639 ab	4431 a
Toledo	204 b	1556 a	4374 a	4463 a
Nitrógeno:				
100 kg ha ⁻¹	345	1626	3189	4204
200 kg ha ⁻¹	432	1581	4069	4206
	ns	ns	ns	ns
CV (%)	68.9	15.7	40.3	32.3

Valores en columnas con letras iguales no difieren significativamente (p<0.05) Tukey

La diferencia en producción de biomasa del maíz y de los pastos, fue más acentuada en los primeros estados de desarrollo de la asociación, a los 50 dds el *B. decumbens* que fue el pasto con mayor producción de biomasa solo fue el 10% de la producción del maíz que alcanzó los 6828 kgMS ha⁻¹. A los 75 dds la biomasa del maíz fue de 9800 kgMS ha⁻¹ y la de los pastos llegó a un promedio de 1600 kgMS ha⁻¹. A los 90 dds la biomasa del maíz fue de 11.800 kgMS ha⁻¹ la cual se estabilizó y fue igual a los 140 dds en tanto la biomasa de los pastos en promedio fue de 4200 kgMS ha⁻¹. (Figura 19).



La producción total de biomasa (maíz + pasto) a los 50 dds en promedio fue de 7 tMS ha⁻¹ y 15 días después, se aumentó en 4.5 t, lo cual indica que entre el periodo de 50 dds y 75 dds la asociación de maíz y pastos tuvo una producción diaria de 300 kgMS ha⁻¹. en los 15 días siguientes, la producción diaria de biomasa fue de 267 kgMS ha⁻¹ y en los siguientes 50 días, es decir 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 solo 10.6 kgMS ha⁻¹. (Figura 20)



2.10 DISTRIBUCIÓN DE RAÍCES

Para evaluar la distribución de raíces de cada asociación se hicieron calicatas en un longitud de 80 cm y a una profundidad de 60 cm de tal forma que cubriera una planta de maíz y una planta de pasto, con una cuadrícula se hizo conteo de raíces cada 5 cm de profundidad y se obtuvo la información de la tabla 16.

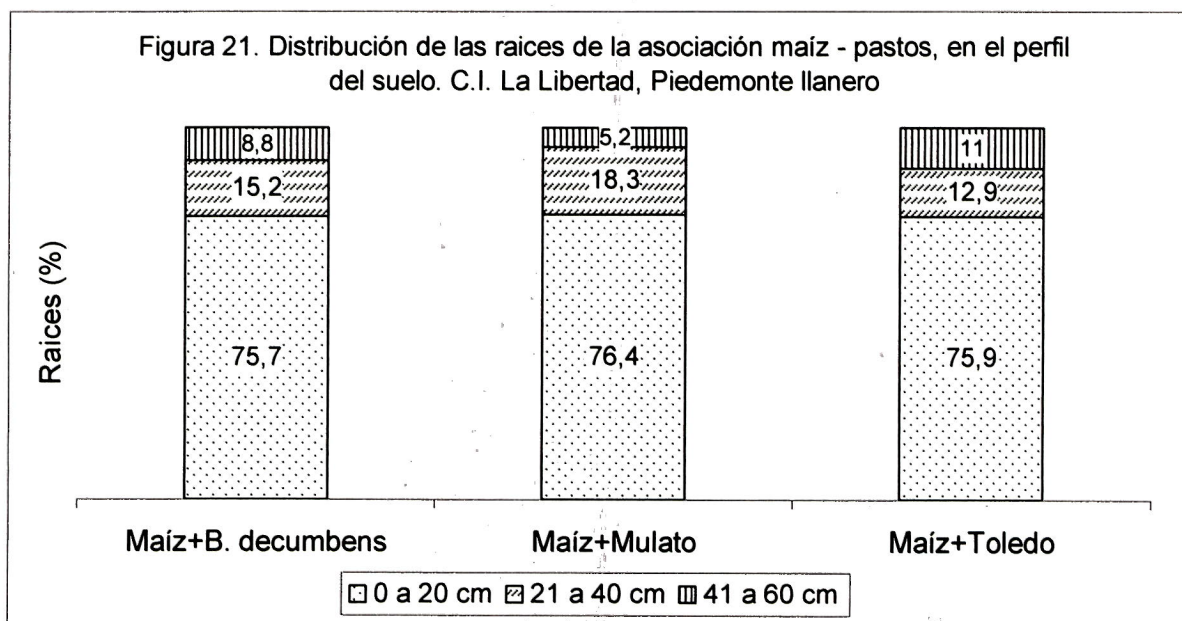
La mayor cantidad de raíces, se encontró en los primeros 20 cm del perfil del suelo, con un 76%, en la asociación con los tres pastos, no obstante estos valores, solo en los primeros 10 cm de profundidad del suelo, se concentró cerca del 60% de raíces. Considerando que la labranza con cincel rígido se realizó para romper la compactación y brindar las condiciones favorables para el desarrollo de raíces, a la profundidad máxima de 25 cm que alcanzo esta labor, se desarrollo el 80% de las raíces del maíz y de los pastos asociados. Por consiguiente, en los siguientes 35 cm del perfil del suelo solo se encontró el 20 % restante de raíces. Esto es importante tenerlo en cuenta para procurar hacer una labranza más profunda lo cual beneficiará al maíz y principalmente a los pastos para un mejor desarrollo de las raíces a más profundidad que le permita soportar con mayor facilidad la época seca.

Tabla 16. Distribución de raíces hasta una profundidad de 60 cm en las asociaciones de maíz con los pastos Mulato; Toledo y *B. decumbens*

Profundidad (cm)	Distribución de raíces en el perfil del suelo (%)		
	Maíz + Mulato	Maíz + Toledo	Maíz + <i>B. decumbens</i>
1-5	35.3	35.6	39.3
6-10	21.4	29.0	19.9
11-15	10.1	7.9	8.8
16-20	9.6	3.4	7.7
21-25	5.7	2.2	4.3
26-30	4.9	2.8	2.6
31-35	4.7	4.2	3.3
36-40	3.0	3.7	5.0
41-45	2.8	3.4	3.2
46-50	0.8	3.8	2.1
51-55	1.0	2.2	1.5
56-60	0.6	1.6	2.0

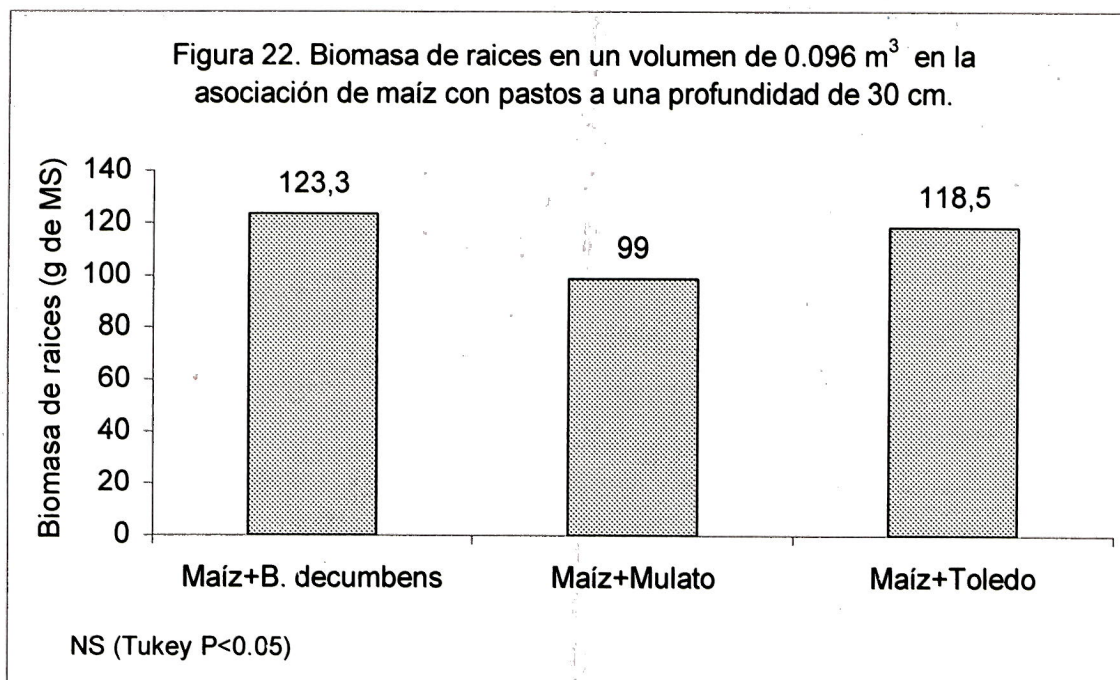
Analizando la distribución de raíces en un rango de tres profundidades (0 a 20 cm, 21 a 40 cm y 41 a 60 cm) se encontró que en los primeros 20 cm, los tres pastos presentaron una distribución de raíces en forma similar, la cual estuvo entre 75 y 76%. A la profundidad comprendida entre 20 y 40 cm, en la asociación de maíz con Pasto Mulato, se encontró el mayor porcentaje de raíces, con un 18%, sin embargo, de los 40 a 60 cm de profundidad, fue el de menor presencia de raíces con solo un 5,2%. Mientras que el pasto Toledo fue el de mayor proporción de raíces a mayor profundidad con 11%. El *B. decumbens* se caracterizó por una distribución más uniforme en el perfil del suelo. (Figura 21)

Figura 21. Distribución de las raíces de la asociación maíz - pastos, en el perfil del suelo. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

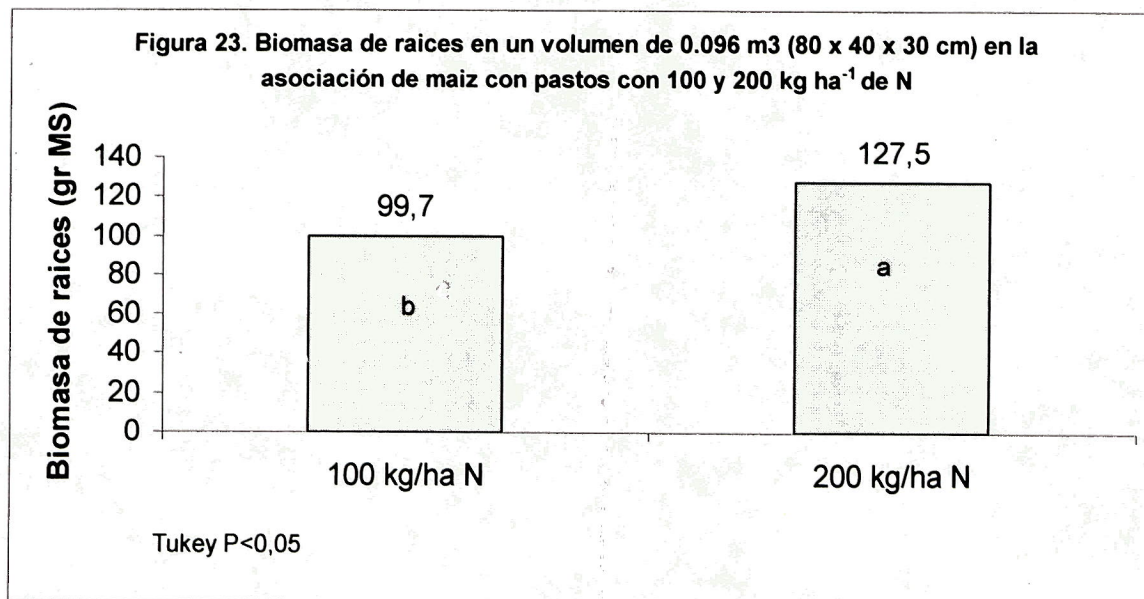


En la evaluación de la biomasa de raíces en la asociación del maíz con los pastos para lo cual fue necesario extraer y lavar un volumen de tierra de 0.096 m^3 (de $80 \times 40 \text{ cm}$) y una profundidad de 30 cm. Se obtuvieron los resultados de la figura 22, los cuales muestran que no se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la biomasa de raíces del maíz en asocio con los tres pastos. En promedio se obtuvo 113 gr de MS de raíces en 0.096 m^3 cuyo valor llevado a hectárea es de $3.531 \text{ kg MS ha}^{-1}$.

Figura 22. Biomasa de raíces en un volumen de 0.096 m^3 en la asociación de maíz con pastos a una profundidad de 30 cm.



Aunque no se presentaron diferencias entre los pastos asociados con el maíz, si se presentaron diferencias en los niveles de N utilizados (figura 23). Con la dosis de 200 kg ha⁻¹ de N se obtuvo 127 gr de MS de raíces valor que corresponde a 3.984 kg ha⁻¹ el cual resultó ser superior en forma significativa ($P < 0.05$) a la dosis de 100 kg ha⁻¹ de N en donde se obtuvo una biomasa de raíces de 99,7 gr (3.115 kg MS ha⁻¹).



2.11 DETERMINACIÓN DE ÍNDICES FISIOLÓGICOS EN LA ASOCIACIÓN MAÍZ – PASTOS

(Trabajo de tesis de Danny Sanjuanelo para optar el Título de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá)

El objetivo de esta investigación fue el de realizar el estudio ecofisiológico de los cultivares seleccionados en esta asociación (Híbrido de maíz "Master", *Brachiaria decumbens*, híbrido de *Brachiaria*. cv Mulato y *B. brizantha* cv Toledo), para ello se determinaron los índices de crecimiento clásicos basados en las mediciones directas de las variables masa seca foliar y área foliar.

Una de las mejores formas para establecer una pradera se constituye en la asociación de esta con un cultivo comercial, sin embargo no se conocen las interacciones en términos fisiológicos, que pueden llegar a darse en este tipo de asociaciones.

2.11.1 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo durante el segundo semestre de 2004 en predios del C. I. La Libertad; contó con 18 unidades experimentales las cuales fueron dispuestas en un diseño de bloques completamente aleatorizados en arreglo de parcelas divididas, donde

se tuvieron como parcelas principales a cada uno de los pastos (tres en total), y como subparcelas a 2 dosis de fertilización basada en N (100 y 200 kg ha^{-1} lo que resultó en 6 unidades experimentales por bloque), la cual fue aplicado sobre el cultivo de maíz.

La distribución de los tratamientos en los lotes se realizó de forma radial en torno al reservorio de agua presente en el lote, con el fin de que todas las praderas tuviesen acceso al mismo, puesto que posteriormente se realizaría pastoreo sobre ellas.

El muestreo aplicado sobre las unidades experimentales fue del tipo destructivo (se extraían las plantas muestreadas), y se llevó a cabo para el caso de los pastos a los 53, 76 y 89 días después de siembra (dds); para el caso del maíz se hicieron muestreos a los 17, 50, 63 y 80 dds. En los muestreos se tomaron las mediciones de rigor (área foliar y masa seca foliar) y se complementaron con otras mediciones directas en el maíz, como altura de planta, número de hojas, longitud del tallo y peso fresco.

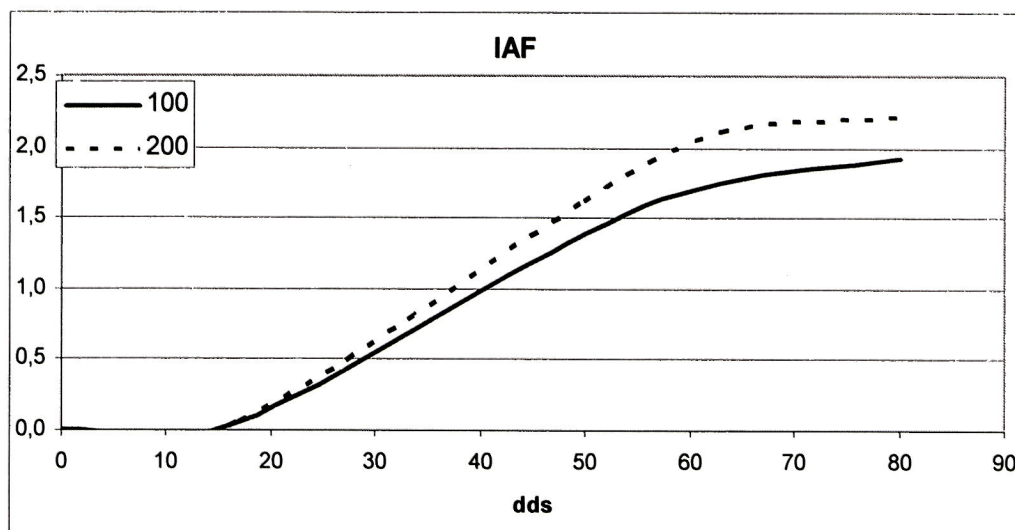
Una vez finalizados los muestreos se procedió a determinar los índices fisiológicos clásicos Índice de área foliar (IAF), Tasa de asimilación neta (TAN) y Tasa de crecimiento de cultivo (TCC), para posteriormente obtener las curvas que serían analizadas con el paquete estadístico SAS en su versión 8.0.

2.11.2 RESULTADOS

2.11.2.1 Maíz

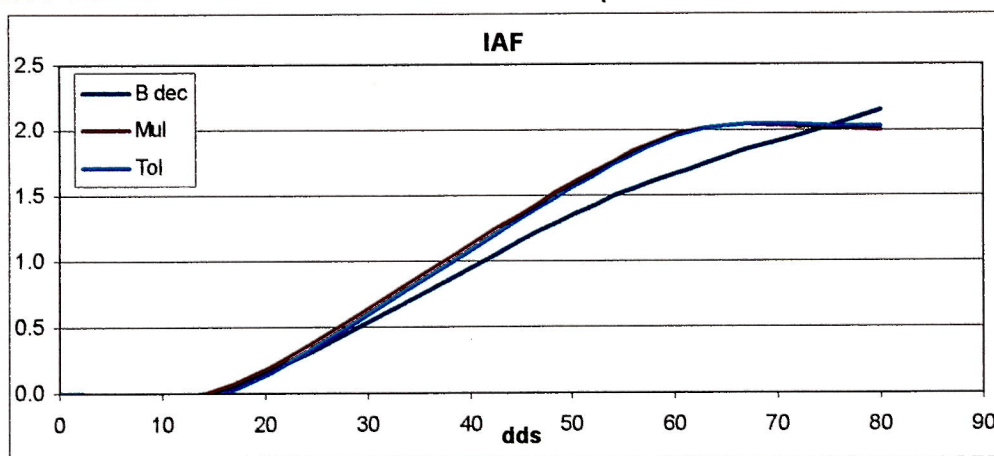
El desarrollo del área foliar del maíz se aumento en el tiempo de tal forma que en los primeros 40 dds el IAF fue de 1 y luego llego a 2 a los 65 dds en el tratamiento con 200 kg ha^{-1} de N (figura 24) sin embargo no se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los dos niveles de N aplicados al maíz, lo que redunda en la obtención del IAF óptimo hacia los 65 dds, momento en el cual se aprecia la estabilización en el crecimiento de la lámina foliar del cultivo, y concuerda con la entrada en floración, donde la relación fuente vertedero favorece a las estructuras reproductivas frente a las vegetativas.

Figura 24. Índice de área foliar del maíz en función de la fertilización nitrogenada



La figura 25 muestra como el desarrollo del área foliar se ve levemente disminuido cuando el maíz se asocia con *B. decumbens*, lo que sugiere que existe competencia entre especies casi desde el inicio de la asociación, evento que se debe probablemente a que el *B. decumbens* ya se encontraba establecido en la pradera, pues este era el pasto original en el lote del ensayo. Se evidencia como el IAF tiene comportamiento de IAF óptimo cuando se asocia con Mulato y Toledo y de IAF crítico cuando se asocia con *B. decumbens*, lo que sugiere que puede alterarse la densidad de siembra (aumentándola) del maíz para obtener un IAF óptimo, lo que dará una mayor captación de luz mas temprano en el ciclo de cultivo

Figura 25. Índice de área foliar del maíz en función del pasto asociado



Tasa de Asimilación Neta (TAN): La figura 26 corrobora lo ya mostrado en la curva de IAF, donde la fertilización nitrogenada no tiene efecto (en los niveles evaluados) sobre la acumulación de fotoasimilados por parte del cultivo, las curvas son similares, apreciándose apenas un leve incremento en la TAN en la dosis más alta de N, aunque en términos prácticos y estadísticos este aumento en la asimilación no fue significativo, además se nota como esta tendencia se estabiliza hacia los 55 dds para los dos niveles, lo que da cuenta de un comportamiento idéntico en la asimilación pese a la fertilización, así que puede concluirse que la asimilación no depende de la fertilización.

Figura 26. Tasa de asimilación neta del maíz en función de la fertilización aplicada.

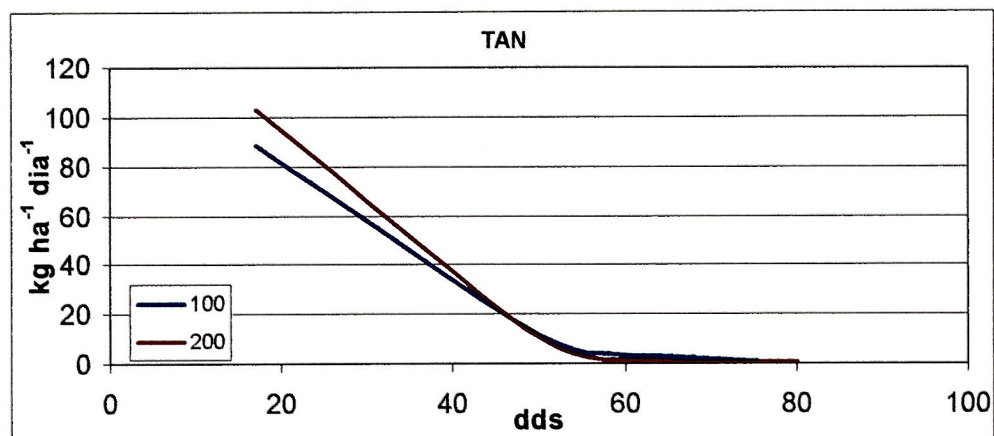
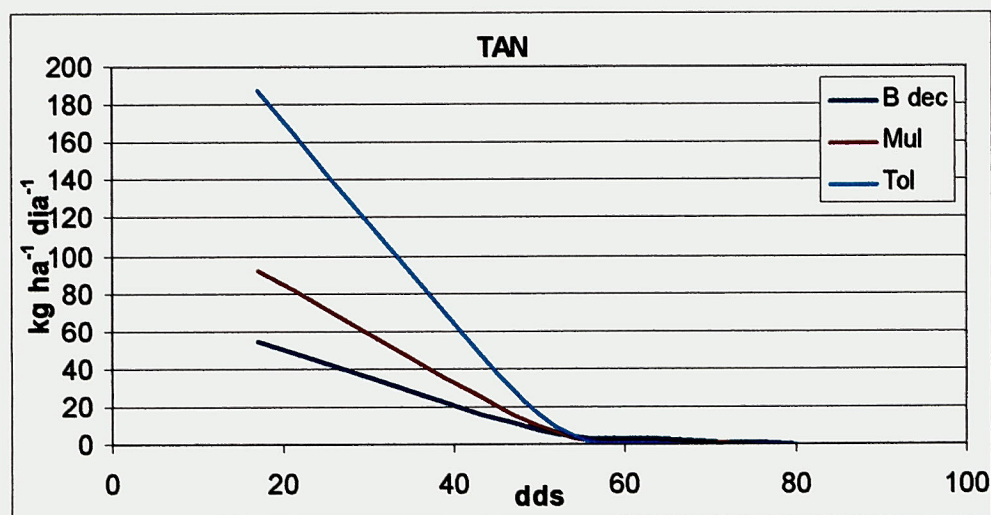


Figura 27. Tasa de asimilación neta del maíz en función del pasto asociado.



En la figura 27 se puede ver como la tasa de asimilación neta del maíz cambia cuando se asocia a los pastos considerados en esta investigación. Para el caso de la asociación con el pasto Toledo, se tiene una TAN inicial alta, la cual cae rápidamente y se iguala a la de la asociación con los otros dos pastos hacia los 50 dds, el favorecimiento hacia el pasto Toledo, se explica por la baja competencia en términos de captación de radiación solar que tiene este cultivar sobre el maíz en los primeros estados de desarrollo, esto hace que en la asociación, el maíz se vea favorecido y pueda asimilar mas rápidamente los fotosintetizados generados, aquí las diferencias son altamente significativas ($P < 0.01$) entre la asociación con el cv. Toledo vs cv. Mulato y B. *decumbens*. De otro lado, la TAN en la asociación del maíz con el pasto Mulato fue significativamente superior al B. *decumbens*, esto muestra un favorecimiento en asimilación del maíz cuando este se asocia con cv. Mulato frente a la asociación con B. *decumbens*.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC): En la figura 28 una vez más se evidencia la no respuesta del maíz ante los niveles de fertilización aplicados en el experimento.

Figura 28. Tasa de crecimiento del cultivo de maíz en función de la fertilización aplicada.

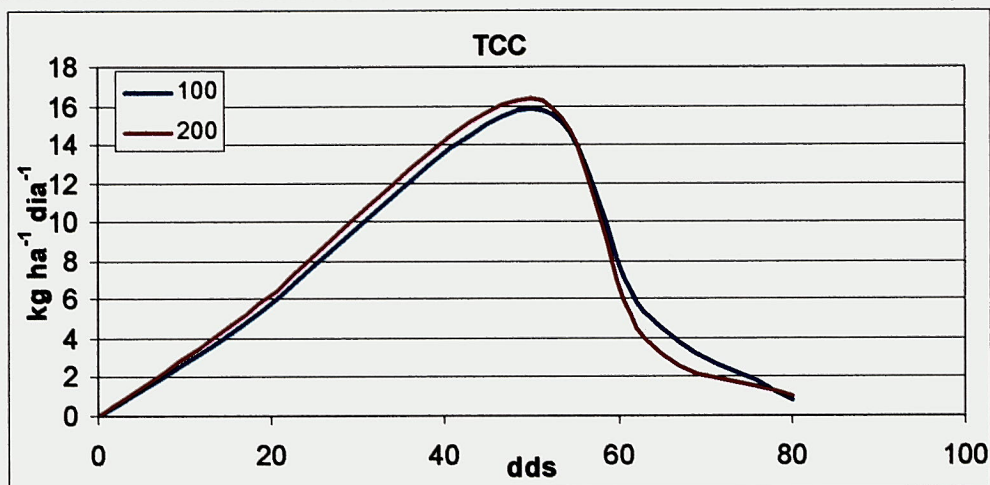
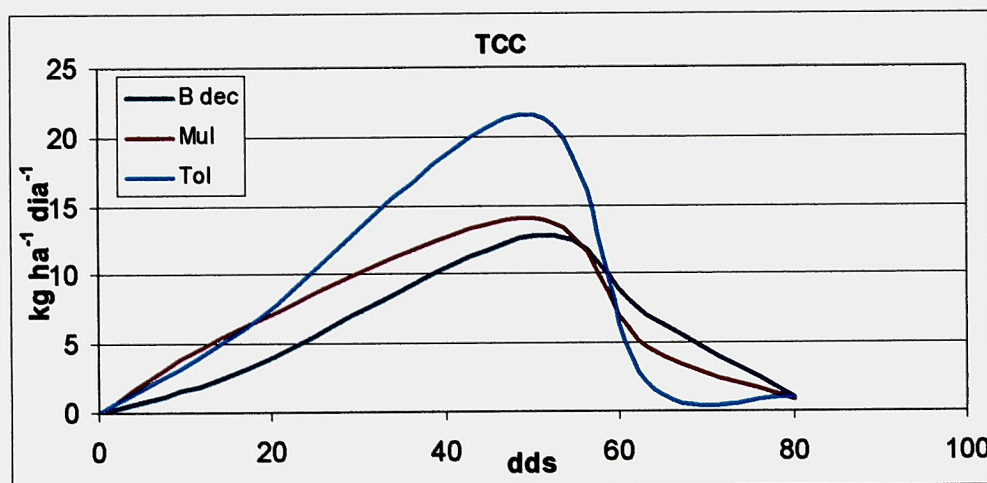


Figura 29. Tasa de crecimiento del cultivo de maíz en función del pasto asociado.

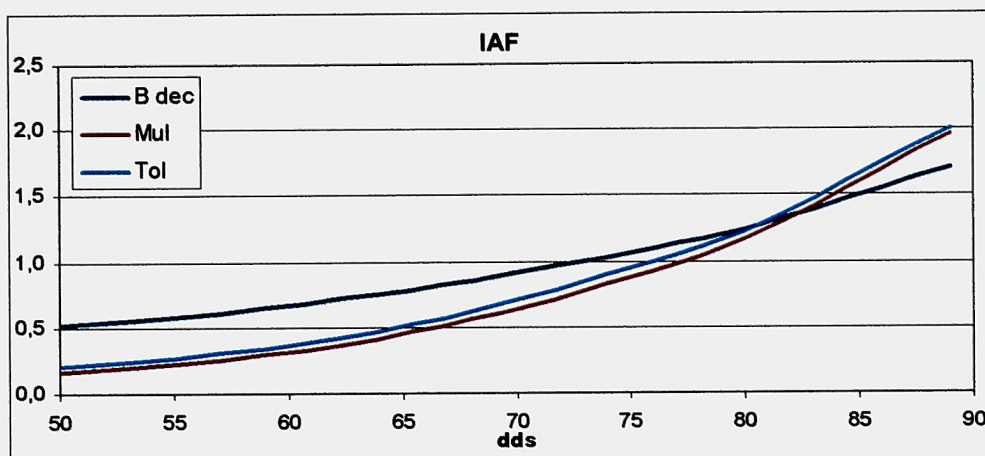


En la figura 29 puede notarse como el crecimiento del cultivo de maíz (en términos de acumulación de materia seca) fue mucho mayor cuando estuvo asociado al pasto Toledo, notándose un óptimo de acumulación hacia los 50 dds, momento este que coincide con el inicio de la floración del cultivo, donde ya no hay expansión foliar sino acumulación de fotoasimilados en los órganos reproductivos de la planta.

2.11.2.2 Pastos

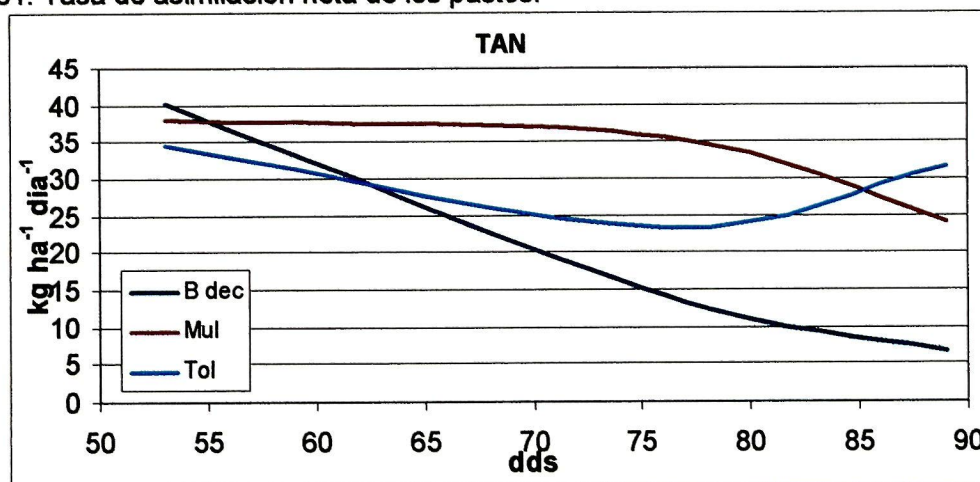
Índice de área foliar (IAF): Se evidencia como *B. decumbens*, tiene una mayor expansión foliar hasta los 80 dds, debido al desarrollo de plantas vigorosas a partir de material vegetativo proveniente de la pastura original. Después de los 80 dds, se presenta una expansión foliar en los cultivares Toledo y Mulato, debido a la entrada en senescencia del cultivo de maíz, que permite que los rayos solares penetren y sean aprovechados por las plantas de pasto, lo que les permite una mayor acumulación de materia seca dadas las condiciones favorables de luminosidad que ya empiezan a notarse. (figura 30)

Figura 30. Índice de área foliar de los pastos



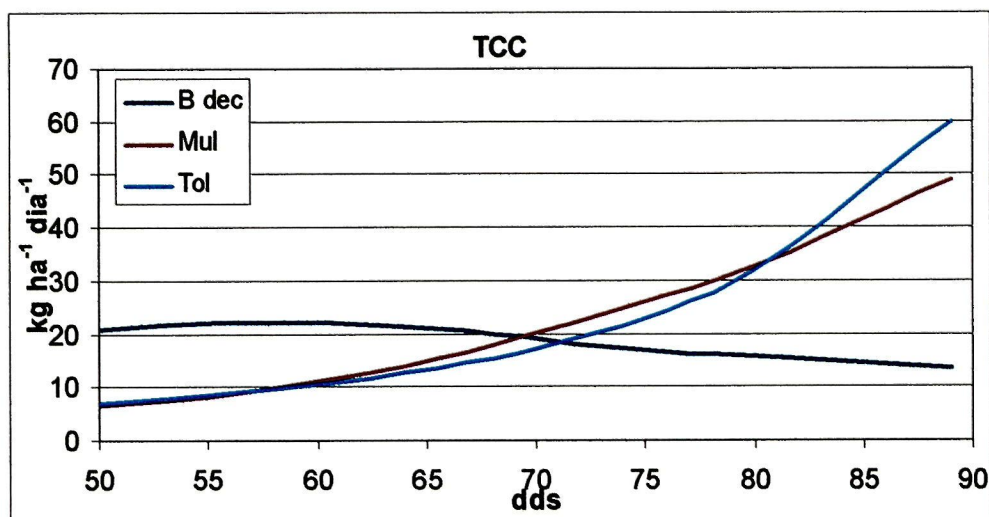
Tasa de asimilación neta (TAN): Pese a que hay una menor expansión foliar por parte de los cultivares Mulato y Toledo frente al *B. decumbens*, en los primeros estados de desarrollo de la asociación, se evidencia como el pasto Toledo a los 80 dds, entra en una nueva fase de acumulación, ligada tanto a su expansión foliar como a la disposición de sus hojas, las cuales son de carácter erectófilo, reduciendo el autosombreamiento, esto favorece su asimilación de nutrientes frente al ya establecido *B. decumbens*, el cual en este momento presenta competencia intraespecífica por luz, debido principalmente a su hábito de crecimiento. (Figura 31)

Figura 31. Tasa de asimilación neta de los pastos.



Tasa de crecimiento del cultivo (TCC): Nuevamente se nota como son los cultivares Mulato y Toledo los que presentan hacia el final de los muestreos realizados en este experimento, diferencias que en este caso son altamente significativas ($P < 0.001$) favoreciéndolos en la acumulación de materia seca frente al comportamiento que presenta el *B. decumbens*, el cual es prácticamente estable durante todos los muestreos llevados a cabo. La TCC se ve favorecida definitivamente por la entrada en senescencia del cultivo de maíz (figura 32).

Figura 32. Tasa de crecimiento del cultivo de los pastos.



2.12 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS DESPUÉS DE LA COSECHA DEL MAÍZ

Las características químicas de los suelos reportadas en la tabla 17, incluye los contenidos de elementos mayores y menores en el suelo 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 aplicados al maíz a los 15 y 35 días de edad del cultivo. 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 aluminio fluctuó entre 1.10 y 1.40 me/100 g de suelo, el calcio estuvo con un promedio de 1.14 me/100 gr de suelo, el magnesio en 0.22 y el potasio en 0.08 me/100 g de suelo. El contenido de sodio fue superior al de potasio en todos los tratamientos, En tanto la materia orgánica presentó un leve 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 determino las características químicas cuyos resultados se presentan en la tabla 18. Tal como sucedió en el momento de la cosecha del maíz, en esta ocasión 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 o en la presencia en el suelo, destacándose el fósforo cuyos contenidos pasaron de 11.8 ppm en el momento de la cosecha del maíz y antes de iniciar el pastoreo, a 4,2 ppm después de un año de pastoreo.

Tabla 17. Características químicas de los suelos después de cosechado el 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							ppm					
B. decumbens	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
Nitrógeno:																	
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
	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.(%)																	

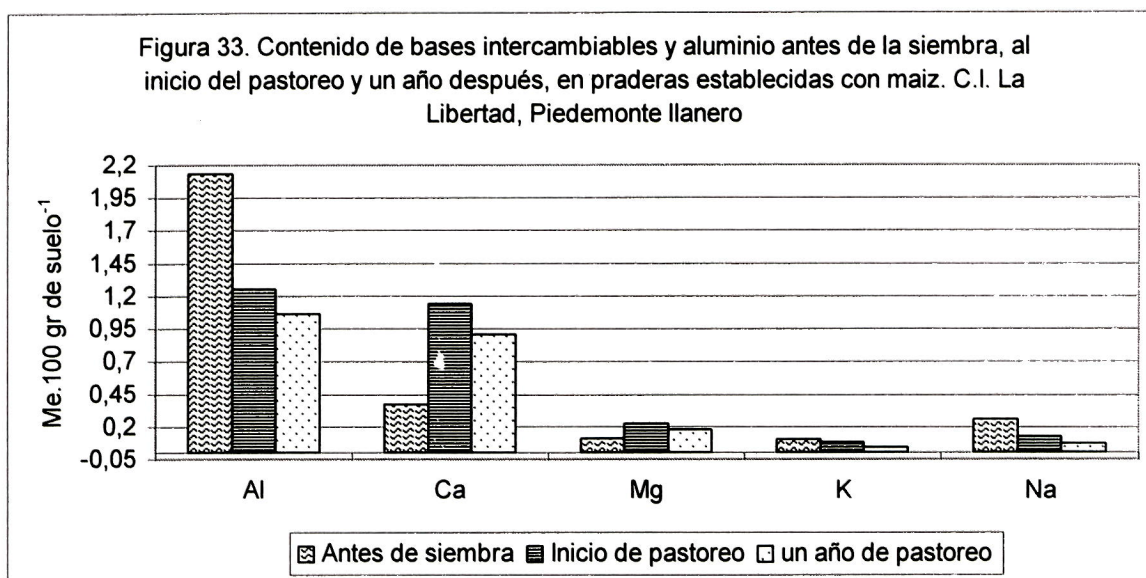
Tabla 18. Características químicas de los suelos después de un año de pastoreo

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							ppm					
B. decumbens	4,51	2,13	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
Nitrógeno:																	
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
	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

Haciendo un análisis comparativo en el contenido de cationes del suelo (figura 33), antes de la siembra de las asociaciones del maíz con los pastos, en el momento de la cosecha del maíz o 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 contenido de aluminio cuyos contenidos han ido disminuyendo al pasar de 2.13 a 1,25 y a 1.06 me 100 g de suelo⁻¹ en estos periodos.

El calcio antes de la siembra y de aplicar las enmiendas presento un contenido de 0.37 me 100 g de suelo⁻¹, después de la cosecha del maíz aumentó a 1.14 me 100 g de suelo⁻¹ y luego al año de pastoreo este valor fue de 0,91 me 100 g de suelo⁻¹ presentando un ligero decrecimiento, posiblemente por la extracción realizada por los pastos y por el ganado.

El contenido de magnesio se duplico con las enmiendas aplicadas antes de la siembra porque de 0.11 paso a 0.22 me 100 g de suelo⁻¹ al momento de la cosecha del maíz, sin embargo como lo sucedido con el calcio, el contenido de magnesio presento una leve disminución. El potasio es el mineral que ha ido disminuyendo su contenido en el suelo, ya que antes de iniciar con 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 sin embargo, el sodio, mineral considerado como no esencial en el desarrollo de las plantas, fue el que mayor reducción presento 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.



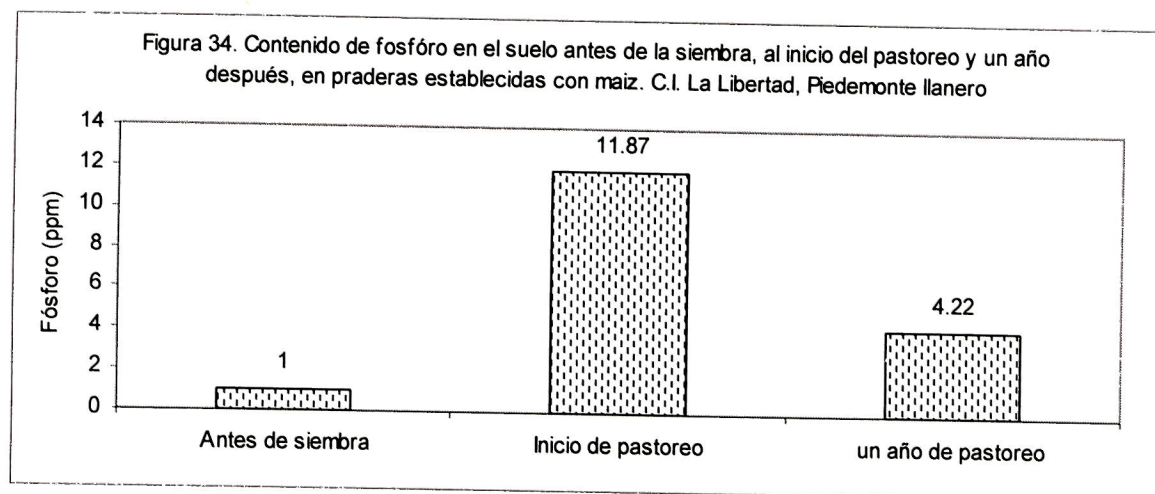
Teniendo en cuenta estos cambios sucedidos en la concentración de cationes en el suelo, la saturación de bases se aumento de 24.7 a 47.7 % para luego disminuir a 42.5% al año de pastoreo, la saturación de aluminio se redujo de 71.7 a 47.7%, la saturación de calcio se aumento en más de tres veces y la de magnesio en dos veces (Tabla 19), brindando las condiciones de saturación de bases adecuadas para el desarrollo de pastos exigentes como el pasto Toledo, con excepción del potasio, nutriente que será necesario suministrarlo con fertilización de mantenimiento.

Tabla 19. Saturación de bases intercambiables (%) antes de la labranza y 5 meses después (después de la cosecha del maíz, antes de iniciar pastoreo)

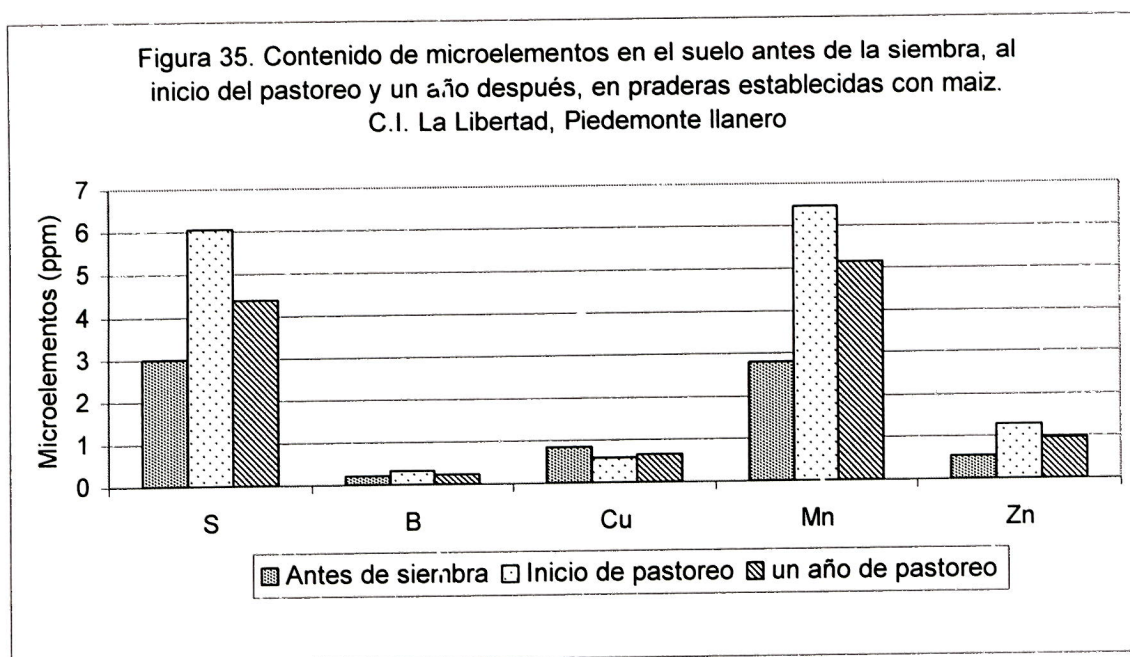
Característica	Antes de labranza	Después de cosecha de maíz	Después de un año de pastoreo
CIC	3.44	3.27	2.79
Saturación de bases	24.7	47.7	42,48
Saturación de aluminio	71.7	44.5	47,61
Saturación de calcio	12.5	40.6	40,30
Saturación de magnesio	3.7	7.8	7.7
Saturación de potasio	3.36	2.8	1,8

La materia orgánica con la siembra de las asociaciones 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%. Considerando que la materia orgánica es la fuente del N nutriente considerado como el más importante en la nutrición de pastos para la obtención de alta disponibilidad de biomasa con buen contenido de proteína, será necesario hacer fertilización de mantenimiento con productos nitrogenados

El fósforo fue uno de los minerales con mayor incremento al pasar de solo 1 ppm antes del establecimiento de las asociaciones, 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 fósforo y calcio. Sin embargo, se ha comprobado la mayor efectividad de fertilizantes solubles fosfatados como el fosfato diamónico y el superfosfato triple, en el cultivo de maíz (Hammond, 1982). Un factor que determina la conveniencia del uso de roca fosfórica es su valor residual. A diferencia de los nutrimentos móviles, el fósforo permanece disponible por largos periodos de tiempo cerca del sitio donde se aplicó para proporcionarle a los pastos establecidos en asociación con maíz, el fósforo requerido, después de su establecimiento. (CIAT, 1986). Después de un año de pastoreo, el contenido de fósforo disponible en el suelo se vio disminuido notoriamente al pasar de 11.8 ppm a 4.2 ppm (figura 34).



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 35), 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 azufre 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 fósforo mejoro 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 calcio, magnesio y azufre 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 20).

El potasio fue el único nutriente que presentó disminución, sin embargo es conocida la buena capacidad de restitución de este elemento en los suelos de los Llanos Orientales, por presencia de este elemento en las interláminas de las arcillas especialmente tipo 2:1 y por algún tipo de mecanismo fisiológico por el cual las plantas logran tal vez por generación de exudados de la raíz, asimilar el potasio fijado en las interláminas. La alta capacidad de estas arcillas especialmente la vermiculita y la vermiculita con interláminas de aluminio, en la fijación y suministro de potasio, hace que aún en pequeñas cantidades,

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 mecanismos, 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)

Tabla 20. Disponibilidad de minerales en el suelo (kg ha^{-1}) antes de la labranza y después de la cosecha del maíz.

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

2.13 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS DESPUÉS DE LA COSECHA DEL MAÍZ

Después de realizada la cosecha del maíz, se realizaron muestreos de suelos en todas las unidades experimentales para determinar las características físicas del suelo después de 5 meses de realizada la labranza y de desarrollo de la asociación maíz-pastos. En las 18 unidades experimentales se evaluó la textura del suelo obteniéndose un contenido promedio de arena, limo y arcilla de 59.8, 24.8 y 15.4% respectivamente, valores que permiten clasificarlo como un suelo franco arenoso. (Tabla 21)

Tabla 21. Textura del suelo donde se estableció la asociación maíz-pastos. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Estadística descriptiva	Arena	Limo	Arcilla
Media	59,78	24,82	15,40
Error típico	0,77	0,91	0,40
Mediana	60,48	24,28	16,20
Moda	60,48	21,64	16,20
Desviación estándar	3,28	3,87	1,68
numero de observaciones	18,00	18,00	18,00

La saturación de humedad de los suelos establecidos con *B. decumbens* y pasto Mulato fue de 29,7% significativamente superior ($P < 0.05$) a la saturación de humedad del suelo

donde se estableció el pasto Toledo, que fue de 27,7%. De igual forma, la liberación de agua del suelo a una tensión de 0,1 bar también fue significativamente inferior en el suelo del pasto Toledo, con un valor de 20,7%. Con respecto a la saturación de humedad a dos profundidades, se encontró que a 10 cm el suelo presentó 31,9 % de humedad siendo superior significativamente al valor encontrado a 20 cm, que fue de 26,2%. La capacidad de liberar agua a 0,1 bar también fue mayor significativamente a la profundidad de 10 cm, con 23,1%. (Tabla 22).

Un oxisol saturado alcanza su capacidad de campo aproximadamente a 1/3 de atmósfera después de dos días de drenaje libre, ya que liberan la mayoría de agua a tensiones inferiores a 1 bar (Wambeke, 1974 citado por CIAT, 1983), de allí en adelante, la liberación de agua es mínima para el suelo arcilloso hasta prácticamente nula para el suelo arenoso. A tensiones mayores de 1 bar, los oxisoles arcillosos retienen una mayor cantidad de agua que las arenas, con tal fuerza que solo la liberan a tensiones muy altas, cercanas a 100 bares. La consecuencia de este comportamiento es un ámbito con muy baja disponibilidad de agua para las plantas debido a que los oxisoles tienen poca capacidad para retenerla en el espacio entre los agregados, por esta razón estos suelos sufren severas deficiencias de agua durante la sequía. La definición de agua disponible en términos de la diferencia entre el agua retenida a la capacidad decampo (0.3 bares) y el punto de marchitez permanente (15 bares), no es aplicable a los oxisoles ya que estos alcanzan la capacidad de campo a tensiones menores (entre 0.1 y 0.2 bares). El agua disponible en estos suelos está realmente entre 0.1 y 1 bares, ya que el agua retenida a tensiones mayores de 1 bar es muy poco disponible para las plantas (CIAT, 1983).

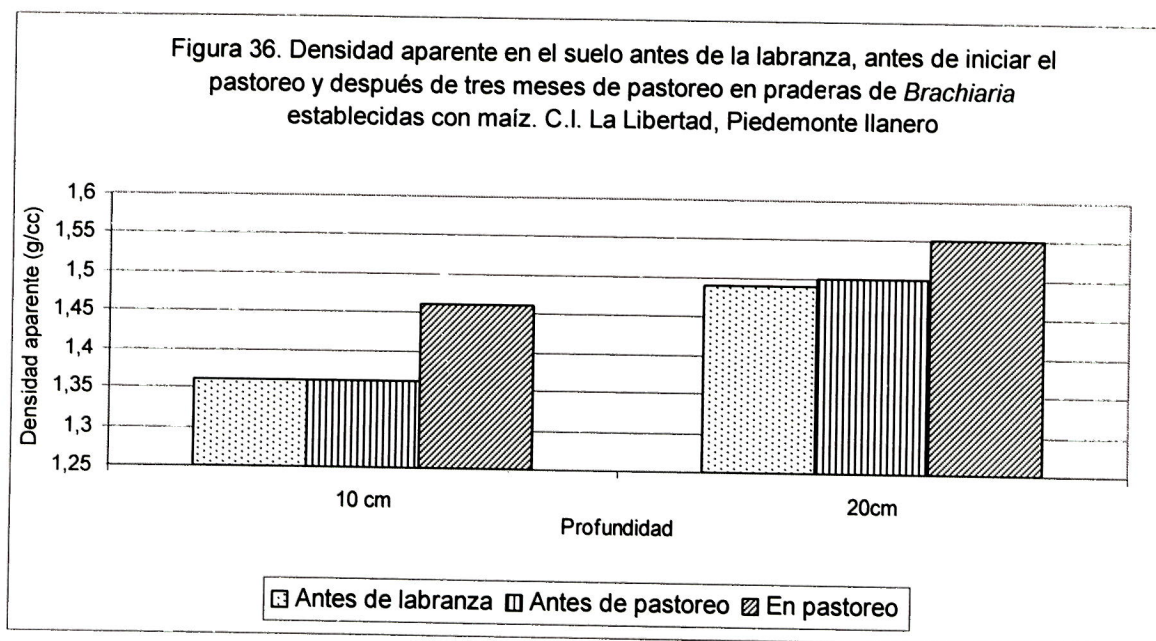
Después de la cosecha del maíz, la densidad aparente del suelo en donde se encontraba el maíz asociado con el pasto Toledo fue superior significativamente ($P<0.05$) con un valor de 1.46 g.cc⁻¹ frente a 1.42 g.cc⁻¹ obtenido en la asociación del maíz con los otros dos pastos. También se presentaron diferencias significativas a las dos profundidades evaluadas, ya que a 20 cm fue de 1.5 g.cc⁻¹ y a 10 cm de profundidad la densidad aparente fue menor con 1.36 g.cc⁻¹.

Tabla 22. Características físicas del suelo después de cosechado en maíz y antes de iniciar el pastoreo en praderas de *Brachiaria*. Piedemonte llanero.

Parámetro	Saturación Humedad (%)	Tensión de humedad (0.1bar)	Densidad aparente (g.cc ⁻¹)	Densidad real (g.cc ⁻¹)	Porosidad (%)
Pasto:					
B. decumb.	29,8 a	22,3 a	1,42 b	2,65 a	46,4 a
Mulato	29,6 a	22,1 a	1,42 b	2,64 a	45,9 a
Toledo	27,7 b	20,7 b	1,46 a	2,66 a	45,2 a
Profundidad:					
10 cm	31,9 a	23,1 a	1,36 b	2,63 b	48,1 a
20 cm	26,2 b	20,3 b	1,50 a	2,67 a	43,6 b
C.V (%)	3,9	2,6	0,8	1,2	1,8

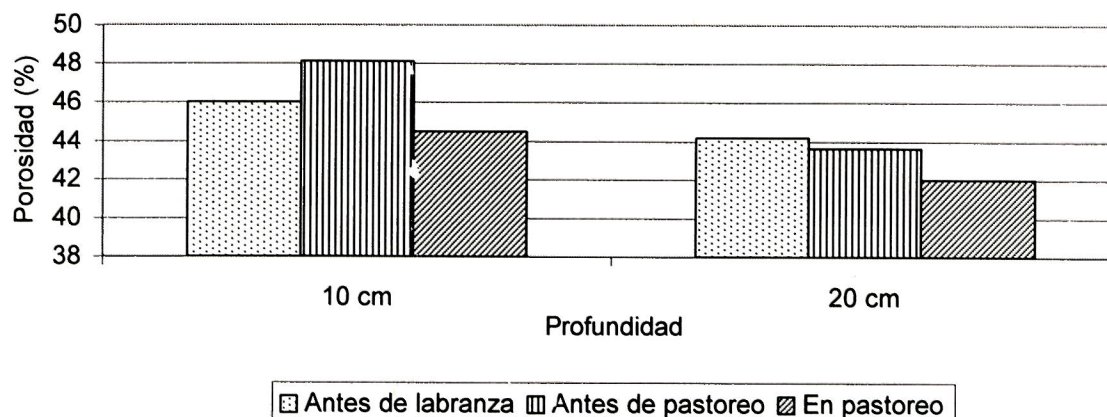
Valores en Columnas con letras iguales no difieren significativamente ($p<0.05$) Tukey

En la figura 36, se presenta la evolución de la densidad aparente desde antes de iniciar la labranza hasta antes de iniciar el pastoreo. La información obtenida muestra que no se presentó efecto de la labranza ni del desarrollo de la asociación maíz pastos, sobre la densidad aparente del suelo, ya que esta densidad medida antes de iniciar la labranza del suelo y después de la cosecha del maíz (antes de iniciar el pastoreo) presentó valores semejantes, a la profundidad de 10 cm con $1,36 \text{ g cc}^{-1}$ y a 20 cm donde aumentó a $1,5 \text{ g cc}^{-1}$. Por lo tanto, en la recuperación de una pradera degradada mediante el establecimiento de la asociación maíz-pastos, no se mejoró la densidad aparente del suelo. El pastoreo realizado con novillos aumentó los valores de densidad aparente del suelo, porque después de tres meses de estar los animales en los potreros, la densidad aparente aumentó a $1,46$ y a $1,55 \text{ g cc}^{-1}$ una profundidad de 10 y 20 cm respectivamente.



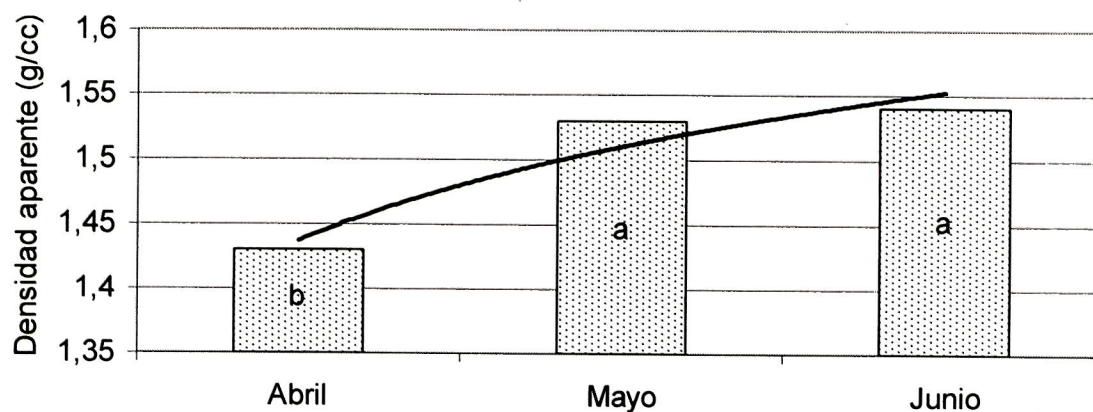
La porosidad del suelo se vio levemente favorecida con la labranza del suelo, en los primeros 10 cm del suelo al aumentar de 46 a 48%, sin embargo, después de tres meses de pastoreo, la porosidad se redujo a valores inferiores a los tenidos antes de realizada la labranza. La reducción de la porosidad es mayor a la profundidad de 20 cm y también se presentaron efectos negativos de la labranza y del pastoreo porque de 44% antes de la labranza pasó a 42% después de tres meses de pastoreo. (Figura 37)

Figura 37. Porosidad a dos profundidades del suelo, antes de la labranza, antes del pastoreo y después de tres meses de pastoreo en praderas de *Brachiaria* establecidas con maíz. Piedemonte llanero



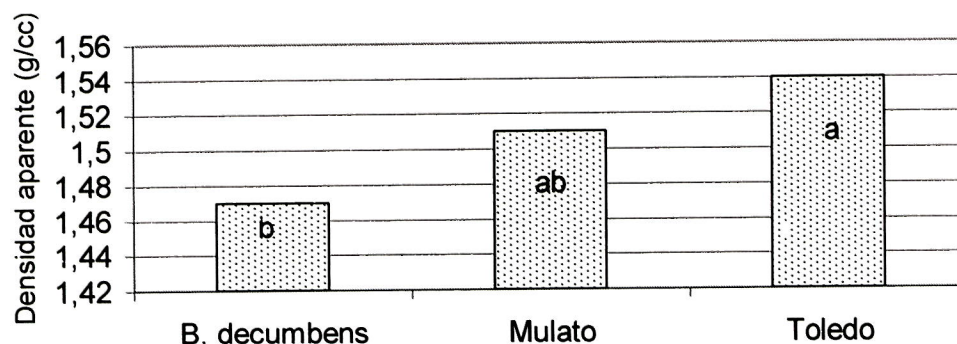
Durante los primeros tres meses de pastoreo, se presentó una tendencia de incremento de la densidad aparente del suelo. En abril, cuando se inició el pastoreo, la densidad aparente fue de 1,43 g/cc, en mayo el valor aumentó a 1,53 g cc⁻¹ y en junio se presentó un leve incremento a 1,54 g cc⁻¹ (figura 38).

Figura 38. Densidad aparente del suelo en praderas establecidas con la asociación maíz - pastos, durante los tres primeros meses de pastoreo. Piedemonte llanero.



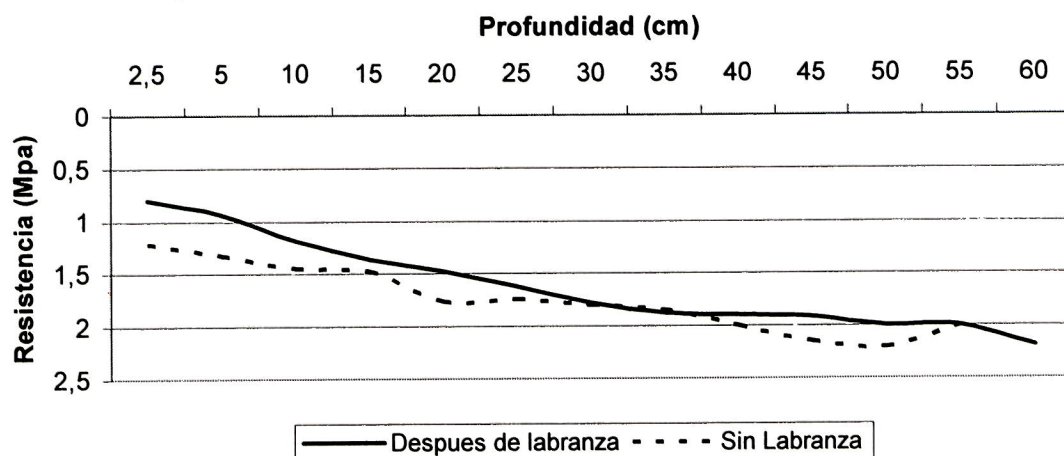
En el suelo donde se establecieron el *B. decumbens*, y el pasto Mulato la densidad aparente fue significativamente inferior ($P < 0.05$) en los primeros tres meses de pastoreo con 1,47 y 1,51 gr/cc respectivamente. Contrario a esto, el suelo del pasto Toledo presentó una densidad aparente más alta, con 1,54 g/cc (figura 39). Es probable que por el crecimiento erecto de este pasto, se queden espacios descubiertos del suelo que estarían en contacto directo con la pezuña del animal, favoreciendo más la compactación del suelo.

Figura 39. Densidad aparente en suelos establecidos con tres pastos asociados con maíz, en los primeros tres meses de pastoreo. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

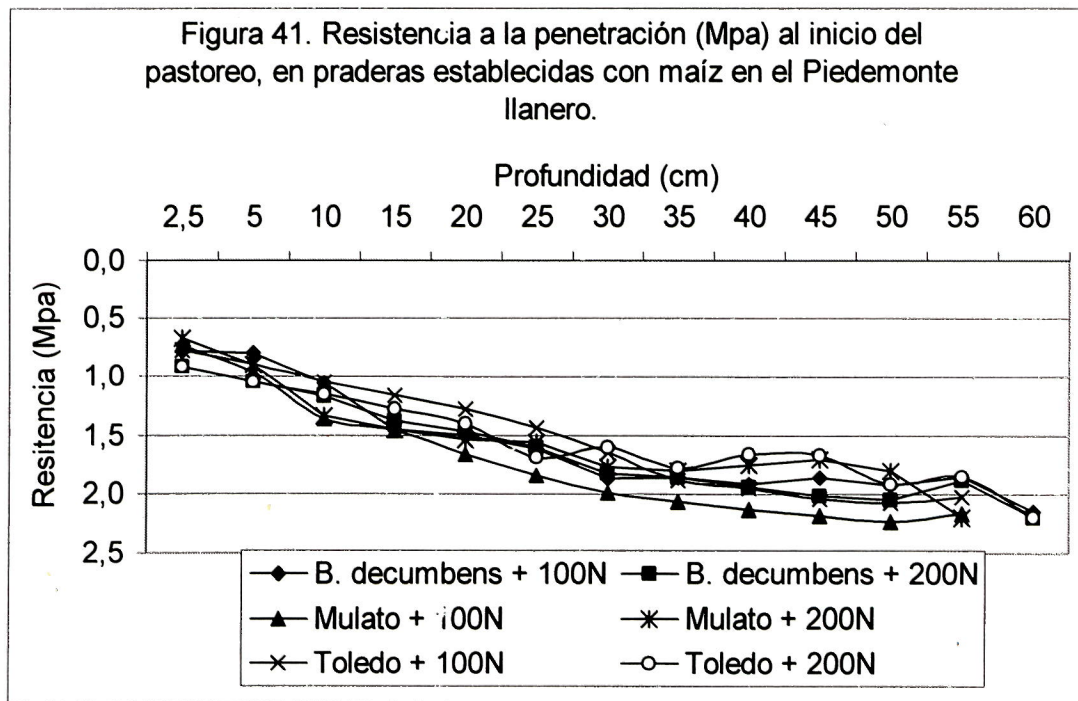


La labranza realizada con cincel rígido, disminuyó un poco la resistencia a la penetración en los primeros 20 cm de profundidad del suelo en un rango de 0.80 a 1,48 Mpa, (figura 40) sin embargo, solo hasta 10 cm de profundidad este valor fue de 1,19 Mpa, considerado como aceptable. En el suelo que no fue disturbado con labranza y en el suelo que fue preparado y sembrado con la asociación maíz-pastos, la resistencia a la penetración fue en aumento en la medida que se profundiza en el perfil del suelo, hasta alcanzar valores cercanos a los 2 Mpa a 40 cm de profundidad. La resistencia a la penetración es una limitante para el desarrollo de las raíces de los pastos, por lo tanto debe procurarse hacer una labranza profunda. Los resultados obtenidos demuestran que la labranza para la siembra de la asociación maíz-pastos llegó a una profundidad de 20 cm.

Figura 40. Resistencia a la penetración en praderas degradadas de *B. decumbens*, sin labranza y 5 meses después de la labranza, para su recuperación con la asociación maíz pastos en el Piedemonte llanero



En las evaluaciones sobre resistencia a la penetración realizadas sobre los tres pastos con los dos niveles de N, se encontró un comportamiento semejante en todos los tratamientos, con aumento de los valores a medida que se profundizaba en el suelo, confirmando que las mejores condiciones físicas para el desarrollo de las raíces se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, (figura 41)



2.14 CONTENIDO DE MINERALES EN PRODUCTOS VEGETALES

Se analizó el contenido de minerales en el grano de maíz cosechado, en las socas del cultivo de maíz y en los pastos, para determinar la extracción y reciclaje de nutrientes por los 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 23). El grano de maíz presentó mayor contenido de N (1.1 %) con respecto a los otros minerales analizados, seguido por el potasio (0.54 %) y el fósforo (0.31%). El calcio fue el elemento de menor contenido con solo 0.021 %.

Tabla 23. Contenido de minerales en el grano de maíz (%) cultivado en asociación con tres pastos y dos niveles de N

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
Nitrógeno:						
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

En la planta de maíz (hojas y tallos), el contenido de potasio fue superior significativamente ($P < 0.05$), en el tratamiento donde este cultivo estuvo asociado con *B. decumbens* seguido por la asociación con pasto Toledo y pasto Mulato con 0,81, 0,73 y 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 fósforo se presentó en cantidades muy bajas, con solo 0.017 %. El calcio, magnesio y azufre 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 casi la mitad del encontrado en el grano de maíz (tabla 24). Con respecto a los tratamientos con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N, se presentaron diferencias significativas, con excepción del contenido de potasio a favor del tratamiento con 200 kg de N, que fue de 0,79%.

Tabla 24. Contenido de minerales (%) en la planta de maíz (hojas y tallos) cultivado en asociación con tres pastos y dos niveles de N

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
Nitrógeno:						
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

Valores en columnas con letras iguales no difieren significativamente ($p < 0.05$) Tukey

En los pastos, el Mulato fue superior significativamente ($P < 0.05$) en la extracción de calcio y azufre con 0.29 y 0.16 % respectivamente. En los otros minerales, su 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 en el contenido de este elemento en las hojas, lo mismo que en los demás minerales con excepción del Ca y S que a la dosis de 200 kg ha⁻¹, fue de 0,24 y 0.15 %, respectivamente. (Tabla 25).

Tabla 25. Contenido de minerales (%) en las hojas de pastos establecidos en asociación con maíz, en el momento de la cosecha del maíz.

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
Nitrógeno:						
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

Valores en columnas con letras iguales no difieren significativamente ($p < 0.05$) Tukey

El contenido de N en las el grano de maíz y en las hojas del pasto fue de 1.10% sin llegar a presentar variación entre las dos especies, este valor expresado en proteína cruda tanto en el grano como en el forraje, equivale a un 6.9%, sin embargo, en la planta seca del maíz, este nutrimento se presentó en concentraciones más bajas (0,49%), lo mismo que

el fósforo cuyo contenido fue de solo 0,02%, en cambio en el grano del maíz el contenido de fósforo fue del 0,36% y en el pasto de 0,14%. En la planta del maíz (hojas y tallos), el elemento que presentó mayor contenido que el encontrado en el grano, fue el potasio con 0,73%, no obstante, en las hojas de pasto, se acumuló más potasio, calcio, magnesio y azufre. También se encontró que el mineral más limitante por su bajo contenido en el grano de maíz fue el calcio con solo 0,02% y los que más se acumularon fueron el N y el fósforo.

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 4.463, 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 26 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 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 con 45 kg ha⁻¹ y el potasio con 40 kg ha⁻¹, mientras los de menor extracción son el P con 5.5 kg ha⁻¹ y el S con 6 kg ha⁻¹.

Tabla 26. 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

La disponibilidad total de N para el desarrollo de la asociación maíz-pastos, fue de 104 kg ha⁻¹ proveniente de la fertilización nitrogenada y de la mineralización del 2.2% de la materia orgánica, que aportó 44 kg ha⁻¹ de N. El balance del N se realizó con la dosis de 100 kg ha⁻¹ de N de los cuales se estima que el 60% es aprovechado por la planta y el otro 40% se pierde por volatilización o lixiviación, por lo tanto el cultivo dispuso de 60 kg ha⁻¹ de N proveniente del fertilizante aplicado, 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 planta del maíz (hojas y tallos), 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 31.9 kg contenido en la orina y heces de los bovinos que consumieron el forraje. Se estima que el 70% de los 45,6 kg ha⁻¹ de N consumido por los animales en el forraje, retorna al suelo en las excretas.

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 diamónico (DAP), que aportó 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 mas adelante servirá para la nutrición del pasto. De los 18.4 kg de P extraído por el maíz y el pasto, solo retornó al suelo 4.52 kg en la soca del maíz y en las excretas de los bovinos, por consiguiente el 75% del P extraído por estos cultivos sale del sistema y se recicla en 25%.

La disponibilidad natural de K en el suelo de 78 kg ha⁻¹ se aumentó con otros 75 kg contenidos los 150 kg de KCl aplicados en la fertilización, 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, 33.5 kg ha⁻¹ salieron del sistema en el grano de maíz y en carne y retorno al suelo 55.8 kg ha⁻¹ que equivale a un 62% del K absorbido.

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) y el Ca aportado por el suelo fue de 148 kg ha⁻¹. Sin embargo el Ca extraído por las plantas fue de solo 15.3 kg ha⁻¹ y retornó al suelo en soca de maíz y en excretas de los animales, el 76% 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, 11.4 kg ha⁻¹ retornaron al suelo. 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 7.9 kg ha⁻¹. (Tabla 27).

Del total de minerales absorbidos por las plantas, gran parte retornó al suelo, siendo el Ca, Mg, K y N los elementos que regresaron en mayor cantidad con un 76, 62, 54 y 46% respectivamente. El K y el P fueron los minerales que regresaron al suelo en menor cantidad con 25 y 24% respectivamente.

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 en el análisis de suelos realizada inmediatamente después de cosechado el grano, se encontró que el N presentó buena correspondencia entre lo estimado y el análisis de suelo, con una disponibilidad de 46 kg ha⁻¹. La disponibilidad de P fue un tanto superior (23 46 kg ha⁻¹) en lo arrojado 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 mobilizarse en el perfil del suelo (Gomes et al., 2001, Monteiro et al., 2004). 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 119.4 46 kg ha⁻¹ y la obtenida en el análisis de suelos de 62.4 46 kg ha⁻¹

Tabla 27. 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.

	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
Hojas y tallos 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
Retorna al suelo:						
En soca de maíz	17,52	0,67	27,73	5,42	5,67	3,67
En orina y heces	31,91	3,85	28,04	6,47	5,85	4,24
Total	49,43	4,52	55,78	11,89	11,52	7,91
Minerales en el suelo						
después de cosecha de maíz (estimada)	46.7	18.1	119.4	699.4	107.5	42.2
Minerales en el suelo						
después de cosecha de maíz (análisis de suelos)	46.0	23.8	62.4	456.0	52.8	12.0

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

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

³. El calcio 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 calcio además de nutriente a la planta su principal función es la de neutralizar al aluminio y mejorar la saturación de bases del suelo.

4. El magnesio es aportado por la cal dolomítica aplicada
5. El azufre 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

2.15 DISPONIBILIDAD DE FORRAJE Y PRODUCCIÓN ANIMAL EN LAS PRADERAS ESTABLECIDAS CON LA ASOCIACIÓN MAÍZ-PASTOS

2.15.1 DISPONIBILIDAD DE FORRAJE PARA INICIAR EL PASTOREO

A los 30 días de realizada la uniformización de las praderas y antes de iniciar el pastoreo definitivo, se realizó una evaluación de disponibilidad de forraje inicial (tabla 28), encontrándose una mayor disponibilidad 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 de 2000 kg ha⁻¹. Los tres pastos tuvieron una proporción promedia de materia seca de 28% y no se presentaron diferencias de producción de forraje con respecto a los niveles de N empleados en el establecimiento de estos pastos con el maíz.

Tabla 28. 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	7.85	28.6	2230
200 kg ha ⁻¹	8.54	27.3	2350
	ns	ns	ns
CV (%)	26.7	8.5	24.0

Valores con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

El pastoreo se inicio en el mes de abril de 2005 con las praderas bien establecidas y con una disponibilidad de forraje que garantizaba un buen rendimiento animal, sin embargo las condiciones de clima afectaron negativamente el desarrollo de estos pastos. La alta precipitación durante los meses de abril, mayo y junio que totalizó cerca de los 1200 mm en estos tres meses, la alta humedad relativa que fue de 86% y la temperatura de 25.5 °C favorecieron la aparición de plagas y enfermedades que afectaron al pasto Mulato y al *B. decumbens*.

En el mes de mayo las plantas de Mulato fueron atacadas por una plaga conocida como *Antonina graminis*. Esta es una escama que afectó la disponibilidad de forraje, porque el 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 simultanea durante este mismo mes, en aquellas áreas con saturación temporal de humedad en el suelo después de la ocurrencia de fuertes lluvias, las plantas de pasto Mulato murieron en su totalidad, causada por una enfermedad de la raíz cuyo agente causal fue el hongo *Rizoctonia* sp. El área afectada por esta enfermedad cubrió aproximadamente el 30 % de las praderas de pasto Mulato.

A finales de mayo y comienzos de junio, 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 29), 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 como es el *B. decumbens*, donde la acumulación de biomasa muerta fue superior significativamente ($P < 0.05$) con 6117 kg ha^{-1} a los 10 meses después de cosechado el grano de maíz. Las praderas del pasto Toledo presentaron una acumulación de 2797 kg ha^{-1} de liter, significativamente inferior y el pasto Mulato, en forma semejante al *B. decumbens* también acumuló mayor cantidad de liter (2797 kg ha^{-1})

Tabla 29. Acumulación de biomasa muerta (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

Valores con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

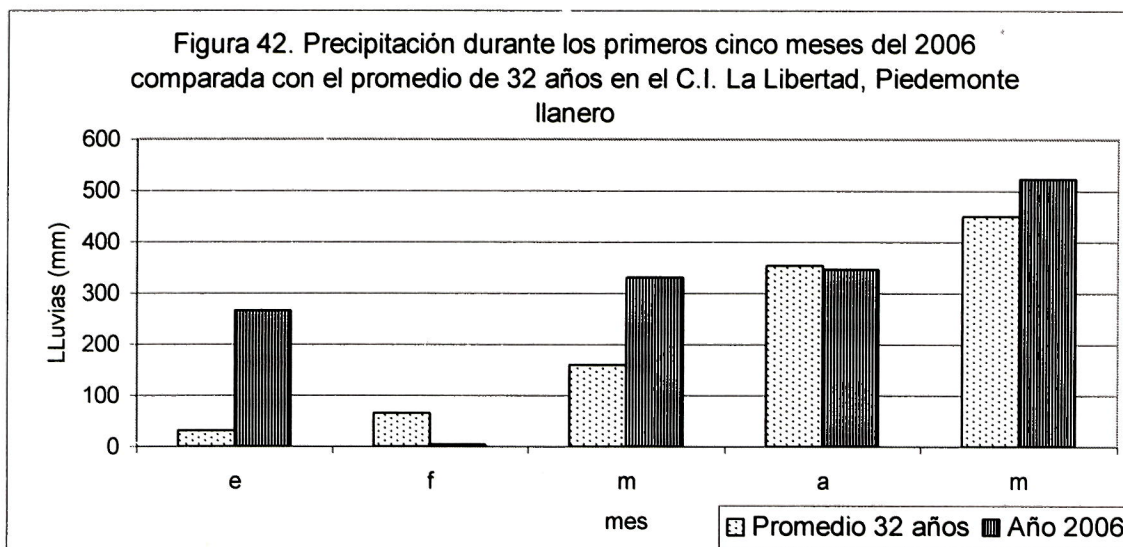
2.15.2 DISPONIBILIDAD DE FORRAJE DURANTE LAS ÉPOCAS LLUVIOSA Y SECA

En las evaluaciones realizadas después de 28 días de descanso de las praderas, de acuerdo al sistema de pastoreo rotacional (14 días de ocupación y 28 días de descanso), 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 30), siendo significativamente ($P<0.05$) superior a los valores encontrados en los dos primeros. De igual forma el forraje residual medido desde la superficie del suelo hasta el sitio de corte que se hizo para medir el forraje disponible, 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% en tanto, 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 en el mes de enero que ha tenido una precipitación promedio de 30 mm, en este año la precipitación fue de 266 mm (figura 42) beneficiando al desarrollo de las plantas porque no se vieron afectadas por estrés hídrico como es normal durante esta época. Es así que 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 que quedó después del pastoreo fue de un 46% en la época lluviosa y de un 43% en la época seca, del total producido.

Tabla 30. 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.

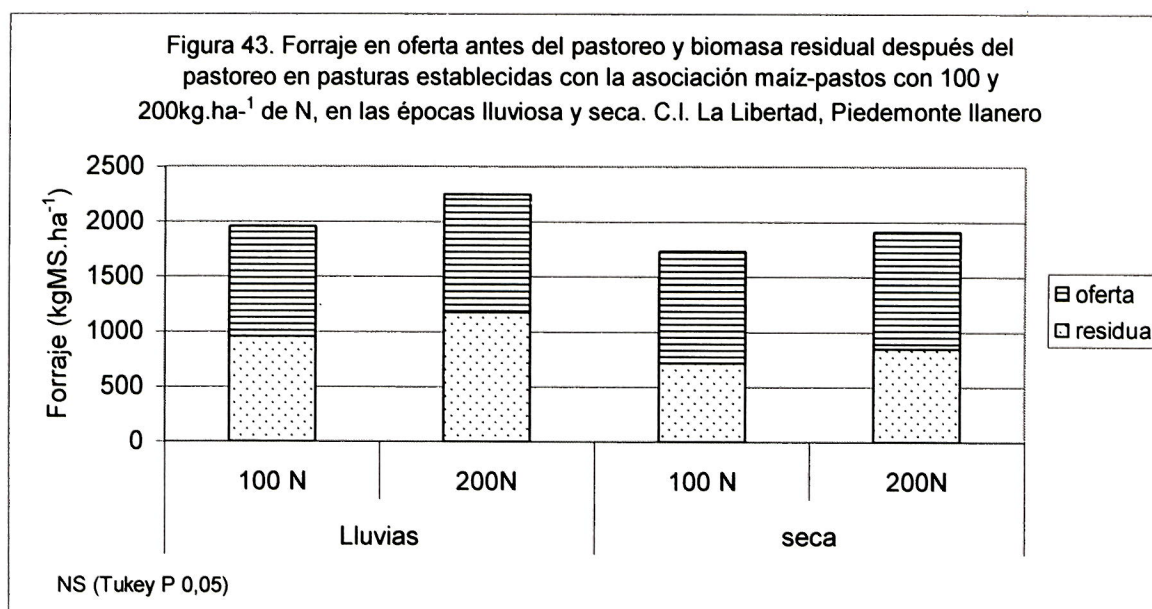
Pasto	Forraje disponible (kgMS ha ⁻¹)		Forraje residual (kgMS ha ⁻¹)	
	Lluvias	seca	Lluvias	seca
<i>B. decumbens</i>	796 b	931 a	883 b	671 b
Mulato	1061 ab	1151 a	765 b	806 a
Toledo	1294 a	1066 a	1053 a	845 a
C.V. (%)	25,5	28,1	22,5	21,9

Promedios con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($P<0.05$)



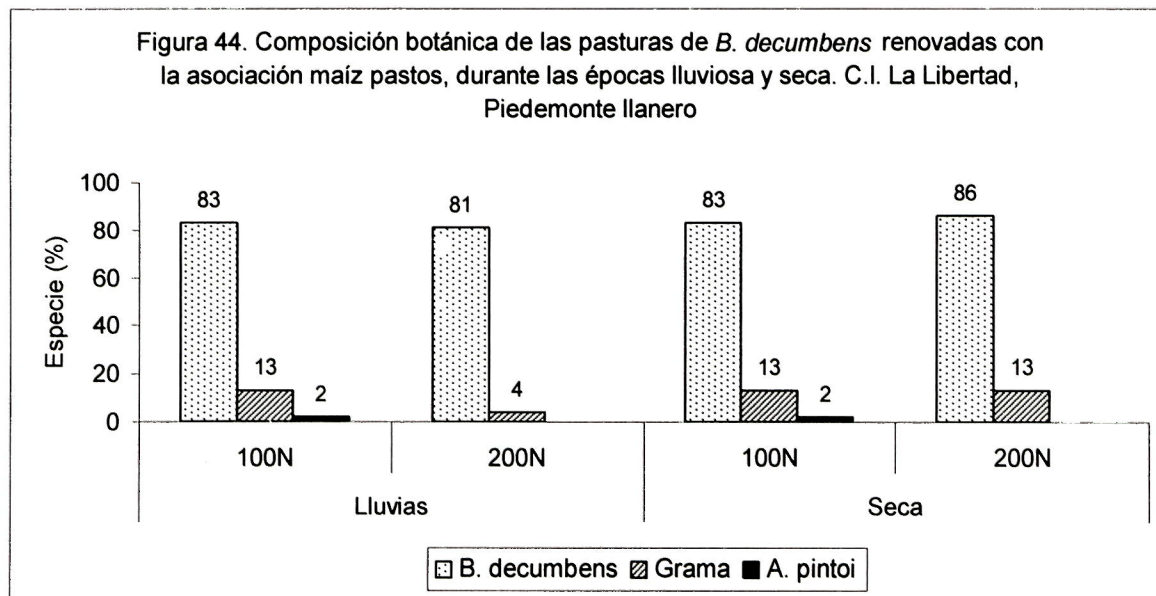
Las dosis de N de 100 y 200 kg ha⁻¹ aplicadas en el establecimiento de los pastos en asociación con el maíz, no afectaron significativamente la disponibilidad de forraje ni al forraje residual durante las épocas lluviosa y seca (figura 43). Durante el periodo de lluvias en la dosis de 100 kg de N se 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 la 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.



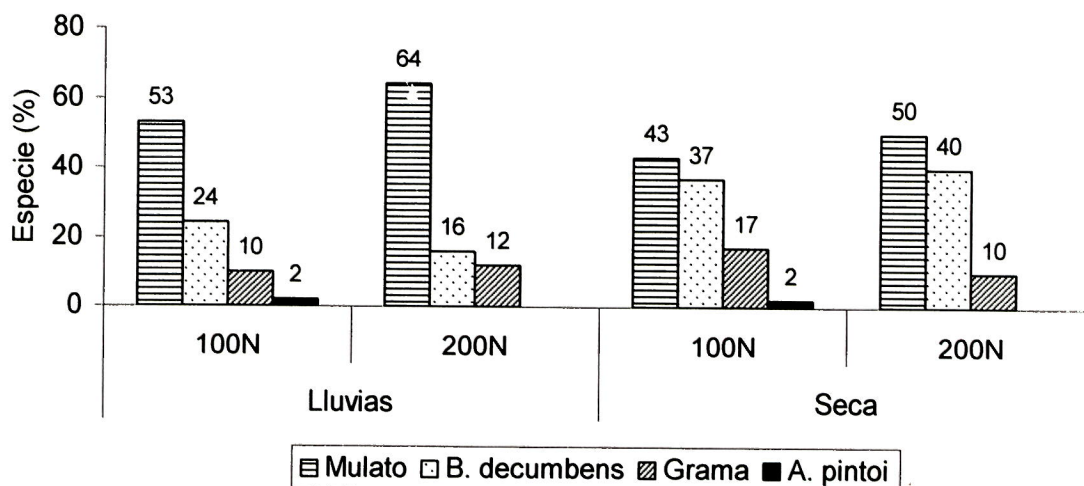
2.15.3 COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LAS PRADERAS

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%. (Figura 44)



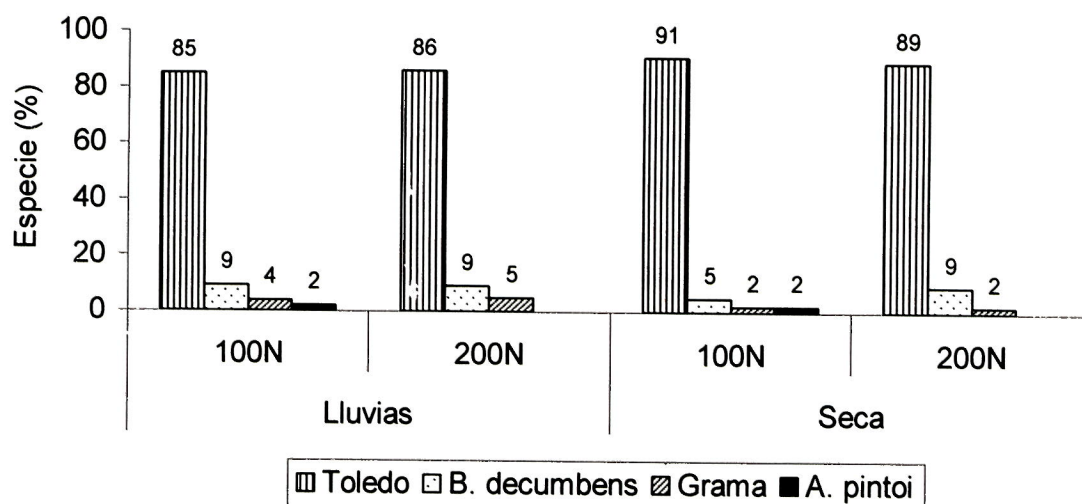
Las praderas de pasto Mulato se caracterizaron por una mayor diversidad de especies, destacándose además del Mulato, la presencia de *B. decumbens*. En los primeros 120 días, se pudo determinar que la proporción del pasto Mulato fue de 53% y 64% en las dosis de 100 y 200 kg de N respectivamente, sin embargo a los 270 días que coincidió con la época seca, (no se presentó déficit de agua por las lluvias caídas en enero) 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. pinto* solo se presentó en un 2% (Figura 45).

Figura 45. Composición botánica de las pasturas de Mulato renovadas con la asociación maíz pastos, durante las épocas lluviosa y seca. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero



La proporción del pasto Toledo se aumento 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. pinto* en este caso también solo se presento 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. (Figura 46)

Figura 46. Composición botánica de las pasturas de Toledo renovadas con la asociación maíz pastos, durante las épocas lluviosa y seca. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

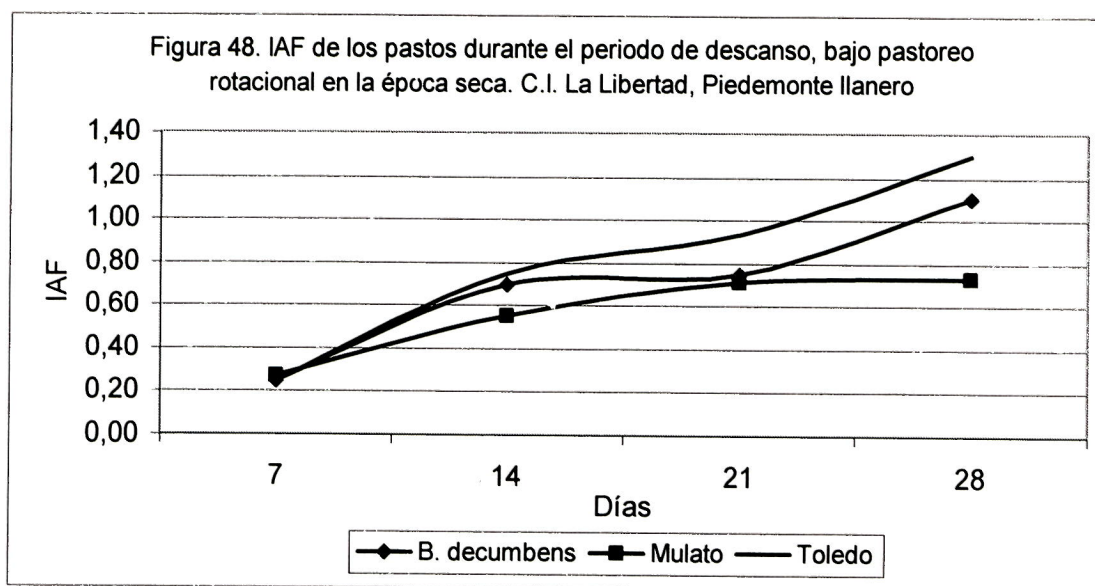
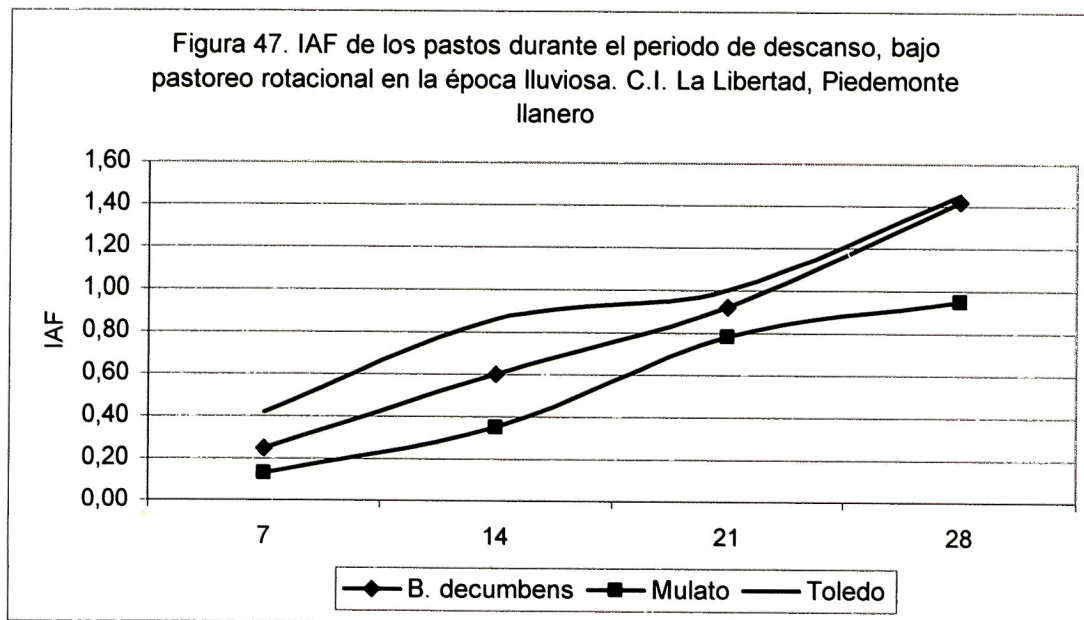


La leguminosa forrajera *A. pinto* se estableció con los tres pastos, en el tratamiento con 100 kg ha⁻¹ de N, con el propósito de determinar el aporte de N biológico al sistema, durante la fase de pastoreo, por los antecedentes que se tienen con esta leguminosa de buena asociación con gramíneas forrajeras, alta calidad, buen consumo por los animales y persistencia durante varios años, en la asociación con *Brachiaria* sp. bajo pastoreo (Pizarro y Rincón, 1995; Rincón *et al*, 1993). La siembra realizada con material vegetativo a una distancia de un metro entre plantas y entre surcos, originó plantas bien establecidas, sin embargo, su crecimiento fue afectado 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. pinto*.

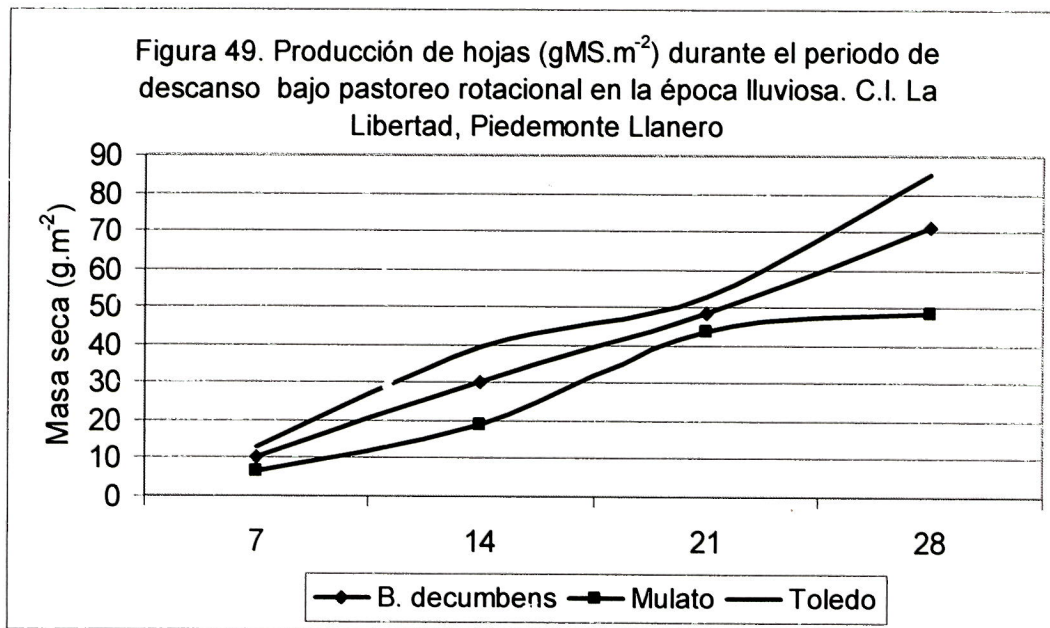
El *A. pinto* es una especie que tiene un crecimiento postrado y su altura no supera los 20 cm., se desarrolla bien en asocio con otras especies por su tolerancia a la sombra moderada, pero por la capa de biomasa que cubrió estas plantas durante un periodo prolongado en la fase de pastoreo, las plantas que inicialmente se establecieron bien, desaparecieron en su gran mayoría. Por consiguiente, no se recomienda establecer leguminosas con crecimiento postrado, en asociaciones de maíz – pastos, cuando el producto final del maíz es el grano. En asociaciones de maíz forrajero con pastos, es probable que el *A. pinto* no presente los problemas de establecimiento observados, porque, la cosecha de la planta de maíz en mezcla con el pasto, se realiza en forma más temprana (80 dds), evitando de esta forma la alta acumulación de biomasa. Por otra parte la cosechadora del forraje corta el maíz y el pasto a una altura aproximada de 25 cm y posteriormente se almacena en silos, por lo tanto el *A. pinto* tendrá buen espacio y luz para desarrollarse.

2.15.4 CAPACIDAD DE REBROTE DE LOS PASTOS

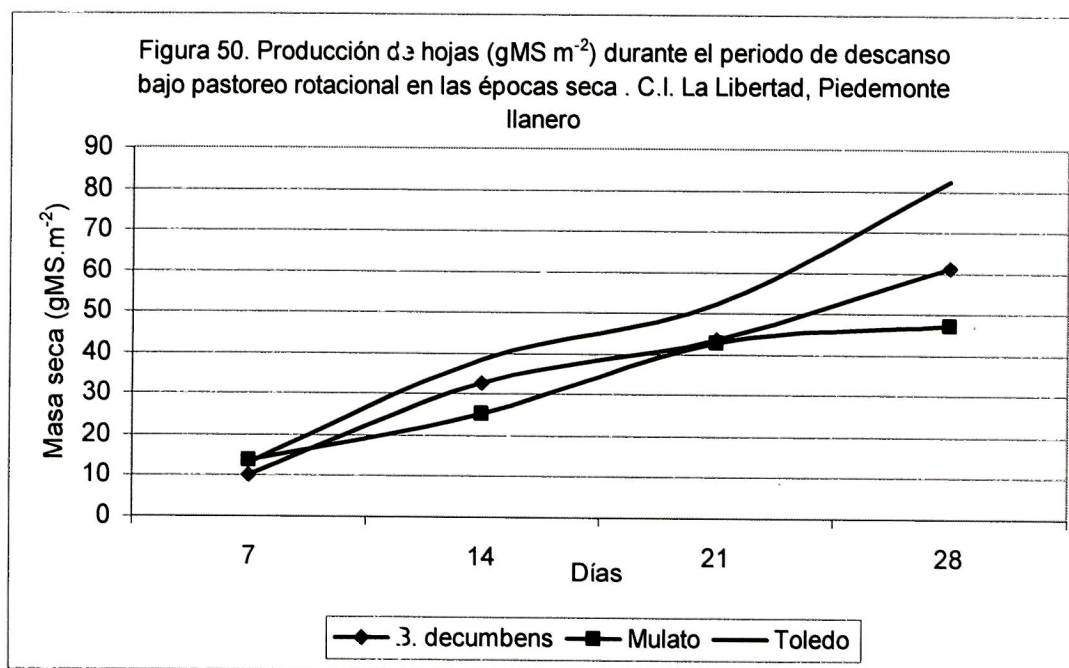
Durante el periodo de descanso de las praderas de 28 días, en el sistema de pastoreo rotacional (14 días de ocupación y 28 días de descanso), se evaluó la capacidad de rebrote de los tres pastos en época lluviosa y en época seca. Las evaluaciones realizadas a los 7, 14, 21 y 28 días después de la salida de los animales de los potreros, demostraron una superioridad del pasto Toledo en el desarrollo de área foliar y en la producción de biomasa durante los cuatro periodos de evaluación en las dos épocas estacionales. El índice de área foliar del pasto Toledo alcanzó a 1,45 en la época lluviosa, seguida por el *B. decumbens* con 1,42 y el pasto Mulato con 0,95 (Figura 47). En la época seca fue ligeramente inferior pero se conservó la misma tendencia con 1,3, 1,1 y 0,73 respectivamente. (Figura 48)



El desarrollo del área foliar de los pastos se vio reflejada en la producción de biomasa foliar con un comportamiento similar de estos dos parámetros durante las dos épocas de evaluación. En la época lluviosa, el pasto Toledo en los primeros 7 días de descanso tuvo una producción de $12,9 \text{ gMS m}^{-2}$, a los 14 días fue de $39,4 \text{ gMS m}^{-2}$ a los 21 días produjo $52,7 \text{ gMS m}^{-2}$ y luego aumentó a $85,4 \text{ gMS m}^{-2}$ a los 28 días cuando nuevamente iban a entrar los animales al pastoreo (figura 49). De acuerdo a estos resultados, se puede afirmar que la capacidad de producción de biomasa del pasto Toledo en época lluviosa es de $30,5 \text{ kgMS ha día}^{-1}$. El pasto Mulato fue el de menor producción de biomasa en el periodo de descanso porque al final de los 28 días se obtuvo $48,6 \text{ gMS m}^{-2}$ que equivale a $17,3 \text{ kgMS ha día}^{-1}$, mientras que el *B. decumbens* produjo $71,3 \text{ gMS m}^{-2}$ con un crecimiento de $25,4 \text{ kgMS ha día}^{-1}$.

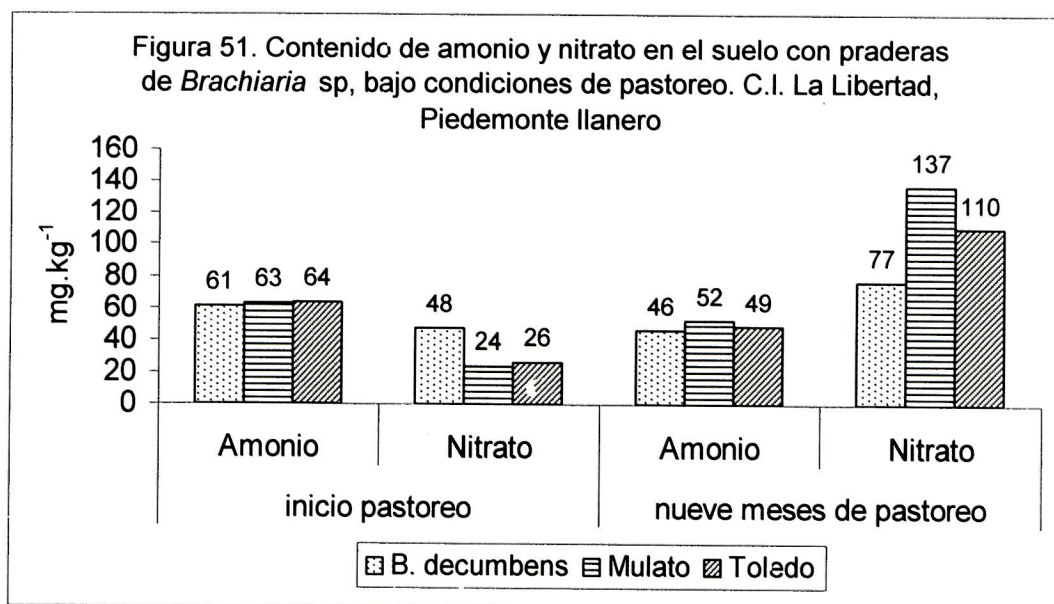


Durante la época seca, la producción de biomasa foliar de los pastos conservó la misma tendencia de la época lluviosa, aunque un tanto inferior. Los pastos Toledo, Mulato y *B. decumbens*, iniciaron a los siete días de descanso con una producción de 12.9, 13.7 y 10.1 gMS m^{-2} , respectivamente, y finalizaron a los 28 días con una disponibilidad de biomasa foliar de 82.3, 47.1 y 61.2 gMS m^{-2} en el mismo orden, equivalente a 29.4, 16.8 y 21.8 $\text{kgMS ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ (figura 50).

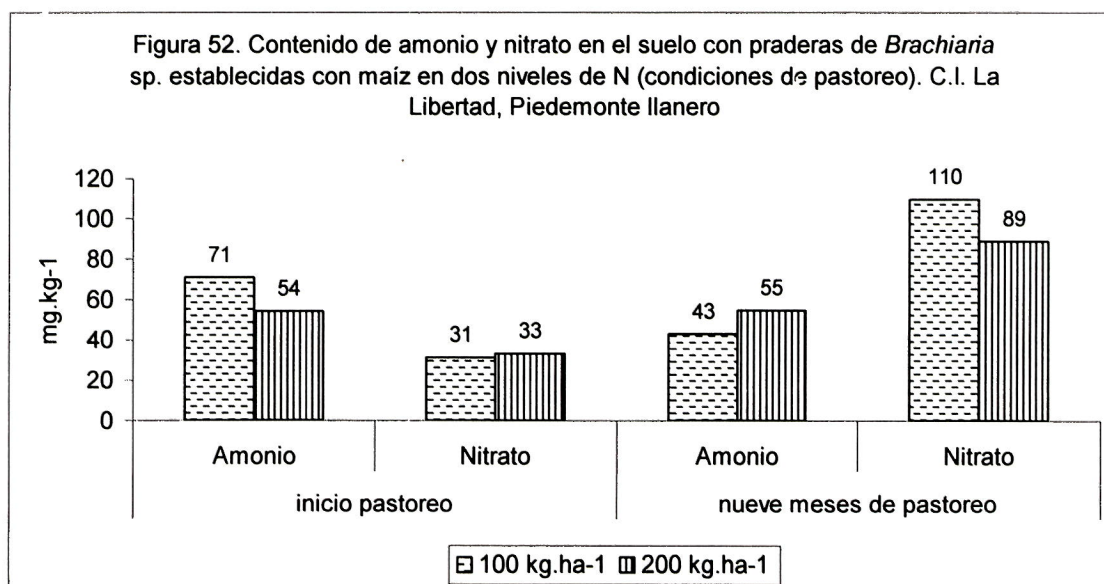


2.15.5 NITRÓGENO EN EL SUELO DURANTE LA FASE DE PASTOREO

El contenido de N en el suelo cuando se inicio el pastoreo en el mes de abril de 2005, se presentó en mayor cantidad en forma de amonio con un promedio de 62 mg kg^{-1} en el suelo con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, mientras que el contenido de nitrato fue menor especialmente en el suelo con los pastos Mulato y Toledo con 24 y 26 mg kg^{-1} respectivamente (figura 51). A los nueve meses después de iniciado el pastoreo, el contenido de N en el suelo fue inverso a lo presentado al inicio del pastoreo, porque el contenido de nitrato en el suelo fue mayor que el amonio. El nitrato en el suelo fue ampliamente superior al encontrado nueve meses atrás especialmente en las praderas de Mulato y Toledo, con 137 y 110 mg kg^{-1} respectivamente.



Con respecto a los tratamientos de 100 y 200 kg ha^{-1} de N aplicados al maíz en el establecimiento asociado con los pastos, se comprobó la ausencia de efectos de estas dosis de N sobre el contenido de este elemento a los 8 meses (inicio del pastoreo) y 17 meses después de realizada la siembra (nueve meses de pastoreo). El contenido de nitratos al inicio del pastoreo fue menor que el contenido de amonio y la concentración de nitratos en el suelo fue similar en los dos niveles de N aplicados en la siembra en tanto el contenido de amonio fue superior en las dosis de 100 kg ha^{-1} . A los nueve meses de iniciado el pastoreo, también se presentó mayor concentración de nitratos en la dosis de 100 kg ha^{-1} con 110 mg kg^{-1} (figura 52)



En la tabla 31 se presenta el promedio de amonio y nitratos en el suelo, y su equivalente en cantidad de N disponible, encontrándose que al inicio del pastoreo el N a partir del amonio fue de 97.2 kg ha⁻¹ y el N a partir del nitrato solo llegó a 14.6 kg ha⁻¹. A los nueve meses de iniciado el pastoreo, el N -NO₃ se aumentó en más de tres veces con respecto a la primera evaluación y el N-NH₄ fue de 76 kg ha⁻¹. La sumatoria del N proveniente del amonio y del nitrato es el N inorgánico soluble en el suelo que esta disponible para ser aprovechado por las plantas, fue de 119 y 125 kg ha⁻¹ al inicio del pastoreo y a los nueve meses después.

Tabla 31. Contenido de amonio y nitrato en el suelo al inicio del pastoreo y nueve meses después en praderas establecidas en asocio con el maíz.

Época de evaluación	Nitrato			Amonio			N inorgánico en el suelo (kg ha ⁻¹)
	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	N(kg ha ⁻¹)	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	N(kg ha ⁻¹)	
Inicio pastoreo	32,3	64,4	14,6	62,5	125	97,2	118,8
Nueve meses de pastoreo	107,8	216	49	48,9	98	76	125

Aunque las condiciones bajo las cuales se estableció la leguminosa *A. pinto*, no permitió obtener una asociación de gramínea leguminosa y poder evaluar el aporte de N, es importante tener en cuenta la necesidad de recurrir a fuentes externas de N por las deficiencias de materia orgánica en los oxisoles y las exigencias de N por parte de las gramíneas forrajeras. Sin embargo, los costos de producción se pueden incrementar con la utilización de fertilizantes nitrogenados, cuyos precios se han aumentado en más de un 40% en los últimos cinco años. La solución a esta limitante es la utilización de las leguminosas forrajeras como alternativa de suministro de N a las praderas.

2.15.6 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 32). La proteína cruda promedia 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 del rumen 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 32. 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
<i>B. decumbens</i>	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	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	23	33	4,2
promedio	8,3	24,35	15,6	22,9	32,45	4,4
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns

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 33)

Tabla 33. 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 (5%)	ns	ns	ns	Ns
Promedio	0.95	65.2	64.8	35.4

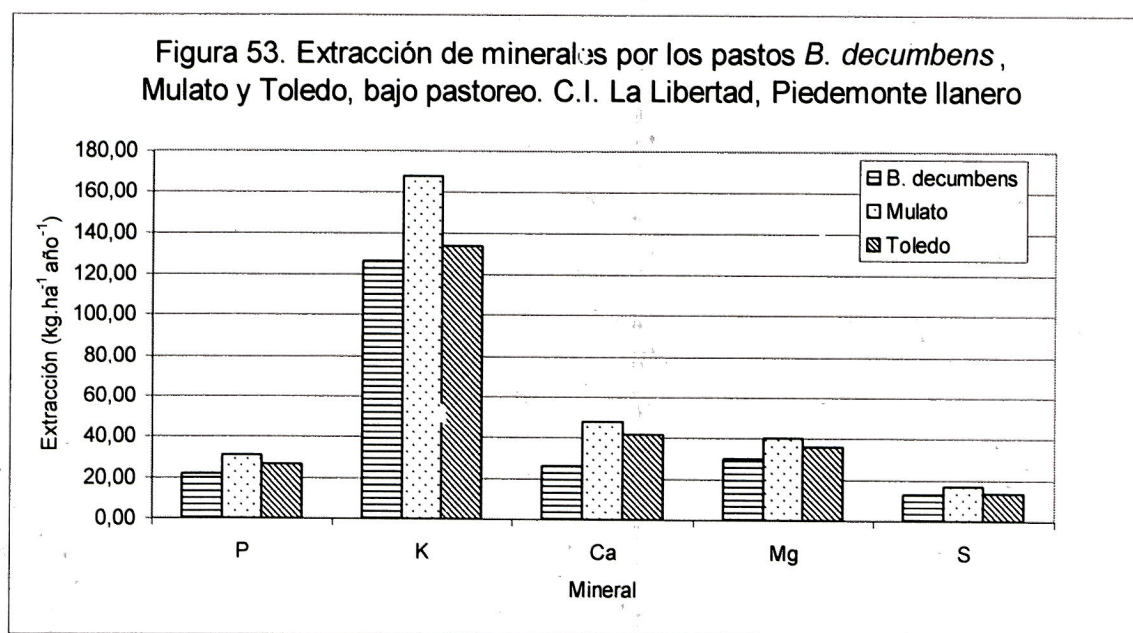
Los elementos P, K, Mg y S, presentaron mayores contenidos ($P < 0.05$) en las hojas de los pastos *B. decumbens* y Mulato, En el caso de P fue de 0.22 y 0.24% respectivamente, en tanto el Toledo fue inferior significativamente en el contenido de este elemento con 0.18%. Los contenidos de K, Mg y S en 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 34).

Tabla 34. 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
C.V (%)	10,4	14,1	10,4	15,3	6,5
Nitrógeno:					
100 kg ha ⁻¹	0,21	1,1	0,29	0,26	0,12
200 kg ha ⁻¹	0,22	1,1	0,31	0,30	0,11
promedio	0,215	1,1	0,3	0,28	0,115
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns

Promedios con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($P < 0.05$)

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 53. 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 fue el de 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 más 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



2.15.7 PRODUCTIVIDAD ANIMAL

La evaluación productiva de las praderas y su respuesta en la ganancia de peso animal, se desarrolló 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 35). 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.

Tabla 35. 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	166.8 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

Valores con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

En la tabla 36 se sintetiza 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 al Mulato y entre 388 y 410 en los animales del *B. decumbens*. La superioridad encontrada en los animales del pasto Mulato se debió al mayor peso inicial y a la mayor ganancia de peso por animal.

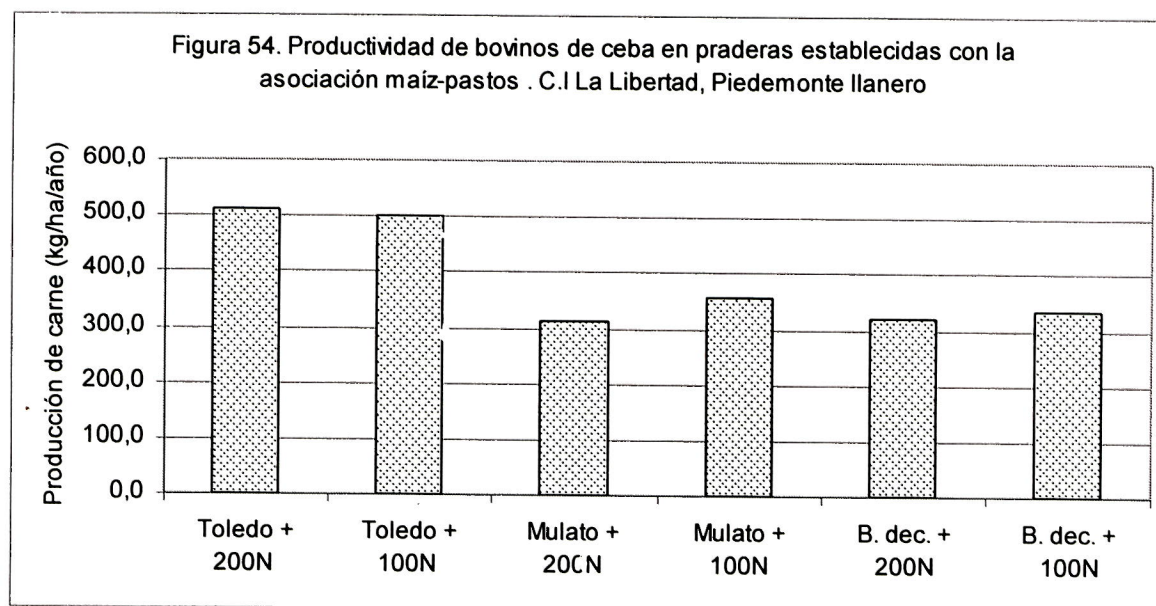
Tabla 36. Producción de carne bovina en praderas establecidas con maíz en el C.I. la Libertad, Piedemonte llanero

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
Período de ceba (meses)	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4
Producción carne por período 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 período 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

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).

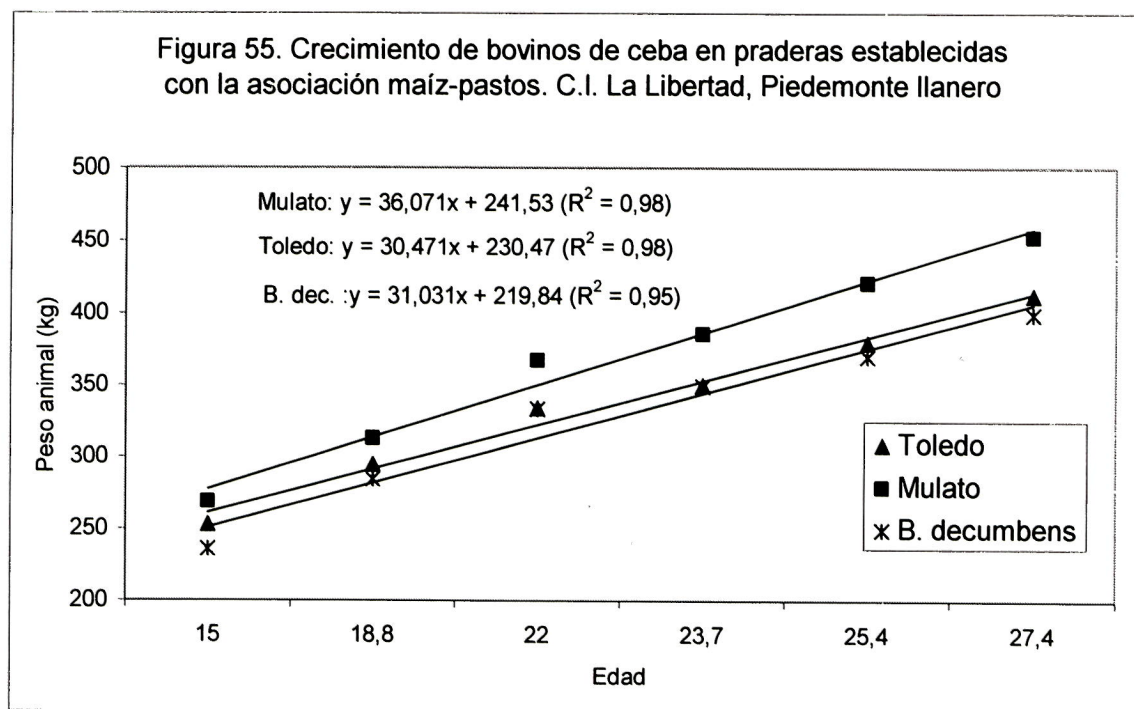
La carga animal en los pastos Mulato y *B. decumbens* fue similar durante el periodo de pastoreo con un promedio inicial de 1.45 u.a ha⁻¹ (580 kg de peso vivo por ha) y una carga final promedio de 2.37 u.a ha⁻¹ (948 kg de peso vivo por ha). Esta diferencia de carga a favor del pasto Toledo fue la principal 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 promedio 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 alcanzó 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 (figura 54). 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.



2.15.8 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 55 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.



EXPERIMENTO 2

EVALUACIÓN DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ - PASTOS Y EL EFECTO DE LA COMPETENCIA INTERESPECÍFICA SOBRE LA PRODUCCIÓN, EN CONDICIONES DEL PIEDEMONTE LLANERO.

Con la realización de este experimento se complementó los resultados obtenidos en el primer experimento con relación al primer objetivo:

- Evaluar parámetros fisiológicos productivos de las especies utilizadas en la recuperación de praderas, durante la fase de establecimiento y bajo pastoreo.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

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 realizó un experimento en pequeñas parcelas bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por 30 m² y los tratamientos fueron los siguientes:

- 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

El experimento se estableció en el mes de abril del 2005, con surcos de maíz separados a 0.8 m y en medio de estos surcos se establecieron 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 cada 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 20kg 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 se realizó cuando el maíz tenía una edad de 30 días con 200 cc ha⁻¹ de un inhibidor de quitina (Atabron). La cosecha del maíz se realizó en forma manual a la edad del cultivo de 120 días.

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

2. RESULTADOS

2.1 INDICES FISIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE MAÍZ ESTABLECIDA EN MONOCULTIVO Y ASOCIADA CON PASTOS

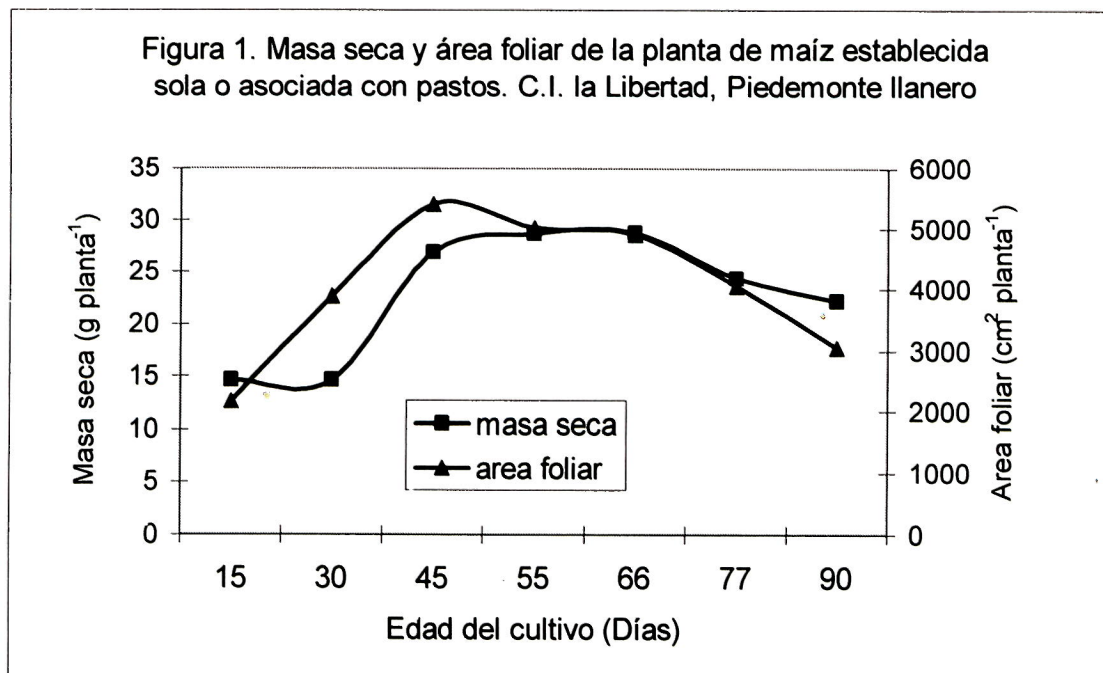
En todos los tratamientos en donde se estableció el maíz en monocultivo (sin pasto) y maíz asociado con *B. decumbens*, Mulato y Toledo, no se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en altura, peso seco y área foliar en la planta de maíz, durante el periodo de 90 días de evaluación de desarrollo (Tabla 1). La altura promedio a los 15 días fue de 0,58 m y llegó hasta 2,60 m a la edad de 77 días. La mayor tasa de crecimiento se presentó en los primeros 55 días, ya que durante este tiempo la planta alcanzo una altura de 2,40m, luego en los siguientes 45 días solo amento 0,20 m.

Tabla 1. 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>	39	88	149	233	251	260	249
Maíz + Mulato	67	89	159	236	248	256	266
Maíz + Toledo	63	93	171	248	262	269	256
significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Promedio	58	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
significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
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>	1003	4388	5206	4872	4768	3877	2838
Maíz + Mulato	2480	3685	4635	5074	5111	4411	3426
Maíz + Toledo	2356	3736	5536	5390	5182	3767	2941
significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Promedio	2056	3905	5261	5060	4963	4030	3056

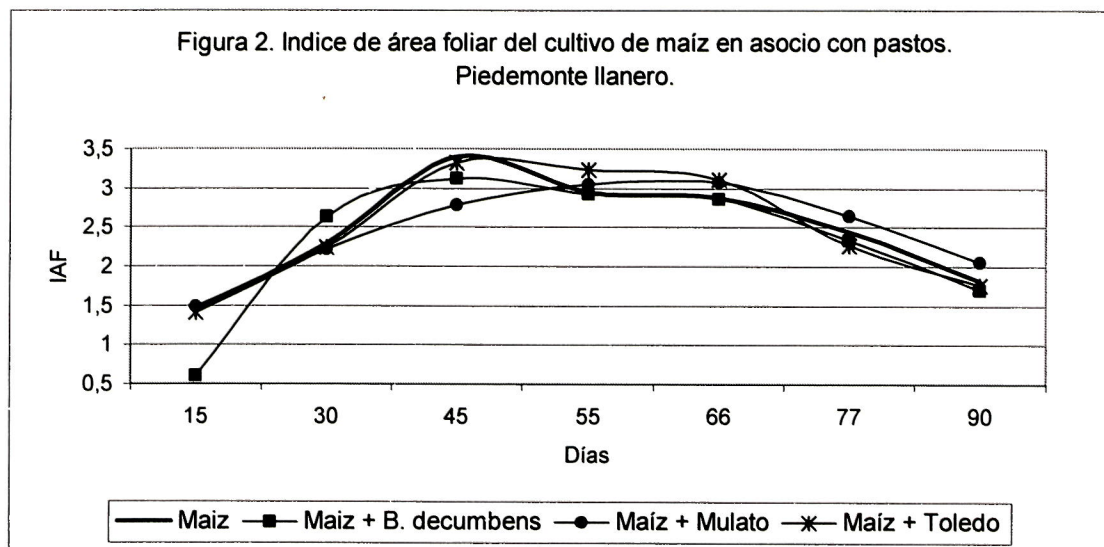
ns: Diferencias no significativas, $P < 0.05$) Tukey

La masa seca foliar promedio en los primeros 15 días de desarrollo de la planta de maíz fue de 15.4 g y la máxima producción de biomasa se produjo a los 66 días después de la siembra (dds) con 29,1 g. 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. El área foliar de la planta de maíz a los 15 dds presentó un promedio de 2056 cm² la cual aumentó hasta llegar a su máximo valor a la edad de 45 días con 5261 cm². 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 masa seca coincidió con el llenado del grano (figura 1).

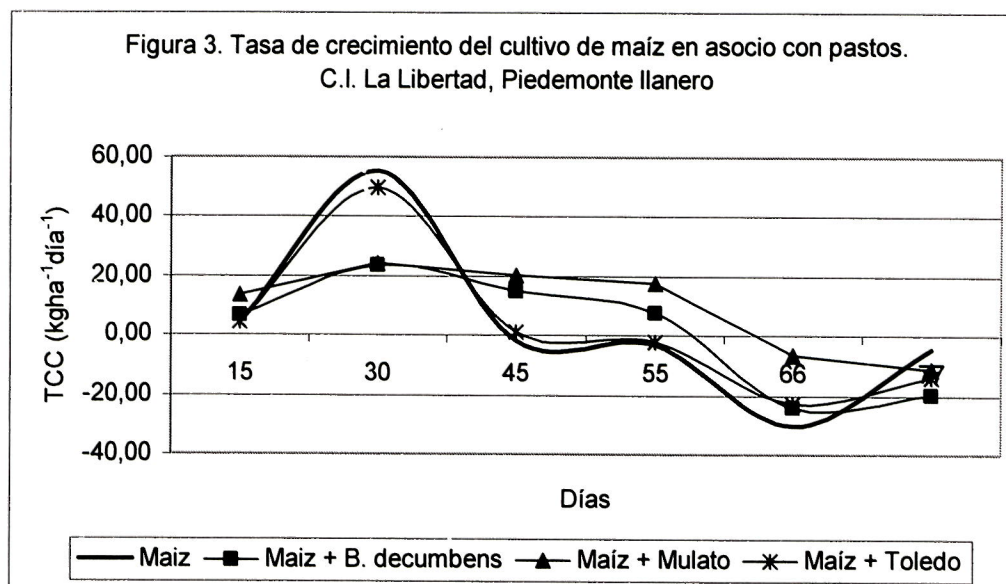


Tomando como base la información de producción de biomasa seca de hojas y el área foliar de la planta de maíz, se realizaron los cálculos de los índices fisiológicos índice de área foliar (IAF), Tasa de crecimiento del cultivo (TCC), Tasa de asimilación neta.

El IAF entendido como el área de las hojas de maíz en el área en un metro cuadrado de suelo, tuvo un comportamiento cuyas curvas se presentan en la figura 2, en donde se puede apreciar la misma tendencia en el maíz establecido en monocultivo y en el maíz asociado con pastos. Se observó superioridad del IAF del maíz en el maíz establecido en monocultivo y en el maíz asociado con Toledo, porque desarrollaron un IAF de 3.3 a los 45 dds, resultando ser mas alto con respecto a las demás asociaciones. Sin embargo después de los 55 dds este parámetro estuvo alrededor de 3 para luego después de 66 dds, disminuir hasta llegar a un IAF de 2 a los 90 días fecha de la ultima evaluación de desarrollo.

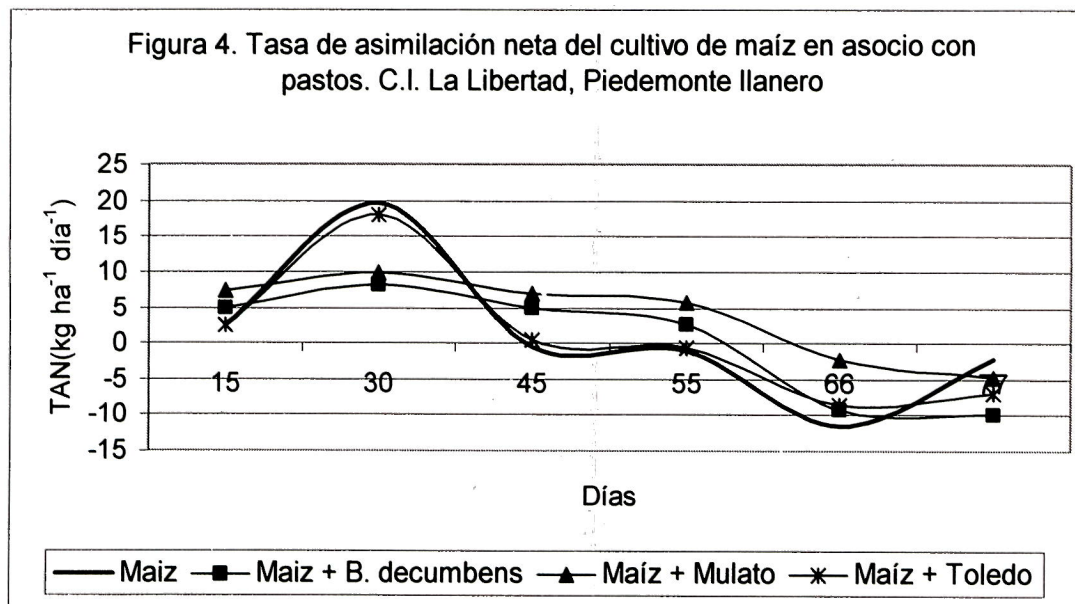


La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) mide la acumulación de la materia seca por unidad de suelo y unidad de tiempo. La TCC del maíz solo y asociado con el pasto Toledo, fue similar durante todo el desarrollo del cultivo destacándose una mayor TCC a los 30 dds con un promedio de $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ este comportamiento diferente con respecto a las asociaciones del maíz con los otros pastos, concentro su mayor TCC entre los 15 y 45 dds, mientras que en las asociaciones del maíz con el pasto Mulato y el *B. decumbens* la TCC alcanzó el máximo valor de $24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ a los 30 días, sin embargo a diferencia del maíz solo y asociado con el pasto Toledo, la TCC permaneció cercana a $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ desde los 20 dds hasta los 55 dds, para luego descender a valores negativos (figura 3)



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 estando 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 $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ a la edad de 30 días, para luego decrecer a valores negativos después de los 45 dds. El maíz asociado con pasto mulato y con el *B. decumbens* presento una TAN de $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ a los 30 dds y a los 55 días de $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para luego ser negativa después de los 66 dds (figura 4).



2.2 ÍNDICES FISIOLÓGICOS EN LOS PASTOS ESTABLECIDOS EN MONOCULTIVO Y ASOCIADOS CON MAÍZ

Las evaluaciones sobre altura, masa seca y área foliar del pasto solo y asociado con el maíz, se realizaron a la edad de 37, 60, 75 y 94 días. En los primeros 37 días el pasto Mulato fue superior significativamente ($P < 0.05$) en cuanto a área foliar y masa seca, estando solo y asociado con maíz. En *B. decumbens* fue diez veces más lento en el establecimiento que el pasto Mulato, estando solo y 15 veces mas lento, estando asociado con el cultivo de maíz. A los dos meses del establecimiento del experimento, los pastos Mulato y Toledo sin maíz, presentaron un área foliar superior a los 3800 cm^2 y de igual forma la masa seca foliar fue superior significativamente con un promedio de 20 g planta^{-1} . A los 75 y 94 días se conservaron las diferencias a favor del pasto Mulato y Toledo establecidos sin maíz, sin embargo, el *B. decumbens* que en los primeros 60 días presentó poco desarrollo, a los 75 días el área foliar y la masa seca aumentaron considerablemente (tabla 2).

Contrario a lo presentado en el desarrollo del maíz, los pastos si mostraron diferencias significativas cuando estos se establecieron solos y asociados con maíz. El desarrollo del área foliar del pasto asociado con maíz fue menor que el presentado en los pastos establecidos sin maíz. En el *B. decumbens* establecido solo, el área foliar fue de 2673 cm^2 y asociado con maíz se redujo a 1523 cm^2 . El pasto Mulato sin maíz, tuvo un área foliar de 12380 cm^2 y asociado con maíz fue de 7809 cm^2 . En el pasto Toledo las

diferencias fueron más amplias porque cuando se estableció sin maíz llegó a 11997 cm² y asociado con maíz el área foliar fue de 4152 cm². Al parecer el pasto Mulato es menos afectado por la competencia por luz que ejerce el maíz.

La masa seca de los pastos asociados con maíz fue menor con respecto a los pastos establecidos en monocultivo, especialmente en los pastos Mulato y Toledo. A los 60 días de sembrados, la masa seca de estos pastos establecidos sin maíz presentó un promedio de 5 g planta⁻¹ mientras que cuando se establecieron solos la masa seca fue 4 veces superior. A los 75 y 94 días los pastos Mulato y Toledo asociados con maíz produjeron un promedio de 20 y 30 g planta⁻¹ de masa seca y en monocultivo estos valores fueron de 45 y 68 g planta⁻¹ respectivamente.

Tabla 2. Área foliar (cm²) y masa seca (g planta⁻¹) del pasto solo y asociado con maíz durante 94 días de desarrollo. Piedemonte llanero.

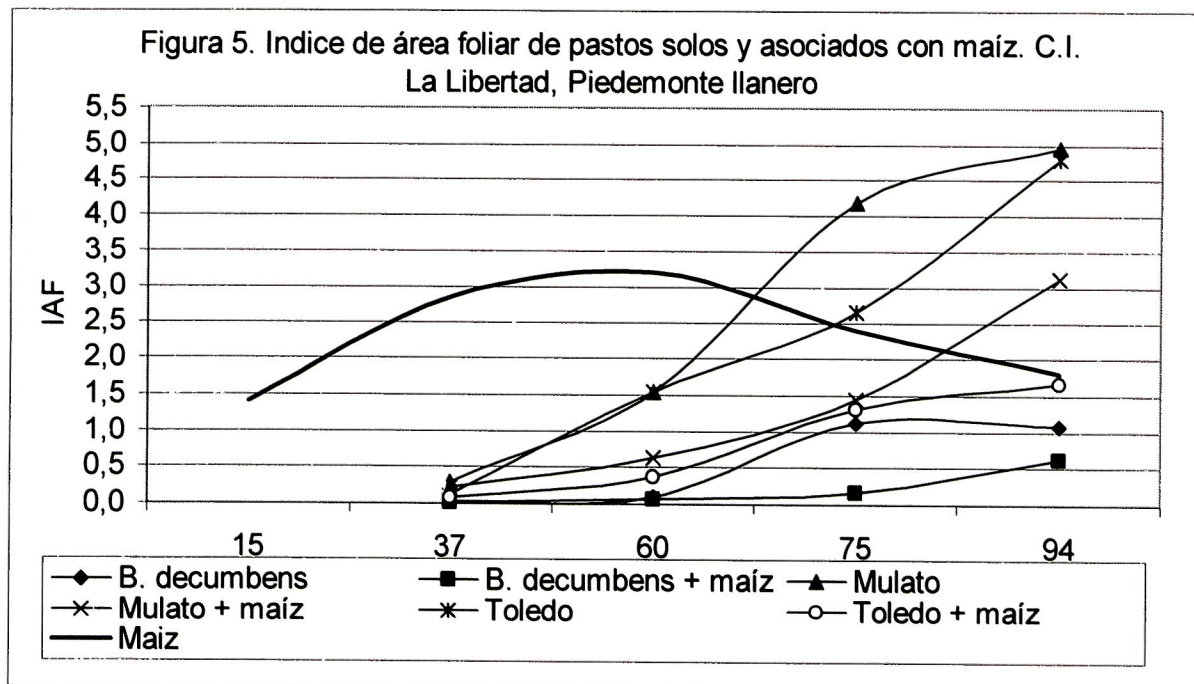
Área foliar	Edad (días)			
	37	60	75	94
<i>B. decumbens</i>	74,4 c	228,6 c	2806 bc	2673 c
<i>B. decumbens</i> + maíz	33,5 c	163,9 c	409 c	523 c
Mulato	726,9 a	3832,0 a	10435 a	12380 a
Mulato + maíz	558,6 ab	1556,1 b	3594 b	7809 b
Toledo	307,5 bc	3855,9 a	6637 ab	11997 a
Toledo + maíz	190,7 bc	911,9 b	3263 b	4152 bc
Masa seca				
<i>B. decumbens</i>	0,28 c	1,00 c	15,50 ab	10,83 bc
<i>B. decumbens</i> + maíz	0,13 c	0,50 c	6,24 b	7,38 c
Mulato	2,85 a	18,93 a	48,55 a	59,73 ab
Mulato + maíz	1,80 ab	5,57 b	27,63 ab	37,83 abc
Toledo	1,23 bc	20,50 a	40,75 a	77,20 a
Toledo + maíz	0,74 bc	4,70 b	15,48 ab	22,40 bc

Valores con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

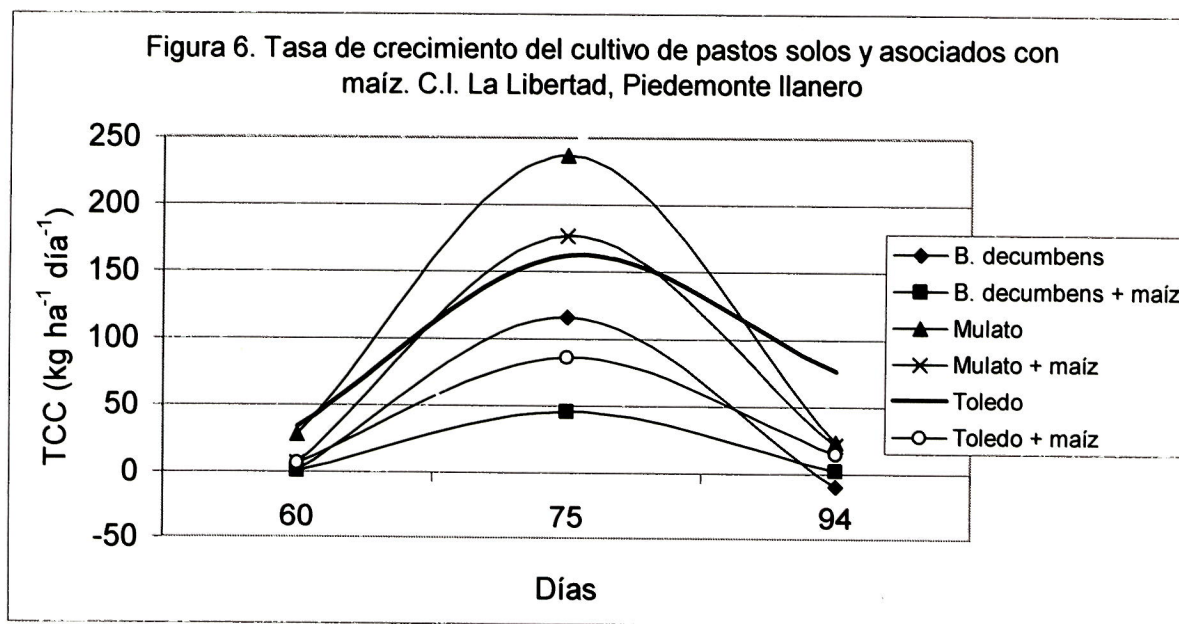
El índice del área foliar (IAF) de los pastos Mulato y Toledo en monocultivo llegaron a un valor de 5 a los 94 días de desarrollo, como se puede apreciar en la figura 5, el IAF en estos pastos presentó un mayor incremento después de los 60 días de su establecimiento. En los tres pastos solos y asociados 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. El pasto Mulato es el de mayor IAF estando asociado con el maíz

con un valor de 3, superior al pasto Toledo y al *B. decumbens* asociados con maíz cuyos valores de IAF solo fueron de 1.5 y 0.5 respectivamente.

A los 60 dds el maíz asociado y sin asociar con pastos presento un IAF cercano a 3, para luego empezar a descender por maduración del cultivo y senescencia de las hojas, en esta misma fecha, el IAF de los pastos asociados con el maíz fue de 0.5. A los 37 dds, fecha de la primera evaluación, los pastos en monocultivo y asociados presentaron un IAF cercano a cero, por el lento establecimiento natural que tiene los pastos, comparado con el rápido establecimiento del maíz.



La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de los pastos solos y asociados con el cultivo de maíz, fue más alta a los 75 dds en todos los tratamientos, destacándose el pasto Mulato en monocultivo con $237 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y el pasto Mulato asociado con maíz con $176 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, seguido por el pasto Toledo en monocultivo con $162 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. En general los pastos establecidos en monocultivo presentaron una mayor TCC que cuando estos se establecieron con el maíz especialmente el *B. decumbens* que presentó la menor TCC con $49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Figura 6)



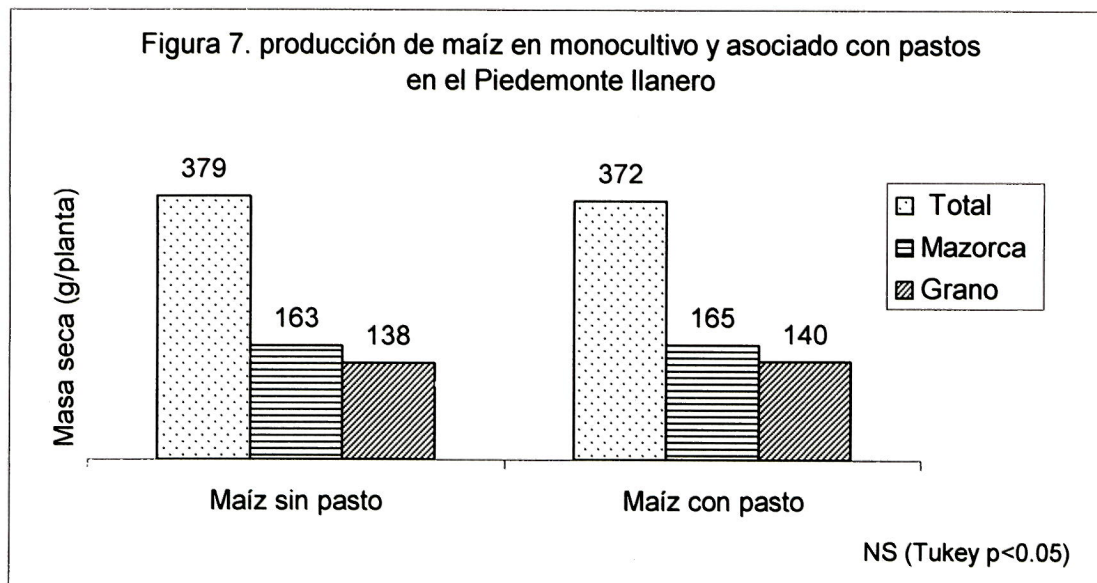
2.3 PRODUCCIÓN DE GRANO DE MAÍZ ESTABLECIDO EN MONOCULTIVO Y ASOCIADO CON PASTOS

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 promedio 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

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 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



EXPERIMENTO TRES

RESPUESTA DE LAS ESPECIES FORRAJERAS A DIFERENTES FRECUENCIAS E INTENSIDADES DE DEFOLIACIÓN EN EL PIEDEMONTE LLANERO

(Trabajo de tesis del estudiante Edwin Garay para optar el Título de Zootecnista en la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá)

Este experimento se realizó para obtener información que dará las bases para hacer un buen manejo de los pastos Mulato, Toledo y *B. decumbens*, con relación a periodos de ocupación, forraje residual y reservas orgánicas que permitan una buena recuperación y producción de biomasa de estos pastos después de realizada la defoliación o pastoreo. El experimento se estableció en parcelas pequeñas, con tres frecuencias de defoliación (14, 28 y 42 días) y dos intensidades de defoliación (baja y alta).

Con la realización de este experimento se dará cumplimiento al tercer objetivo específico del proyecto:

"Evaluar el efecto de la frecuencia e intensidad de defoliación en la cantidad y tipo de reservas orgánicas y su relación con la respuesta productiva y calidad de biomasa de las especies forrajeras incluidas en este estudio".

1. MATERIALES Y MÉTODOS

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

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

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

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

- B. decumbens* con defoliación a los 28 días a una intensidad baja
- B. decumbens* con defoliación a los 42 días a una intensidad alta
- 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 descanso o de rebrote no han acumulado suficiente biomasa y además están muy tiernos para el consumo animal y después de los 42 días de rebrote, los pastos aunque presentan alta disponibilidad de biomasa, ya se han madurado con acumulación de pared celular y disminución del contenido de proteína, lo cual puede afectar el consumo por parte del animal. 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 semirrecto 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. Los pastos Mulato y Toledo son especies de crecimiento erecto, por lo tanto se estableció como intensidad baja de defoliación al corte realizado a una altura de 35 cm mientras que la intensidad alta fue de 25 cm

1.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño experimental en bloques completos al azar en arreglo de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones.

Parcela principal: Gramínea forrajera; híbrido de *Brachiaria* cv Mulato, *B. brizantha* cv Toledo y *B. decumbens* (área de 108 m²)

Subparcela: frecuencias de defoliación: 14, 28 y 42 días (área de 36 m²)

Sub-subparcela: intensidades de defoliación: alta y baja (área de: 6 x 3 m = 18 m²)

Número total de unidades experimentales: 3 pastos x 3 frecuencias de pastoreo x 2 intensidades de pastoreo x 3 repeticiones = 54 Área total = 972 m².

Para determinar las intensidades de defoliación en cada pasto se tuvo en cuenta el hábito de crecimiento para establecer la altura de corte que permitiera dejar en la planta un forraje residual mas alto en la intensidad de defoliación baja y un forraje residual más bajo en la intensidad de defoliación alta

1.2 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 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 superior al 30%. La siembra se realizó en surcos separados a 0.5 m colocando 20 semillas por metro lineal.

Al comienzo de las lluvias del año 2005 se realizó un corte de uniformización 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.

1.3 EVALUACIONES

Después de realizado el corte de uniformización de las unidades experimentales, se iniciaron las evaluaciones en los tratamientos con una frecuencia de defoliación de 14 días, posteriormente se evaluó los tratamientos correspondientes 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 reductores: glucosa, fructosa, no reductores: fructosanos y almidones, al igual que compuestos nitrogenados) y los órganos de almacenamiento en la planta (base de los tallos y corona). 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 se realizaron muestreos en cada unidad experimental con marcos de 0.25 m², 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. Para 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.

1.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

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

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 FORRAJE DISPONIBLE Y FORRAJE RESIDUAL

Las evaluaciones se realizaron entre abril y junio y entre julio y septiembre cuyos resultados se agrupan en estos dos periodos de evaluación. En la tabla 1 se presenta el área foliar de los pastos en 1m² de suelo (IAF), del forraje disponible (antes del corte) y del

forraje residual (queda después de realizado el corte). En las evaluaciones realizadas en el primer periodo (abril a junio), el IAF del forraje disponible con un promedio de 2.5, no presento diferencias significativas entre los tres pastos, de igual forma en el forraje residual tampoco se presentaron diferencias significativas, obteniéndose un IAF promedio de 0,92. En el segundo periodo de evaluación (julio septiembre), el pasto Mulato desapareció en su gran mayoría, por muerte de las plantas ocasionada por el hongo rizoctonia que causo pudrición de la raíz a lo cual contribuyó la alta precipitación (1100 mm) en los meses de mayo, junio y julio. El pasto Mulato es un híbrido producto de un cruce donde uno de los padres es el *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, el cual es afectado por la alta saturación de humedad del suelo, provocando la muerte de las plantas por pudrición radicular. Los pastos *B. decumbens* y Toledo aunque sobrevivieron a las condiciones de alta saturación de humedad, en este periodo el área foliar fue menor especialmente en el primero donde de 2.3 en el primer periodo se redujo a 1.3 en el segundo periodo. El Pasto Toledo fue superior significativamente con un IAF de 2.4. Con respecto al IAF del forraje residual fue de 0.55 en este segundo periodo.

El IAF fue proporcional con respecto a las frecuencias de corte o defoliación de los pastos, porque a mayor periodo de rebrote en la frecuencia de 42 días el IAF fue superior significativamente con un valor de 3.5 en el primer periodo y de 2,7 en el segundo periodo, por el mayor tiempo que tuvieron las plantas para acumular forraje. El IAF en el forraje residual no presentó diferencias significativas entre las frecuencias evaluadas con un promedio de 0,92 y 0,56

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

	Área foliar (m ²) abril-junio		Área foliar (m ²) julio-septiembre			
Pasto	Forraje disponible	Forraje residual	Forraje disponible	Forraje residual		
<i>B. decumbens</i>	2,3 a	0,94 a	1,3 b	0,52 a		
Mulato	2,5 a	0,90 a				
Toledo	2,7 a	0,93 a	2,4 a	0,60 a		
Frecuencia						
14 días	1,4 c	0,98 a	0,7 c	0,64 a		
28 días	2,4 b	0,90 a	2,2 b	0,59 a		
42 días	3,5 a	0,88 a	2,7 a	0,46 a		
Intensidad						
Baja	2,6 a	1,07 a	1,9 a	0,67 a		
Alta	2,4 a	0,78 b	1,8 a	0,45 b		
CV (%)	25,9	35,2	2,7	24,4		
	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto
Lluvia	122,8	323,3	416,9	398,6	285,3	249,2

Valores con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente (p<0.05) según la prueba de Tukey.

En las dos intensidades evaluadas no se presentaron diferencias significativas en el forraje disponible durante los dos periodos de evaluación, con un promedio de 2,5 y 1,85 en el primero y segundo periodo respectivamente, sin embargo en el forraje residual si se

presentaron diferencias en el IAF a favor de la intensidad baja o a mayor altura de defoliación en los dos periodos con 1,07 y 0,67. Con la intensidad alta o a menor altura de defoliación el IAF fue de 0,78 y 0,45 siendo inferiores significativamente.

En las evaluaciones realizadas en el primer periodo (tabla 2), se encontró una mayor disponibilidad de hojas en el pasto Toledo con $1620 \text{ kgMS ha}^{-1}$ seguido por Mulato y el *B. decumbens* con $1200 \text{ kgMS ha}^{-1}$ lo contrario sucedió con la disponibilidad de tallos mostrando al pasto Toledo con 348 kgMS ha^{-1} inferior a lo encontrado en el *B. decumbens* y el Mulato cuyas disponibilidades de tallo fueron de 804 y 512 kgMS ha^{-1} respectivamente, sin embargo el pasto Toledo fue el que acumulo mas cantidad de material muerto en este periodo. El pasto Toledo después de realizado el corte fue el que presentó mayor cantidad de hoja y tallo residual con 572 y $2218 \text{ kgMS ha}^{-1}$ mientras que le *B. decumbens* y el Mulato presentaron una residualidad de hojas de 440 y 400 kgMS ha^{-1} y de tallos de 1504 y $2080 \text{ kgMS ha}^{-1}$ respectivamente. La acumulación de material muerto fue mayor en el forraje residual de los pastos Mulato y Toledo.

A la edad de 14 días de rebrote de los pastos en evaluación, la disponibilidad de hojas promedia fue de 712 a los 28 días 1256 y a los 42 días 1912, lo cual demuestra un incremento promedio de 540 kg entre los 14 y 28 días y de 670 en los siguientes 14 días.

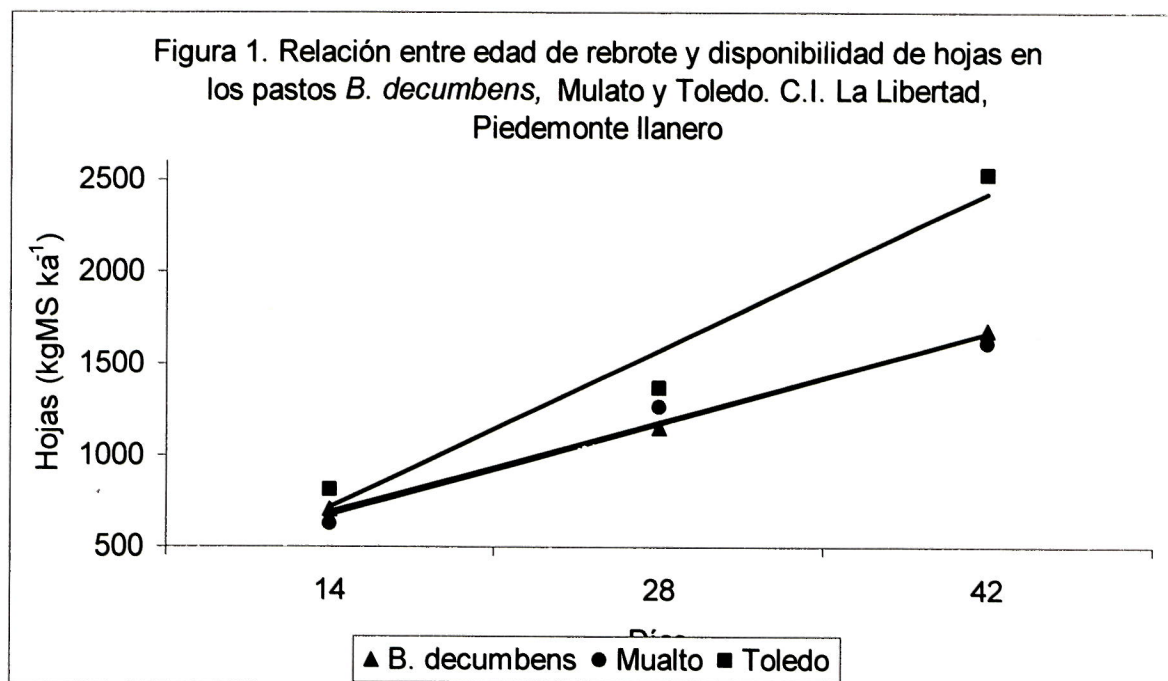
En la figura 1 se puede apreciar el aumento de materia seca de las hojas de los pastos durante los 42 días de rebrote, en donde el pasto Toledo sobresalió de los otros dos con una tendencia lineal positiva y una ecuación de regresión que demuestra que por cada 14 días de rebrote hay una producción de 855 kgMS ha^{-1} de hojas (61 kgMS ha^{-1} diarios), mientras que en el pasto Mulato la producción fue de 496 kgMS ha^{-1} y en el *B. decumbens* 488 kgMS ha^{-1} . la biomasa de los tallos en el forraje disponible fue de solo 180 kgMS ha^{-1} a los 14 días y posteriormente aumentó a 640 y 848 kgMS ha^{-1} a los 28 y 42 días respectivamente. El tallo en el forraje residual no presento diferencias significativas entre las tres frecuencias de defoliación con un promedio de $2074 \text{ kgMS ha}^{-1}$. En el forraje disponible a los 42 días, el 42% correspondió a tallo y el 58% a hojas, mientras que en el forraje residual el 82% correspondió a tallo y el 18% a hojas. Aunque la cantidad de material muerto fue bajo en el forraje disponible con solo un 4%, en el forraje residual fue de un 40%.

La intensidad de defoliación de los pastos no afectó significativamente la disponibilidad de materia seca de las hojas, en cambio la presencia de tallos en el forraje disponible fue superior significativamente 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 en la intensidad de defoliación baja o corte realizado a mayor altura que fue de 35 cm en los pastos Mulato y Toledo y de 30 cm en el *B. decumbens*.

Tabla 2. Producción de biomasa (kg ha^{-1}) de los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, bajo tres frecuencias y dos intensidades de defoliación en la primera evaluación (abril – mayo) C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	Masa seca Hoja		Masa seca tallo		Masa seca m.muerto	
	disponible	residual	disponible	residual	disponible	Residual
<i>B. decumbens</i>	1200 b	440 ab	804 a	1504 b	52 b	580 b
Mulato	1212 b	400 b	512 ab	2080 ab	88 a	1140 a
Toledo	1620 a	572 a	348 b	2712 a	124 a	1340 a
Frecuencia						
14 días	712 c	504 a	180 b	1912 a	37,2 b	992 a
28 días	1256 b	452 a	640 a	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	37.7	29,1	40.6	49	40.8

Valores con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.



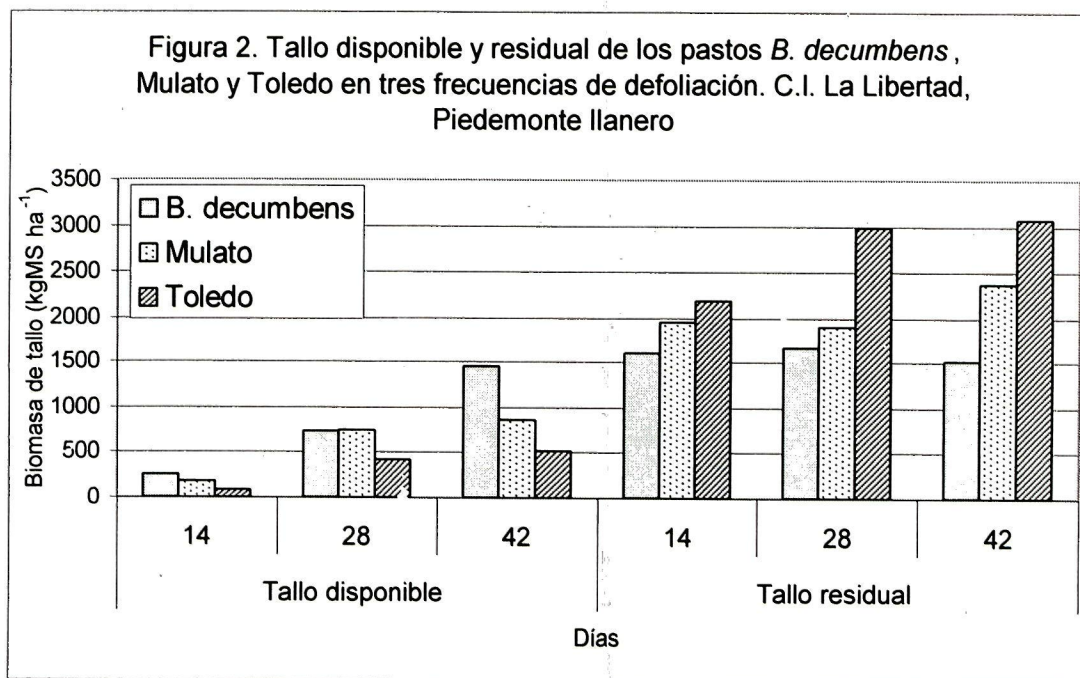
Ecuaciones de regresión con base en las curvas de la figura 29:

Pasto Toledo: $y = 855x - 142.67$ ($R^2 = 0.96$)

Mulato: $y = 496.5x + 173.67$ ($R^2 = 0.97$)

B. decumbens: $y = 488.5x + 200.67$ ($R^2 = 0.99$)

La cantidad mas baja de biomasa de tallo en el forraje disponible, fue la del pasto Toledo con 85, 420 y 510 kgMS ha⁻¹ a los 14, 28 y 42 días respectivamente, sin embargo en el forraje residual, este pasto fue superior en la cantidad de tallos con 2140, 2986 y 3072 kgMS ha⁻¹ a la misma edad de rebrote respectivamente (figura 1).



Para determinar la persistencia en la producción de biomasa de los pastos, se realizó otra evaluación entre los meses de julio y septiembre encontrándose que como ya se menciono desapareció el pasto Mulato y los otros pastos presentaron una disponibilidad de biomasa inferior a lo cual contribuyo en gran medida las condiciones de alta saturación de humedad del suelo provocada por las lluvias abundantes en estos meses.

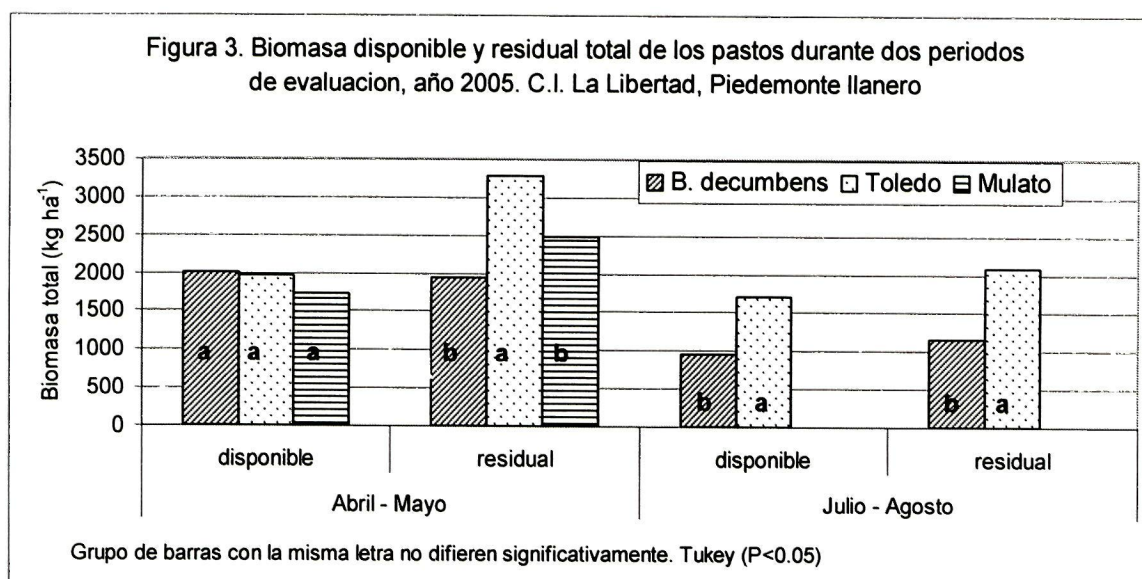
Sin embargo el comportamiento de los pastos Toledo y *B. decumbens* conservaron la misma tendencia observada en el primer periodo de evaluación, con una disponibilidad de hojas de pasto Toledo superior en mas de dos veces a las producidas por el *B. decumbens*, de igual forma la presencia de tallos en el forraje residual del pasto Toledo (1716 kgMS ha⁻¹) también duplicó a los tallos del *B. decumbens* (948 kgMS ha⁻¹). El material muerto en el forraje disponible fue de solo 40 y 72 kgMS ha⁻¹ en el *B. decumbens* y el Toledo respectivamente, pero en el forraje residual se aumento a 788 y 1928 kgMS ha⁻¹ en el mismo orden (tabla 3). La relación hoja:tallo en el forraje disponible del *B. decumbens* fue de 2:1 y en el pasto Toledo 5:1, en tanto en el forraje residual del *B. decumbens* y del Toledo esta relación fue de 1:4.5

Tabla 3. Producción de biomasa (kg ha^{-1}) de los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, bajo tres frecuencias y dos intensidades de defoliación en la segunda evaluación (julio – agosto) C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	Masa seca Hoja		Masa seca tallo		Masa seca m.muerto	
	disponible	residual	disponible	residual	disponible	Residual
<i>B. decumbens</i>	652 b	216 b	300 a	948 b	40 a	788 b
Toledo	1440 a	372 a	260 a	1716 a	72 a	1928 a
Frecuencia						
14 días	396 c	336 a	80 b	1144 a	76 a	1184 a
28 días	1236 b	320 a	340 a	1620 a	64 a	1396 a
42 días	1532 a	232 b	408 a	1252 a	36 a	1496 a
Intensidad						
Baja	1084 a	356 a	292 a	1660 a	80 a	1504 a
Alta	1048 b	232 b	268 a	1004 b	36 a	1212 a
CV (%)	3,6	26,8	19,7	29,8	57,3	43,7

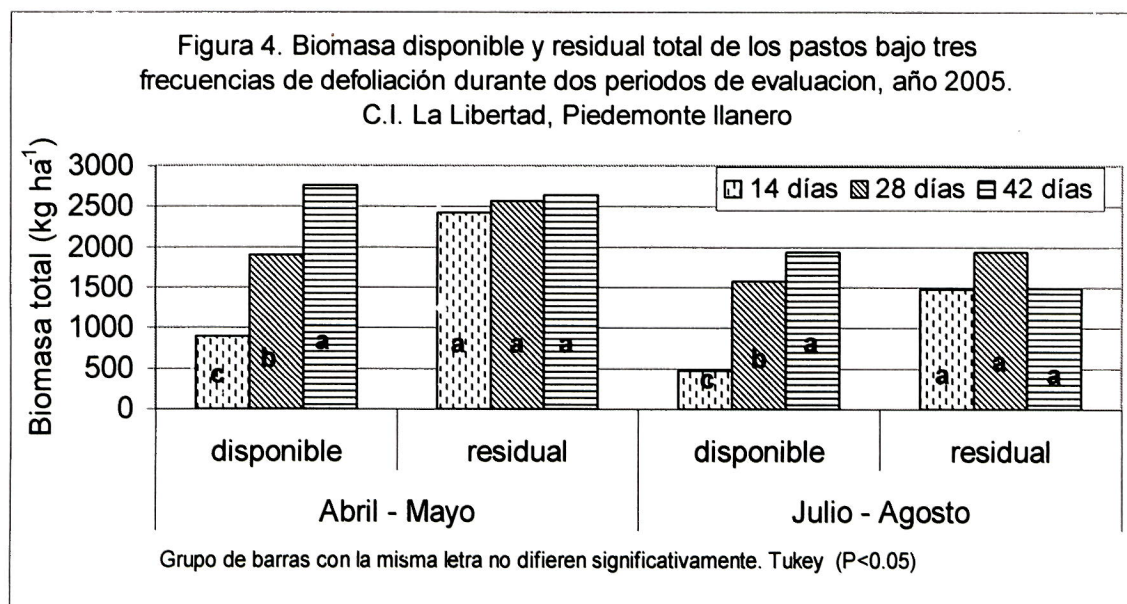
Valores con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

La biomasa disponible total no presentó diferencias significativas en los tres pastos durante el primer periodo de evaluación, llegando a un promedio de $1900 \text{ kgMS ha}^{-1}$. El forraje total residual en este mismo periodo fue superior en el pasto Toledo con $3284 \text{ kgMS ha}^{-1}$ seguido por el Mulato con $3280 \text{ kgMS ha}^{-1}$ y el *B. decumbens* con $1944 \text{ kgMS ha}^{-1}$ en el segundo periodo de evaluación el forraje disponible del *B. decumbens* no alcanzo a los $1000 \text{ kgMS ha}^{-1}$ y el Toledo produjo $1700 \text{ kgMS ha}^{-1}$ (figura 3)



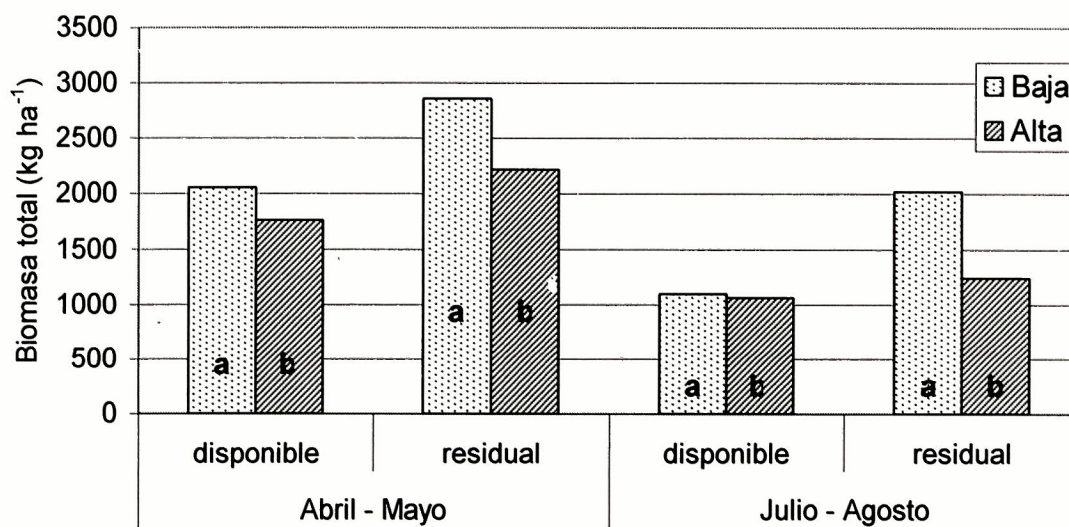
En la figura 4 se grafica el forraje total disponible de los pastos en los dos periodos de evaluación donde se puede ver el incremento de la biomasa con el paso del tiempo. El forraje disponible en el primer periodo de evaluación fue de 892 kgMS ha^{-1} a los 14 días,

1896 kgMS ha⁻¹ a los 28 días y 2760 kgMS ha⁻¹ a los 42 días. El forraje residual promedio en este mismo periodo fue de 2500 kgMS ha⁻¹. En el segundo periodo de evaluación el forraje disponible y residual disminuyó con respecto al primer periodo. El forraje disponible fue de 476 kgMS ha⁻¹, 1576 kgMS ha⁻¹ y 1940 kgMS ha⁻¹ a los 14 días 14, 28 y 42 días respectivamente mientras que el forraje residual presentó un promedio de 1634 kgMS ha⁻¹.



La intensidad baja de defoliación o la altura mayor de defoliación, favoreció la mayor producción de forraje disponible y residual de los pastos evaluados en los dos periodos. En el primer periodo de evaluación se presentó una disponibilidad de 2056 en la intensidad baja y 1670 en la intensidad alta. En el segundo periodo esta disponibilidad se redujo a 1376 y 1316 en la intensidad baja y alta respectivamente. El forraje residual compuesto en su mayoría por tallos fue de 2860 en la intensidad baja y de 2216 en la intensidad alta de defoliación. En el segundo periodo la biomasa residual fue de 2016 y de 1236 en el mismo orden (figura 5).

Figura 5. Biomasa disponible y residual total de los pastos bajo dos intensidades de defoliación durante dos periodos de evaluación, año 2005. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero



Grupo de barras con la misma letra no difieren significativamente. Tukey ($P < 0.05$)

2.2 CALIDAD NUTRITIVA DE LOS PASTOS

La calidad de los pastos se midió en el segundo periodo de evaluación en el pasto *B. decumbens* y el pasto Toledo. En el contenido de proteína cruda no se presentaron diferencias significativas entre estos dos pastos con valores de 112,2 y 10,5% respectivamente. Los otros parámetros de calidad si presentaron diferencias significativas encontrándose una mayor cantidad de FDN y FDA en el pasto Toledo con 58,4 y 31,1 respectivamente. La degradabilidad del forraje fue mas alta en el *B. decumbens* al obtener un 74,2% valor superior significativamente al encontrado en el Toledo (68,2%)

La frecuencia de defoliación no afecto la calidad de los pastos con respecto al contenido de FDN, FDA y degradabilidad, porque las diferencias no fueron significativas a los 14, 28 y 42 días, cuando se realizó el corte o defoliación los promedios obtenidos fueron de 55,8% de FDN, 28,4% de FDA y 71,1% de degradabilidad. El contenido de proteína si fue afectado por las frecuencias de defoliación porque a los 14 días se obtuvo 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% de proteína cruda.

La altura de corte de los pastos o intensidades de defoliación no afectaron la calidad de los pastos porque las diferencias encontradas en las dos intensidades no fueron significativas. 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 iguales en la misma columna no difieren significativamente ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

Bibliografía

- Andrade, S.R.M., Santana, R., Cambraia, J. e Mosquim, P. 2001 Efeito da proporcao NH_4 , NO_3 na didtribucão 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.
- Arreaza, L.C. 2002. Fraccionamiento de la proteína cruda e indicadores en la formulación de raciones para rumiantes. Congreso sobre le manejo de la proteína en la producción de ganado bovino, Septiembre 23 al 30 del 2002. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. C.I. Tibaitata. Bogotá D.C. 14p
- Ayarza, M., Vilela, L. Pizarro, E.A. y Da Costa P.H. 1999. Sistemas agropastoriles basados en leguminosas de usos múltiples. 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. 175-194p.
- 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.
- Attanandana, T. and Yost, R.S. 2003. A site specific nutrient management approach for maize. Better Crops International (17): 3-7.
- Bernal, J.E. 2003. Pastos y forrajes tropicales. Producción y manejo. Ed. Angel Agro-Ideagro. Bogotá. Colombia. 691p.
- Black, C.C. 1976. An assesment of C4 photosynthesis an productivity. In CO_2 metabolism and plant productivity. Ed. By R.H. Burris and C.C. Black. University Park Press. Baltimore. MD.
- Bohm, W. 1979. Methods of studyng root systems. Springer – Verlag, Berlin. pp. 48-59
- 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.
- Bueno, G. M., Vilela, L., Barioni, LG., Gomes de Sousa, D.M y 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. p. 155-216.
- Büll, L.T. 1993. Nutrição mineral do milho. In: Büll, L.T. & Cantarella, H., eds. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, p.63-146.

- Cabral da Silva, E., Buzetti, S., Guimarães, G.L., Lazarini, E. 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 v.29 n.3.
- Caires, O.S., Carvalho de, J.G., Dias, F.A., Pereira, T.R. e Pinho, P.J. 2005. Uso do SPAD 502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. Pesq. Agropec. Bras. 40(5)
- Calderón, M. y Varela F. 1982. Descripción de las plagas que atacan los pastos tropicales y características de sus daños. Guía de estudio serie 04SP-03.01. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 52p.
- 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). 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.
- 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). 1990. Programa de pastos Tropicales, informe anual. Cali, Colombia.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2002. Programa de Pastos Tropicales, informe anual actividades de 2001. Cali, Colombia.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2001. CIAT perspectiva 1999 –2000. Anatomía de impacto. Rastreado Gases de invernadero. Cali, Colombia. 31-33p
- Clavero, T. 1993. Effects of defoliation on non-structural carbohydrates levels in tropical pastures. Rev. Fac. Agron. (Luz) 10:126-132.
- 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.

- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), 2001. Informe anual de actividades, investigación pecuaria del año 2001 C.I. La Libertad, Villavicencio Meta.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria) 1998. Productos y procesos tecnológicos por macroregión. Corpoica cinco años. Santa Fé de Bogotá, 378 p.
- Correa, P. 1984. Análisis del crecimiento de la sucesión maíz-avena para la producción de forraje. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Chillán, Chile. 95p.
- Cramer, M.D. and 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.
- Dávila, G., Guerrero, R. y Rojas, E. 1998. Disponibilidad de potasio en algunos suelos palmeros de los Llanos Orientales de Colombia. *Suelos Ecuatoriales*. Vol.28. p.71-80
- Deane, C. E. and Glass, A.D. 1983. Short terms studies of nitrate uptake into arley plants using ion specific electrodes and Cl_3 . Regulation of efflux bby NH_4 . *Plant Phisiology* 73: 105-110.
- Duncan, W.G. 1975. Maize. In: Crop physiology, Evans, L.T. (ed). Cambridge University press. Cambridge. p. 23-50.
- Fitzpatrick, E. A. And Nix, H. 1970 The climatic Factor in Australian grassland ecology. In "Australian grasslands (R.M Moore ed) Aust.Natl. Univ. Press, Canberra.
- Fox, D.G., Tylutki, T.P., Van Amburgh, M. E., Chase, L.E., Pell, A.N., Overton, T.R., Rasmussen, C.N., Tedeschi, L.O. and Durbal, V.M. 2000. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS versión 4.0. Cornell University, Ithaca NY. 235p.
- Fuenzalida, J., Hornig, C. y Beratto, E. 1985. Análisis del crecimiento y desarrollo de seis cultivares de cebada frente a distintas condiciones climáticas. 36° Congreso Agronómico, Universidad Austral. Valdivia, Chile.
- Giraldo, M., Lizcano, L.H., Gisman, A.J. Rivera, B. Y Franco, L. H. 2001. Adaptación del modelo DSSAT para simular la producción del *Brachiaria decumbens*. Centro Internacional de agricultura Tropical, CIAT, Cali Colombia. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. 8p.
- 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.
- Hammond, L.L., León, L.A. y Montes G. 1982. Efecto inicial y residual de dos fuentes de fósforo 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

- Hess, D. 1998. Calidad nutricional y producción animal. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. Regional 8. Villavicencio, Meta. 15p.
- Heichel, G.H. 1978, Stabilizing agricultural energy needs: role of forages, rotations and nitrogen fixation. J. Soil and water conserv. Nov-Dic., pp. 279-282.
- ICA, 1994. El pasto *Braquiaria*. Características, manejo y producción animal en la Orinoquía Colombiana. Bogotá, Colombia: ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 32pp.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá, D.C. 502p.
- IMAT (Instituto de meteorología y adecuación de tierras) 1995. Anuario Meteorológico de Colombia.
- 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., Amezcuita, M. C. y Amezcuita, E.(eds). CIAT-EMBRAPA.Cali, Colombia. 195-231p.
- Kluthcouski, J., Stone, L.F y Aida H. 2003. Integracao Lavoura – Pecuaria. EMBRAPA, Arroz e Feijao. San Antonio de Goias, Brtasil. 570p.
- Kluthcouski, J. y Aida 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 Aida H. San Antonio de Goias, Brasil. p.409 -441.
- Laffite, H.R. 2002. Fisiología del maíz tropical. Programa de maíz CIMMT. Tecnifenalce. N° 2 año 4. 7p.
- Lascano, C. 1995. Valor nutritivo y producción animal de *Arachis* forrajero. En: Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Ed. P. Kerridge. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Cali, Colombia. p.117-130.
- Lascano, C. 1988. Calidad de pasturas y nutrición. Principios Básicos. Programa de capacitación científica de pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Valle. 32p.
- 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.
- 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.

- McDowell, L.R., Conrad, J. H. y Ellis, G.L. 1983. Mineral deficiencies and their diagnosis. In Symposium Herbivores Nutrition in subtropics and tropics problems and perspectives. Pretoria. S. África.
- Malavolta, E., Vitti, G.C. e Oliveira, S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS. 319p.
- Medina, J.H. 2003. Grados día, tiempo térmico, tiempo fisiológico. Fac. Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 30p.
- Meissinger, 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.
- 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. Volumen 26 N°1. pp. 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. p.219-278.
- Menezes, P.S. 2004. Aspectos fisiológicos y metabolicos 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.
- 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 manejo da pastagens Ed. Silveira C. G. Moura, C. y Pedroso de Faria V. Fundación de estudios Agrarios Luis de Queiroz, FEALQ. Piracicaba, Brasil. p. 7- 32.
- Mengel, D.B. & Barber, S.A. 1974. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. Agron. J., 66:399-402.
- 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. p. 181 – 195.
- 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. p.279-302.
- Montesano, A.M., Salomón, A., Teramo, C.D. y Masiero, B. 2003. Fertilización del cultivo de maíz. Proyecto Fertilizar-INTA Pergamino, Argentina. 7p.

- Minagricultura, 2002. Minagricultura frente a la ganadería. Agricultura al día. Edición 28, diciembre de 2002. Bogotá D.C. p.14
- Muzilli, O. 1999. Conceptos y estrategia de investigación participativa en el proyecto Sabanas-Procitropicos. 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. 31-48p.
- Nelson, C.J. y Moser, L. E. 1994. Plant factors affecting forage quality. En: Forage quality. Evaluation and utilization Edited by American Society Agronomy Crop Science Soc. Of American, Madison, USA, pp 115- 156.
- 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. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 231p.
- Paliwal, R.L. 2001. Los ambientes del cultivo del maíz. En: El maíz en los trópicos, mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal-28. 4p.
- 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.
- Paulsen, G.M. 1994. High temperatura responses of crop plants. In: Physiology and determination of crop yield. Ed. K.J. Boote,, J.M. Bennett, T.R. Sinclair and G.M. Paulsen. Madison WI. USA. p. 365-389.
- Pinzón, A. y Amezquita, E. 1987. 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.
- Pizarro, E. y Rincón, A. 1995. Experiencia Regional con Arachis Forrajero en América del Sur. En : Biología y Agronomía de Especies Forrajeras de Arachis. Ed. P. Kerridge. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. p.155-169.
- Potash and phosphate institute, 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Norcross, G.A. U.S.A. 146p.
- Procitrópicos, 1995. Regeneración y manejo sostenible de los suelos degradados de las sabanas: una estrategia para la preservación del medio ambiente. Perfil del proyecto. p. 63.
- 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. 2003. Producción ganadera en sistemas agropastoriles de la Altillanura Colombiana. Seminario 1. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria CORPOICA, Regional 8, Villavicencio. 38p

- Rincón, A., Pérez, R., Cuesta, P., Lascano, C. y Ferguson, J. 1993. Maní Forrajero Perenne (*Arachis pintoï*) : Una Alternativa para Ganaderos y Agricultores. Boletín Técnico No.219 Instituto Colombiano Agropecuario ICA. 18 p.
- Robbins, G.B., Rickert, K.G. y Humphreys, L.R. 1986. Productivity decline in sown tropical grass pastures With age: The problem and possible solutions. Proceedings of the Australian Society of Animal production 16:319-322.
- Rojas, L.A. 1993. Manual de análisis de suelos, planta y aguas para riego. Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, Bogotá, Colombia. 230p.
- Rozas H.S. y Echeverría, 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 de grano. Rev. Fac. Agron. La Plata, Argentina. 103(1):37-44.
- Salinas, J.G. 1989. Fertilización de pastos en suelos ácidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura trópica.CIAT. Cali, Colombia. 215p.
- Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 1992. Fisiología vegetal. Ed. Iberoamérica S.A. Mexico. p. 319 - 338
- Sans, 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., Amezquita, M. C. y Amezquita, E.(eds). CIAT-EMBRAPA.Cali, Colombia. 232-244p.
- Santibáñez, F. y Fuenzalida, J. 1989. Modelos ecofisiológicos para el análisis de los potenciales de producción de maíz. Universiad de Chile (Santiago), Universidad de Talca (Talca), Chile. 32p.
- Salvagiotti, F., Pedrol, H. Y Castellarin, J. 2000. Utilización del método del balance de nitrógeno para la recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz. Informaciones agronómicas, Instituto de la potasa y el fósforo, INPOFOS. N° 38. p 11-13.
- Sánchez, L.F. y González, F. 1939. Una aproximación sobre el presente y futuro de la Orinoquia Colombiana. Siall vol. 6 (2). pp. 39-39.
- Sánchez, L.F. y Owen, E.J. 1994. Fertilidad de los suelos y fertilización de cultivos en los Llanos Orientales. En: Fertilidad de suelos, diagnostico y control. Ed. Silva, M. F. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá Colombia. pp. 345-402.
- Sánchez, P.A.1976. Properties and management of soils in the tropics. New York USA. J.Wiley and sons. 618 p.
- Silveira, C.G., Carneiro, B. e Tonato, F. 2005. Quantificao da massa e da producao de forragem em pastagens. En: Teoria e prática da producao animal em pastagens. Anais do 22° Simposio sobre manejo da pastagens. Ed. C. G. Silveira, J.C. Moura,

S.C. da Silva, V. Pedroso de Faria. Fundación de Estudios Agrarios Luiz de Queiroz-FEALQ. Piracicaba, SP. Brasil. pp. 195-216.

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.

Smith, J.; Cadavid, R.; Rincón, A. and VERA, R. 1997. Land Speculations and Intensification at the Frontier: a Seeming Pradox in the Colombian Sabana Agricultural Systems. Vol.54 No.4. p. 501-520.

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

Sylvester-Bradley, R. y Valdés, M. 1988. Manejo del ambiente microbiológico del suelo. En: Establecimiento y renovación de pasturas. Memorias Red Internacional de evaluación de pastos tropicales, Veracruz, México. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Cali Colombia. 426 p.

Thomas, R.J. 1995. Requerimientos de Rhizobium, fijación de nitrógeno y reciclaje de nutrientes en *Arachis* forrajero. En: Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Ed. P. Kerridge Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Cali Colombia. p.90-101.

Torres, D.M. 2002. Fertilización nitrógenada en el cultivo de maíz. mtorresduggan@pergamino.inta.gov.ar

Varvel, G.E., Schpers, J.S. and Francis, D.D. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Am. J.*, 61:1233-1239.

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.

Wilson, J.R., Denium, B. y Engels, F. M. 1991. Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperate forage species. Netherlands. *Journal of Agricultural Science.* 39: 31 - 48.

Wolfe, D.W., Henderson, D.W., Hsiao, T.C. and Alvino, A. 1998. Interactive water and nitrogen effects on senescences of maize. *Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. Agronomy journal*, 80:865-870.

Zoratelli, L., Cardoso, E.G., Piccini, J.L., Urquiaga, S., Boddey, R.M., Torres, E. e Alves, B.J. 2002. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD 502 para uso na cultura do milho. Comunicado técnico 55. EMBRAPA, Rio de Janeiro. 4p