



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Efecto de la fertilización sobre la  
producción de biomasa y la  
absorción de nutrientes en  
*Brachiaria decumbens* y *Brachiaria  
híbrido Mulato***

**Víctor Manuel Navajas Martínez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad Agronomía, Escuela de Posgrados  
Bogotá D.C., Colombia

2011



**Efecto de la fertilización sobre la  
producción de biomasa y la  
absorción de nutrientes en  
*Brachiaria decumbens* y *Brachiaria  
híbrido* Mulato**

**Víctor Manuel Navajas Martínez**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ciencias Agrarias**

Director:

M.Sc. Jaime Torres Bazurto

Línea de Investigación:

**Suelos y Aguas**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad Agronomía, Escuela de Posgrados  
Bogotá D.C., Colombia

2011



## ***DEDICATORIA***

Dedico esta obra a mi hija Gleidis, que siempre sirvió como una fuente de inspiración.

También a todos los que se interesen por estos temas y que se puedan beneficiar de estos resultados.

VICTOR MANUEL



## **Agradecimientos**

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

A la Universidad Nacional de Colombia, por permitirme adelantar mis estudios de maestría.

A la Universidad de la Paz, por su apoyo en todos sus aspectos que fueron de gran valía para culminar esta meta.

Al Profesor Gerhard Fischer Ph.D por su valioso apoyo académico

Al ingeniero M.Sc Jaime Torres Bazurto, quien en todo momento se convirtió en un gran orientador.

Al ingeniero Agrónomo Wilber Castro Cadena por su valiosa colaboración en la parte estadística y diseño experimental, además de todas las revisiones realizadas.

Al profesor Juan Ospina, por su inmensa colaboración en la parte estadística y de diseño experimental.

A mis amigos estudiantes de ingeniería Agronómica de UNIPAZ que colaboraron con gran entusiasmo y que ayudaron en diferentes labores.





## Resumen

Los suelos utilizados para la actividad ganadera generalmente son de baja fertilidad y alta acidez, lo cual genera bajas productividades. Existen cultivares de pasto *Brachiaria* que se adaptan a dichas condiciones adversas, pero se desconoce su comportamiento en condiciones agroecológicas de Barrancabermeja, Santander. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes por los pastos *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido cv. Mulato*. Se utilizó un diseño en bloques al azar con arreglo factorial de 2 x 2 x 3, correspondientes a *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido cv. Mulato*, con y sin fertilización con cortes a las 5, 10 y 15 semanas después de la emergencia respectivamente. *Brachiaria híbrido cv. Mulato* se caracterizó por producir mayor biomasa fresca ( $4,612 \text{ t ha}^{-1}$ ) y seca ( $0,74 \text{ t ha}^{-1}$ ), tuvo mayor concentración foliar de Ca (0,417%) pero la menor de Zn y Mn. La aplicación de fertilizante incrementó significativamente la biomasa fresca ( $5,1 \text{ t ha}^{-1}$ ) y seca ( $0,82 \text{ t ha}^{-1}$ ), la concentración foliar de P, K, Ca, Mg y Mn. A mayor tiempo de corte las biomásas fueron mayores al igual que el calcio foliar, pero los demás nutrientes disminuyeron. La interacción *B. híbrido cv. Mulato* x fertilización x corte a las 15 semanas después de emergencia generaron mayor cantidad de biomasa. La siembra del *B. híbrido cv. Mulato* con aplicación de fertilización es una buena alternativa para mejorar las praderas de la zona.

**Palabras clave:** concentración foliar de nutrientes, tiempo de corte, ganadería, biomasa seca.

## Abstract

The soils used for livestock are generally of low fertility and high acidity, which leads to low productivity. There *Brachiaria* grass cultivars that are adapted to these adverse conditions, but their behavior is unknown in agro ecological conditions of Barrancabermeja, Santander. The objective of this study was to evaluate the effect of fertilization on biomass yield and absorption of nutrients by grazing *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria hybrid* cv. mulato. A randomized block design was used with factorial arrangement of 2 x 2 x 3, corresponding *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria hybrid* cv. mulato, with and without fertilization with cut at 5, 10 and 15 weeks after emergence respectively. *B. hybrid* cv. mulato was characterized by higher yield of fresh (4.612 t ha<sup>-1</sup>) and dry (0.74 t ha<sup>-1</sup>) biomass, it was higher foliar Ca (0.417%) concentration but less Zn and Mn. Fertilizer application significantly increased fresh (5.1 t ha<sup>-1</sup>) and dry (0.82 t ha<sup>-1</sup>) biomass, foliar concentration of P, K, Ca, Mg and Mn. The longer the cut, biomass as foliar calcium were higher but other nutrients decreased. Interaction *B. hybrid* cv. mulato x fertilizer x cut to as 15 weeks after emergence generated the most amount of biomass. The planting of *B. hybrid* cv. mulato with fertilizer application is a good alternative to improve the grassland area.

**Keywords:** foliar nutrient concentration, cutting time, livestock, dry biomass.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
El objetivo general fue el siguiente: .....	2
Los objetivos específicos fueron: .....	2
<b>1. Revisión de literatura</b> .....	<b>5</b>
1.1 Las gramíneas en la ganadería .....	5
1.2 Nutrición mineral .....	7
1.3 <i>Brachiaria decumbens</i> .....	11
1.4 <i>Brachiaria</i> híbrido cv. Mulato .....	12
1.5 Nutrición de forrajes .....	14
<b>2. Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido cv. Mulato</b> .....	<b>19</b>
2.1 Materiales y métodos .....	19
2.1.1 Diseño experimental .....	19
2.1.2 Materiales .....	20
2.1.3 Procedimiento .....	20
2.1.4 Variables .....	23
2.1.5 Análisis estadístico .....	23
2.2 Resultados y discusión .....	24
2.2.1 Biomasa fresca .....	24
2.2.2 Biomasa seca .....	26
2.2.3 Nitrógeno .....	32
2.2.4 Fósforo .....	35
2.2.5 Potasio .....	37
2.2.6 Calcio .....	39
2.2.7 Magnesio .....	41
2.2.8 Zinc .....	42
2.2.9 Cobre .....	44
2.2.10 Boro .....	45
2.2.11 Hierro .....	46
2.2.12 Manganeso .....	47
<b>3. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>49</b>

XII Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* Mulato

---

3.1	Conclusiones .....	49
3.2	Recomendaciones.....	50
<b>Bibliografía</b> .....		<b>51</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 2-1:</b> Producción de biomasa fresca en pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido cv. mulato (A) con y sin fertilización (B). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	25
<b>Figura 2-2:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la producción de biomasa fresca en pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	26
<b>Figura 2-3:</b> Producción de biomasa seca en pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido cv. mulato (A) con y sin fertilización (B). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	28
<b>Figura 2-4:</b> Producción de biomasa seca en pasto <i>Brachiaria</i> . Efecto de la interacción cultivar x Fertilización. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	29
<b>Figura 2-5:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la producción de biomasa fresca en pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	30
<b>Figura 2-6:</b> Producción de materia seca en pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido mulato en tres cortes (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia). Promedios seguidos de letras distintas en cada corte presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	31
<b>Figura 2-7:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de nitrógeno en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	34
<b>Figura 2-8:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	35
<b>Figura 2-9:</b> Efecto de la fertilización sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	36
<b>Figura 2-10:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	38
<b>Figura 2-11:</b> Efecto la fertilización sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	39

<b>Figura 2-12:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	40
<b>Figura 2-13:</b> Concentración de calcio en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido cv. mulato (A) con y sin fertilización (B). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	41
<b>Figura 2-14:</b> Efecto la fertilización sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	42
<b>Figura 2-15:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de zinc en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	43
<b>Figura 2-16:</b> Concentración de zinc en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido mulato. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	44
<b>Figura 2-17:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de cobre en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	45
<b>Figura 2-18:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de boro en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	46
<b>Figura 2-19:</b> Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de manganeso en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria</i> . Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	47
<b>Figura 2-20:</b> Concentración de Manganeso en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido cv. mulato (A) con y sin fertilización (B). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).	48

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1:</b> Niveles adecuados en los tejidos de nutrientes requeridos por las plantas (Epstein y Bloom, 2004). .....	8
<b>Tabla 1-2:</b> Características específicas de macro y micronutrientes, adaptado de Marschner (2002) y Barker y Pilbeam (2007) .....	8
<b>Tabla 2-1:</b> descripción de los tratamientos .....	20
<b>Tabla 2-2:</b> Metodología utilizada para el análisis de suelos.....	21
<b>Tabla 2-3:</b> Resultados del análisis de suelos por cada uno de los bloques .....	22
<b>Tabla 2-4:</b> Metodología utilizada para el análisis de tejido vegetal.....	23
<b>Tabla 2-5:</b> Producción de biomasa fresca en pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido cv. mulato con y sin fertilización en tres cortes (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia). Promedios seguidos de letras distintas en cada corte presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%). .....	24
<b>Tabla 2-6:</b> Producción de biomasa seca en pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> híbrido cv. mulato con y sin fertilización en tres cortes (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia). Promedios seguidos de letras distintas en cada corte presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%). .....	27
<b>Tabla 2-7:</b> Concentración de nitrógeno en el tejido foliar de pasto <i>Brachiaria decumbens</i> y <i>Brachiaria</i> cv. híbrido mulato con y sin fertilización en tres cortes (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia). Promedios seguidos de letras distintas en cada corte presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%). .....	32





## Introducción

En el trópico la principal fuente de nutrientes y la más barata, para la alimentación del ganado vacuno la constituyen los pastos y forrajes, lo que se apoya en su economía y en la no competencia con las necesidades de alimentos para el consumo humano directo y de otros animales (Díaz, 2001).

Sin embargo, su crecimiento y productividad está influida por las condiciones climáticas existentes principalmente por la distribución anual de las lluvias, que unido a otros factores del medio ambiente y de manejo, repercuten en que estos no reflejen totalmente su potencialidad productiva y nutritiva (Herrera, 1983). Estos elementos interactúan y tienen un marcado efecto en el crecimiento de las especies y variedades de pastos en los diferentes meses del año, provocando un desbalance estacional en los rendimientos, que ocasiona un déficit de alimento principalmente en el período poco lluvioso. A esta situación hay que añadir, que en Colombia los suelos destinados al cultivo de pastos en su mayoría son de baja fertilidad y mal drenaje, que conjuntamente, con el clima ejercen efectos negativos en la productividad, calidad y persistencia de las especies de pastos (Blanco, 1991).

La fertilización de los pastos es una de las prácticas agronómicas más importantes y algunos trabajos recientes muestran que la fertilización representa aproximadamente el 19% de los costos de producción de una res durante su período de lactancia (Rojas et al, 2002). Por lo general la fertilización de potreros en etapa de establecimiento, se enfoca en la aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P), dicha práctica puede no resultar adecuada ya que parte del fertilizante puede perderse o fijarse en el suelo. El diseño de un programa de fertilización debe establecerse con base en los análisis foliares y de suelos del área respectiva, además de considerar factores determinantes como suelo, clima, métodos de aplicación, tipo de fertilizante y la especie forrajera (Acosta, 1995). La *Brachiaria decumbens* es la especie más cultivada del género *Brachiaria*, constituyéndose en la base de la alimentación de muchos de los sistemas de producción

ganadera en el trópico, por sus altos rendimientos en materia seca y capacidad de pastoreo (Crowder *et al.*, 1970).

Parte de los suelos del departamento de Santander, que en su mayoría se encuentran clasificados dentro de los órdenes entisol e inceptisol y en los cuales predominan la acidez y la baja fertilidad, son comúnmente utilizados en ganadería, actividad que se caracteriza por cargas y productividades bajas; situación que exige que se busquen alternativas técnicas que incrementen la productividad de los pastos y por ende la carga y productividad del ganado. Sin embargo, la inclusión de nuevos pastos como *Brachiaria híbrido* cv. mulato trae otros problemas como el desconocimiento del potencial de producción de biomasa y la extracción de nutrientes por las plantas, que permitan generar planes de fertilización adecuados, y de esta manera aumentar la productividad.

El objetivo general fue el siguiente:

Evaluar el efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes por los pastos *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* cv. mulato.

Los objetivos específicos fueron:

- Evaluar el efecto de la fertilización sobre la acumulación de biomasa y la concentración de nutrientes minerales en el tejido foliar por parte de los pastos *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* cv. mulato
- Determinar la concentración de nutrientes en el tejido foliar por parte de los pastos *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* cv. mulato son y sin aplicación de fertilizante
- Establecer el efecto del tiempo de corte sobre la acumulación de biomasa y concentración de nutrientes en el tejido foliar

En el proceso de formación de una pastura, es necesario suministrar a las especies forrajeras durante la fase de establecimiento, los nutrientes adecuados para la germinación de la semilla y el vigoroso desarrollo de la planta. Esta necesidad es de particular importancia en los suelos ácidos y de baja fertilidad natural, en los cuales el desarrollo de las especies puede ser severamente limitado por deficiencias nutricionales, por tal motivo se estableció el objetivo de este trabajo que era evaluar el efecto de la

fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes por los pastos *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* cv. Mulato, en Barrancabermeja, Santander, Colombia.



# 1.Revisión de literatura

## 1.1 Las gramíneas en la ganadería

Las gramíneas forman uno de los grupos vegetales más importantes desde el punto de vista económico. Además de su utilización como alimento y forraje, algunos representantes de ésta, son elementos importantes de la conservación y regeneración de suelos (Duffey *et al.*, 1978).

Los forrajes son la fuente de nutrientes que mejor se adaptan a las necesidades fisiológicas del ganado vacuno y la opción más barata, pero varían en su composición y producción dependiendo del clima y el suelo donde crecen, así como del manejo que se les dé. Hay un gran número de gramíneas y leguminosas que se adaptan a las diversas condiciones del trópico. Se calcula que en el mundo existen unas 10.000 especies de gramíneas, de las cuales únicamente alrededor de 40 se emplean corrientemente en praderas artificiales y menos de la mitad de ellas se emplean en el trópico (Gôhol, 1982).

Las gramíneas en el trópico son de menor calidad que aquellas utilizadas en las regiones templadas y aunque sus rendimientos en materia seca pueden ser mayores, son deficientes en proteína cruda y relativamente altas en fibra (Close y Menke, 1986).

La reacción de las plantas forrajeras a los elementos minerales presentes en el suelo, es parte determinante de la distribución natural y de la habilidad para sobrevivir y producir de estas plantas en determinado ecosistema. El estado nutricional de un suelo puede considerarse como satisfactorio cuando éste suministra nutrimentos en una concentración y tasa suficientes para las necesidades de la planta forrajera. El diagnóstico inicial del estado nutricional de un suelo, es la herramienta para determinar que nutrientes son limitantes en el desarrollo de la planta forrajera y qué cantidad de cada nutriente es necesario para eliminar esta limitación.

En general, el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, son los más variables en cuanto al requerimiento nutricional en diferentes suelos y especies forrajeras. Además, los requerimientos para el mantenimiento de pasturas, pueden diferir de los del establecimiento y también el estado nutricional puede cambiar con el tiempo, debido a la remoción del sistema, reciclaje y pérdida por lixiviación y fijación en el suelo (Salinas, 1985).

El género *Brachiaria*, de la tribu Paniceae, contiene cerca de 100 especies que, aunque aparecen en las regiones tropical y subtropical de los hemisferios oriental y occidental, se encuentran principalmente en África (Renvoize *et al.*, 1987). Siete especies perennes de origen africano, *B. arrecta*, *B.f brizantha*, *B. decumbens*, *B. dictyoneura*, *B. humidicola*, *B. mutica* y *B. ruziziensis*, se han utilizado como especies forrajeras, especialmente en América tropical (Argel y Keller-Grein, 1996) y en menor grado en Asia, el Pacífico Sur y Australia (Stür *et al.*, 1996). Estas especies de *Brachiaria* son probablemente las gramíneas forrajeras más ampliamente sembradas en el trópico.

Las especies de *Brachiaria* se adaptan fácilmente a los suelos de baja fertilidad de las sabanas sudamericanas, principalmente porque toleran condiciones edáficas en que la disponibilidad de Al es alta y tanto el P como el Ca son bajas. Resisten también estas especies la defoliación intensiva y frecuente y la invasión de las malezas. Al parecer, esta adaptabilidad no proviene de características fisiológicas como la eficiencia en el uso de la luz, la tolerancia de la inundación u otros factores relacionados con la adaptación climática (Rao *et al.*, 1995).

Es importante identificar la forma en que las especies de *Brachiaria* se adaptan a suelos ácidos de baja fertilidad y los requerimientos nutricionales que tienen, porque casi nunca hay nutrimentos en cantidades óptimas cuando se trata de producir forrajes. Por ello, las plantas se adaptan al estrés que les impone su ambiente nutricional. Las principales limitaciones de los suelos ácidos son la toxicidad causada por el Al o el Mn (o ambos) y las deficiencias de nutrimentos esenciales, como el N, P, Ca y Mg; estas limitaciones deben reducirse si se desea establecer con éxito una pastura (Lapointe y Miles, 1992).

## 1.2 Nutrición mineral

Nutrición vegetal se define como el conjunto de relaciones existentes entre determinados componentes químicos y la planta (Salas, 2003), incluyendo en este concepto todos los procesos relacionados: absorción, transporte, utilización y eliminación de nutrientes. Además, es un proceso extremadamente complejo mediante el cual las plantas obtienen una parte de los elementos necesarios para vivir. En él suceden una gran cantidad de interacciones de tipo físico, químico, biológico y bioquímico. La adquisición de los elementos minerales por las raíces a partir de la solución del suelo, constituye el primer paso en la nutrición mineral de las plantas. Este paso lo realizan las raíces de una forma altamente especializada, para lo cual consumen una gran cantidad de energía que es liberada mediante un proceso respiratorio (Conn, 1989).

Los elementos con funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas se clasifican, según su concentración en la planta y conforme a sus requerimientos para el adecuado crecimiento y reproducción, en dos grupos: macronutrientes y micronutrientes (Marschner, 1995).

Las plantas necesitan calcio, magnesio, nitrógeno, fósforo, potasio y azufre en cantidades relativamente grandes (> 0,1% de materia seca) y los micronutrientes hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro, cloro y níquel (Barker y Pilbeam, 2007).

Normalmente, estos minerales son absorbidos por las raíces de las plantas de la solución del suelo en forma iónica con los metales  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^{+1}$  presentes como cationes libres P y S como fosfato oxi aniones  $(\text{PO}_4)^{-3}$  y sulfato  $(\text{SO}_4)^{-2}$  y N como nitrato  $(\text{NO}_3)$ , nitrito o el catión de amonio  $(\text{NH}_4^+)$ .

Las concentraciones requeridas de todos los nutrientes, macro y micronutrientes, se presenta en la tabla 1-1 y en la tabla 1-2 se presentan las principales características de los macro y micronutrientes.

**Tabla 1-1:** Niveles adecuados en los tejidos de nutrientes requeridos por las plantas (Epstein y Bloom, 2004).

Elemento	Contenido mineral	Elemento	Contenido mineral
	mg kg <sup>-1</sup> masa seca		mg kg <sup>-1</sup> masa seca
Macronutriente		Micronutriente	
Nitrógeno	15000	Niquel	0,05
Fósforo	2000	Molibdeno	0,1
Azúfre	1000	Cobre	6
Magnesio	2000	Zinc	20
Calcio	5000	Manganeso	50
Potasio	10000	Hierro	100
Oxígeno	450000	Boro	20
Carbono	450000	Cloro	100
Hidrogeno	60000		

**Tabla 1-2:** Características específicas de macro y micronutrientes, adaptado de Marschner (2002) y Barker y Pilbeam (2007)

Elemento	Forma asimilable - Concentración	Función	Enzimas
<b>MACRONUTRIENTES</b>			
<b>N</b>	NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> Removilización como amidas y aminas  1-5%	Ac. Nucleicos, A.A, proteínas, nucleótidos, clorofila coenzimas	



<b>P</b>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , 0,1-0,5 suelo <1μM	Fosfolípidos, coenzimas, fosfoproteínas, DNA, RNA, ADP, ATP, Hexosa-P. división celular, crecimiento raíces, desarrollo de semillas, fitina	
<b>Ca</b>	0,1-0,2%	Elemento estructural, constituye la lámina media, las paredes y membranas celulares, participa en la división y elongación celulares, modera la acción de hormonas y señales, equilibrio iónico, permeabilidad y estabilidad de membrana mediante unión de grupos fosfatos, une pectinas mediante unión de ácido galacturónico cofactor enzimático, activación de calmodulina, gravitropismo	Hidrolasas
<b>K</b>	K <sup>+</sup> - 0,5-6% En floema 60-100 mM	Balance hídrico de plantas, afecta potencial osmótico porque se acumula en células guarda y permite >agua, balance transporte catión/anión, cofactor de muchas enzimas, síntesis de proteínas, ATP y fotosíntesis, movimiento de azúcares en floema	Piruvato kinasa en glicolisis para fotosíntesis y respiración
<b>Mg</b>	Mg <sup>+</sup> - 0,1-0,4%	Componente de clorofila, activa enzimas, componente de ribosomas, síntesis de proteínas	Hexoquinasa
<b>MICRONUTRIENTES</b>			
<b>Cu</b>	5-15 ppm- 99% está en complejos, como AA histidina	Rx de oxidación reducción. En proteínas 3 formas: azules como plastocianina en transferencia de electrones. No azules que produce peroxidasas y oxida mono a di fenoles. multicobres con 4 Cu por molécula que actúa como oxidasa Ejm ascorbato oxidasa cataliza 2AH <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> = 2A+H <sub>2</sub> O. Citocromo oxidasa Cu-Fe cataliza la oxidación terminal de mitocondria. Cu ubicado en hojas principalmente en cloroplastos. En raíz 80% está en apoplasto y tiene baja movilidad	Polifenol oxidasa: cataliza transferencia de fenoles a O <sub>2</sub> , también actúa en biosíntesis de lignina, alcaloides y melanina, esto inhibe infección de esporas de hongos. CuZn-SOD en citoplasma
<b>Fe</b>	Fe <sup>+2, +3</sup> , pero es transportado	HEME: es un grupo que consiste de un átomo de Fe contenido en el centro de un anillo orgánico llamado PORFIRINA. Ejm: citocromo,	

	con citrato y malato - 100-300ppm	<p>citocromo oxidasa, peroxidada y catalasa, legmoglobina.</p> <p>Citocromo: componentes de oxidación-reducción en cloroplastos y mitocondrias.</p> <p>Nitrato reductasa: proteína con Fe y Mo que reduce el nitrato. Localizada en citoplasma y estroma.</p> <p>Nitrito reductasa: nitrito a amonio, cloroplastos y proplastidos de raíz y no fotosintéticos.</p> <p>Leghemoglobina: proteína roja en nódulos de leguminosas que protege nitrogenasa, ubicada entre las membranas de célula vegetal y célula bacteria.</p> <p>NO HEME: ferredoxina: pequeña FeS proteína que transporta electrones en fotosíntesis, nitrito y sulfito reducción.</p> <p>Nitrogenasa: fijación de N<sub>2</sub> proteínas sensible a O<sub>2</sub> y una con Fe o Mo.</p> <p>Superoxido dismutasa: en cloroplastos, mitocondria y peroxisomas con Fe, Cu, Mn o Zn.</p> <p>Fe en fotosíntesis: Rx en PS I y II</p> <p>Fe in síntesis de clorofila: cataliza síntesis de ácido amino levulinico precursor de porfirina y clorofila.</p>	
<b>Mn</b>	<p>Mn<sup>+2, +4</sup>, 30-40% circula en forma libre, resto con citrato o malato - 100-200 ppm</p> <p>Alta en plantas ricas en taninos y alcaloides</p> <p>Raíz&gt;hojas&gt;brotos</p>	<p>Principalmente catálisis solo 2 enzimas contienen Mn, Mn proteína del PS II y SOD (no típico plantas). Mn es catalizador, cuando no es bloqueado por 2 átomos de Cl. Activa +35 enzimas (oxidación,-reducción, decarboxilación o hidrólisis). Activa enzimas del ciclo de Calvin, Síntesis de aminoácidos aromáticos (tirosina), lignina, carotenoides, estructura y función de cromatina, DNA y RNA polimerasa, junto con auxina promueven elongación celular</p>	<p>Activa +35 enzimas (oxidación,-reducción, decarboxilación o hidrólisis). Activa enzimas del ciclo de Calvin,</p>
<b>Zn</b>	<p>Zn<sup>+2</sup> no presenta oxidorreducción</p> <p>20-80ppm</p>	<p>Junto con Cu en SOD, localizada en mitocondria y citoplasma y glioxisomas, en cloroplastos esta Fe-SOD, componente estructural de ribosomas, síntesis de AIA, Zn tiene conexión con grupos fosfato o SH de lípidos y estabiliza la membrana</p>	<p>Carbonic anhidrasa en cloroplastos y citoplasma</p> <p>H<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub>=H+HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,</p> <p>fosfolipasa, RNA</p>

			polimerasa, dehidrogenasa, aldolasa, isomerasa
<b>B</b>	2-5 en monocot 20-70 ppm en dico - B(OH) <sup>3</sup> y B(OH) <sup>4</sup> se transporta con sorbitol	Sirve de puente diester en RGII. El 90% de B en células está en pared. También une a hidroxiprolina, prolina, extensinas. Crecimiento de meristemos y síntesis de ácidos nucleicos: síntesis de uracilo y proteínas. Regula AIA oxidasa. Enzimas de síntesis de azúcares como fosforilasa, síntesis de lignina a partir de ácido cafeico y hidroxiferulico. Estabiliza membrana. B en estilo, estigma y ovario.	Fosforilasa

### 1.3 *Brachiaria decumbens*

Sus nombres comunes son: pasto *Brachiaria* común, pasto alambre, pasto amargo, pasto peludo. Es originario de África Ecuatorial crece en forma natural en sabanas abiertas o con presencia de plantas arbustivas en suelos fértiles y clima moderadamente húmedo. El pasto *Brachiaria* se introdujo a Colombia en 1953, y su evaluación en los llanos orientales de Colombia se inició en 1961.

Es una planta herbácea, perenne, semierecta a postrada y rizomatosa, produce raíces en los entrenudos, las hojas miden de 20 a 40 cm de longitud por 10 a 20 mm de ancho y con vellosidades. Se adapta a un rango amplio de ecosistemas, en zonas tropicales crece desde el nivel del mar hasta 1800 m y con precipitaciones entre 1000 y 3500 mm al año y temperaturas por encima de los 19°C y suelo bien drenados (Pérez, 1995).

Crece muy bien en regiones de baja fertilidad con sequias prolongadas, se recupera rápidamente después de los pastoreos, compite bien con las malezas y se recupera en forma aceptable después de la quemadas que se realizan en los primeros meses del año, sin embargo, no crece bien en zonas inundables (Belalcazar y Lemus 1995).

Se establece por semilla sexual y la cantidad depende del sistema de siembra, sin embargo se utilizan de 2 a 3 kg por hectárea. Cubren rápidamente el suelo, tiene buena persistencia y productividad, los estolones enraízan bien. En el establecimiento es necesario y dependiendo del análisis de suelos, hacer fertilización.

Aunque es una especie que se adapta bien a suelos de baja fertilidad, responde a la aplicación de nitrógeno y fósforo, es necesario realizar fertilizaciones de mantenimiento cada 2 o 3 años de uso. Se puede manejar bajo pastoreo continuo o rotacional, su agresividad limita la capacidad de asociación con la mayoría de las leguminosas.

Un trabajo desarrollado por Berna (2001) confirmó que esta especie se adapta bien a diversas condiciones agroecológicas como altitud (desde el nivel del mar hasta 2.200 msnm) es tolerante a la sequía, quemas, alta precipitación, pastoreo intensivo, pisoteo, suelos ácidos y pobres en nutrientes y alta saturación de Aluminio. Estudios sobre mecanismos de la resistencia al Aluminio en *Brachiaria* indican que *Brachiaria decumbens* es altamente resistente al Aluminio (Wenzl *et al.*, 2001).

La amplia adopción de esta especie se atribuye a su alta productividad bajo uso intensivo y su excelente adaptación a suelos ácidos (pH<5,5), además responde muy bien a la fertilización, es persistente y se mantiene verde en condiciones de sequía, y proviene de una accesión de germoplasma resistente a la toxicidad por Aluminio. Su reproducción apomíctica ofrece diversas ventajas debido a la fijación del vigor híbrido en sus semillas, asegurando la preservación de su constitución genética original (Keller *et al.*, 1988; Rao *et al.*, 1996).

## 1.4 *Brachiaria* híbrido cv. Mulato

El cv. Mulato es un híbrido apomíctico del género *Brachiaria*, que se originó a partir de cruces iniciados en 1988 en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Cali, Colombia, entre el clon sexual 44-6 de *Brachiaria ruziziensis* y la especie tetraploide apomíctica *B. brizantha* CIAT 6294 (= CIAT 6780) (Miles, 1999).

El cv. Mulato es una gramínea perenne de crecimiento inicial macollado que puede alcanzar hasta 1,0 m de altura. Produce tallos cilíndricos vigorosos, algunos con hábito semi-decumbente capaces de enraizar a partir de los nudos cuando entran en estrecho contacto con el suelo, bien sea por efecto del pisoteo animal o por compactación mecánica, lo cual favorece el cubrimiento total del suelo en potreros bajo pastoreo. Las hojas son lanceoladas con alta pubescencia y alcanzan hasta 40 cm de longitud y entre 2,5 a 3,5 cm de ancho (Guiot y Meléndez, 2003a). La inflorescencia es una panícula de 30 a 40 cm de longitud, generalmente con 3 a 8 racimos con hilera doble de espiguillas, las cuales varían entre 2,4 mm de ancho y 6,2 mm de largo, que presentan durante la antesis estigmas de color cardenal oscuro (Loch y Miles, 2002). Cada tallo produce una inflorescencia terminal, aunque se ha observado la aparición de una segunda espiga proveniente de nudos intermedios en el mismo tallo, particularmente cuando se despunta la panícula principal. Una de las características más destacables de esta planta es su alto macollamiento hasta 30 macollas 2,4 meses después de establecida, lo cual se inicia pocas semanas después de la emergencia y le da ventajas durante el establecimiento, sobre todo en sitios con alta incidencia de malezas (Pinzón y Santamaría, 2005).

El cv. Mulato crece bien desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm en trópico húmedo con altas precipitaciones y períodos secos cortos, y en condiciones subhúmedas con 5 a 6 meses secos y precipitaciones anuales mayores de 700 mm. Aparentemente la baja disponibilidad de luz solar afecta el desarrollo de las plantas. Los suelos donde crece bien esta gramínea van desde los ácidos con pH 4,2 hasta alcalinos (pH 8,0), pero de mediana a buena fertilidad y bien drenados; el cv. Mulato no sobrevive en suelos pesados con pobre drenaje interno o que se inunden periódicamente.

La tolerancia a la acidez del suelo del cv. Mulato es menor que la reportada en *B. decumbens* cv. Basilisk, pero es mayor que la observada en *B. brizantha* cv. Marandú, una de las fuentes parentales de este híbrido. En condiciones de invernadero el crecimiento total de raíces del cv. Mulato es intermedio entre los dos cultivares de *Brachiaria* con cerca de 9 m/planta en una solución no ácida (sin aluminio), y de 5 m/planta en medio ácido (pH 4,2) con aluminio (Al). Si esta condición se extrapola al medio natural, se pueden entender las razones por las que el cv. Mulato tiene limitaciones de productividad y persistencia en suelos pobres ácidos con alto contenido

de Al, presentes en muchas zonas ganaderas del trópico. Por otra parte, el buen sistema radicular del cv. Mulato en la ausencia de Al explica su tolerancia a sequía.

Los rendimientos de forraje del cv. Mulato, igual que el de otras gramíneas, depende de las características de fertilidad y de drenaje del suelo, de las condiciones climáticas del sitio y de la incidencia o no de plagas y enfermedades. Resultados de varios ensayos indican que los rendimientos oscilan entre 10 y 25 t de materia seca (MS) por hectárea/año, donde es evidente que los mejores rendimientos se obtienen en localidades con suelos francos de buena fertilidad, profundos y sin problemas de drenaje, especialmente si se fertiliza el pasto. Así por ejemplo, Cuadrado *et al.* (2005) reporta un rendimiento de 18,1 t MS/ha/año para el cv. Mulato en condiciones de un suelo aluvial sin fertilizar ((pH 5,3; 5,9% de Materia Orgánica (MO) y 25,8 ppm de Fósforo (P)) localizado en Cereté (Colombia), mientras que Pinzón y Santamaría (2005a) reportan un rendimiento de 20,1 t MS/ha/año para el mismo pasto en un suelo ácido tipo Inceptisol, pero fertilizado (pH 4,5; 3,8% MO y 2,0 ppm de P) localizado en Gualaca (Panamá). En condiciones de Atenas, Costa Rica, en un suelo de mediana fertilidad tipo Inceptisol (pH 5,9; 7,6% MO y 3,6 ppm de P) pero con 5 a 6 meses secos, el cv. Mulato rindió 13,6 t MS/ha/año (Argel y Pérez, 2003). Cifras similares o mayores han sido reportadas en México (Guiot y Meléndez, 2003) y en otros lugares de Colombia (CIAT, 1999).

## 1.5 Nutrición de forrajes

Las especies introducidas de gramíneas y leguminosas en la altillanura, se adaptan a las condiciones de suelos ácidos y con alta saturación de aluminio (mayor de 70%) y bajos en nutrientes (fósforo, calcio, magnesio, potasio, nitrógeno y azufre). En estas condiciones, la calidad y productividad de los pastos es baja. Debido a los costos de los fertilizantes los cuales se ven incrementados por el transporte desde los centros de comercialización hasta las fincas; la investigación en un comienzo hizo énfasis en la estrategia de “los mínimos insumos” que se enfoca principalmente en la selección de especies con alta tolerancia a la acidez y eficiencia en la utilización de nutrientes, especialmente fósforo, los cuales se encuentran en estos suelos en forma poco aprovechable o en cantidades relativamente pequeñas. Es notable el progreso que se ha obtenido en este proceso de selección, pero aún las especies de plantas más eficientes

y adaptadas a nuestras condiciones, requieren una fertilización adecuada para su establecimiento y mantenimiento (Hamond *et al.*, 1982).

Un alto porcentaje de praderas en pastos, introducidas a la Orinoquia han sido establecidas sin la adición de fertilizantes, por esto la producción de forraje, persistencia, capacidad de carga y los índices de producción animal son bajos. Con una fertilización adecuada se puede incrementar la capacidad de carga y las ganancias de peso animal en más de un 30% (Rincón, 1998).

La fertilización de mantenimiento tienen mayor requerimiento en las praderas de gramíneas puras, en donde el déficit de nitrógeno es común, manifestándose con un bajo contenido de proteínas en los pastos. Cuando se fertiliza con nitrógeno o cuando el pasto está asociado con una leguminosa, la respuesta a los demás nutrientes (P, K, Ca, Mg) es mayor, esto se refleja en praderas más productivas y de mejor calidad, especialmente en mayor contenido de proteínas (Spain, 1983).

La principal deficiencia en praderas de gramíneas puras, es el nitrógeno que se manifiesta con un bajo contenido de proteína en los forrajes.

Los pastos adaptados a las condiciones del Pie de Monte Llanero y de la altillanura han presentado buena respuesta a la aplicación de nitrógeno, fosforo, calcio, potasio, magnesio y azufre. En cambio no presenta respuesta en producción de forraje, a la aplicación de microelementos. La disponibilidad de cobre hierro y manganeso es adecuada para el establecimiento de praderas en la mayoría de los suelos de los Llanos orientales de Colombia, pero el boro y el zinc son deficientes. (Salinas, 1989).

Las aplicaciones de zinc ( $4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) inducen incrementos en la concentración en el tejido vegetal, especialmente en gramíneas. Sin aplicaciones de zinc, las gramíneas presentan en el tejido concentraciones de este elemento cercanas al límite inferior del requerimiento para vacunos, que es de 15 ppm de zinc. En leguminosas forrajeras, sin aplicaciones de zinc, las concentraciones de este elemento en el tejido, llenan suficientemente el requerimiento del animal y de la planta (Spain, 1982).

Los fertilizantes se recomiendan de acuerdo a los análisis de las características químicas del suelo. En general para los suelos de los llanos orientales que son bajos en nutrientes, se recomiendan aplicar por hectárea de 30 a 45 kg de  $P_2O_5$ , 30 a 50 kg de  $K_2O$ , de 15 a 25 kg de Mg, 15 a 20 kg de azufre y de 75 a 100 kg de calcio.

Las fuentes de fósforo, calcio y magnesio deben ser de lenta solubilidad y bajos costos como la roca fosfórica que contienen entre 18 y 22% de  $P_2O_5$ , y la cal dolomítica con 10% de magnesio. Estos dos fertilizantes además contienen un 30% de calcio, cada uno.

En la planificación de la siembra de pasto debe hacerse buen uso del análisis de suelo para calcular el tipo y cantidad de fertilizante que se va a emplear, para presupuestar solamente lo necesario de acuerdo a los requerimientos de la especie forrajera que se va a establecer. De otra parte, debe tenerse en cuenta la concentración del elemento en el fertilizante.

Según el ICA, en estudios realizados en los Llanos Orientales en 1994 el contenido de calcio en *Brachiaria decumbens* es del orden de 0,25% a 0,30%, el fósforo de 0,05% a 0,20%, el magnesio 0,10% a 0,25%, y el azufre de 0,05% a 0,10%.

Según Sánchez y Salinas (1980) los principales limitantes relacionados con los suelos de América Tropical y su región de suelos ácidos e infértiles son las deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, alta fijación de fósforo, toxicidad de aluminio, deficiencia de azufre, zinc, calcio y magnesio. Los más ampliamente difundidos en las regiones de Oxisoles-Ultisoles son más de naturaleza química que física, incluyendo las deficiencias de N, P, K, S, Ca, Mg y Zn, más la toxicidad por aluminio y la alta fijación de fósforo. Cuando los limitantes químicos del suelo se eliminan encalando y aplicando fertilizantes, las productividades de estos Oxisoles y Ultisoles se ubican entre las mayores en el mundo. Aunque es necesario tomar en cuenta que las propiedades físicas de los suelos en estas regiones se consideran buenas, pero frágiles, lo que implica manejar de manera apropiada las labores de mecanización agrícola para evitar deterioro en ellas y a su vez afectación de las propiedades químicas.



En investigaciones realizadas en Venezuela, municipio de Cacique Manaure, estado Falcón, denominado evaluación inicial de la fertilización con roca fosfórica en tres especies del género *Brachiaria* registró diferencias significativas con el testigo en producción de materia seca, pero muy similar a los demás tratamientos (50, 100, 200 kg de  $P_2O_5$ ). En conclusión, no se produjo un efecto significativo del fósforo y las diferencias con el testigo fueron atribuibles principalmente al efecto del fertilizante nitrogenado (Romero *et al.*, 2003)

Según Fenster y León (1979), en los suelos ácidos e infértiles de América Tropical el contenido total de fósforo oscila entre 200 y 600 ppm y el fósforo disponible varía entre 1 y 5 ppm, razón por la cual se considera el elemento más limitante para la producción de pastos y forrajes. Por otra parte afirman que en los suelos ácidos (pH 4,0-5,5) esta baja disponibilidad está asociada con altos contenidos de óxidos e hidróxidos libres de hierro y aluminio, los cuales tienden a fijar con rapidez cantidades apreciables de fósforo.

Cuadrado *et al.* (2005) reporta un rendimiento de 18,1 toneladas/ha/año para el cv. mulato en condiciones de un suelo aluvial sin fertilizar, pH 5,3, 5,9% de materia orgánica y 25,8 ppm de fósforo, localizado en Cereté (Colombia), mientras que Pinzón y Santamaría (2005) reportan un rendimiento de 20,1 toneladas de materia seca/ha/año para el mismo pasto en un suelo ácido e Inceptisol, pero fertilizado, pH 4,5; 3,8% de materia orgánica y 2,0 ppm de fósforo, localizado en Gualaca (Panamá).

En condiciones de Atenas (Costa Rica), en un suelo de mediana fertilidad tipo Inceptisol pH 5,9, y 7,6% de materia orgánica, 3,6 ppm de fósforo y con período seco de 5 a 6 meses, el mulato rindió 13,6 toneladas/hectárea/año (Argel y Pérez, 2003). Cifras similares o mayores han sido reportadas en México (Guiot y Meléndez, 2003) y en otros lugares de Colombia (CIAT, 1999).

El pasto mulato requiere para un buen desarrollo, suelos de mediana a buena fertilidad, lo que implica que la adaptación de la gramínea a suelos pobres es marginal por la escasa disponibilidad de nutrientes en los mismos. En efecto, evaluaciones preliminares realizadas en Colombia (CIAT, 1988), mostraron que el mulato incrementa durante la fase de establecimiento sus rendimientos de 4,8 a 8,7 toneladas de materia seca por hectárea, al variar la fertilización en  $kg\ ha^{-1}$  como sigue, P de 20 a 50 kg; K de 20 a 100

kg; Ca de 33 a 66 kg; Mg de 14 a 28,5 kg; S de 10 a 20 kg , y agregando N en dosis de 80 kg ha<sup>-1</sup> en un suelo ácido Oxisol.

Se reconoce la buena respuesta del mulato a la fertilización se ha observado que la gramínea pareciera no requerir aplicaciones significativas de nitrógeno para un buen desarrollo en los primeros meses de crecimiento.

Por ejemplo, en condiciones de Pucallpa en Perú (suelo Ultisol con pH 4,4; 1,0 % de materia orgánica y 2 ppm de fósforo) este pasto obtuvo total cobertura del suelo a las doce semanas después de sembrado independientemente de si había sido o no fertilizado con 150 kg ha<sup>-1</sup> de N y 50 kg ha<sup>-1</sup> de P (CIAT, 1999). Estas observaciones coinciden con otras realizadas en distintos sitios donde el mulato se ha establecido, y que obviamente está asociado al estado natural de fertilidad del suelo y la reserva de nutrientes que tenga durante la emergencia y crecimiento inicial de las plantas.

En condiciones controladas de campo se ha encontrado respuesta significativa del pasto mulato a aplicaciones fraccionadas de nitrógeno hasta los 100 kg por hectárea; tasas de aplicación por encima de esta dosis y hasta los 300 kg por hectárea de nitrógeno no han incrementado los rendimientos en condiciones de El Zamorano en Honduras (Hidalgo, 2004).

## **2. Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* cv. Mulato**

### **2.1 Materiales y métodos**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental Santa Lucía de propiedad del Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ, en el municipio de Barrancabermeja, Santander, Colombia. La granja tiene un área de 324 has, situada a 7° 3' 48" latitud norte, 73° 5' 50" longitud oeste, altura de 75 msnm, con una precipitación anual de 2.960 mm, temperatura media de 28°C y humedad relativa del 84%.

Los suelos predominantes están en los órdenes Entisoles e Inceptisoles, con régimen de humedad údico y ácuico en algunos sectores y régimen de temperatura isohipertérmico. El suelo donde se realizó el ensayo según el IGAC (1980) corresponde a Typic Dystrudept.

#### **2.1.1 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 3, donde el primer factor correspondió a las dos cultivares de pastos estudiadas (*Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* cv. Mulato), el otro factor fue la fertilización (Con y sin fertilización) y el tercer factor correspondió al tiempo de corte del pasto (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia; Sala Camacho *et al.*, 2003). En total se tuvieron 12 tratamientos (Tabla 2-1) y 3 repeticiones, que da como resultado 36 unidades experimentales, cada una compuesta por una parcela de 5,0 m por 2,5 m para un área de 12,5 m<sup>2</sup>. Se trabajó en un área de 2380 m<sup>2</sup>, correspondientes a 68 metros de largo por 35 metros de ancho, dejando entre cada bloque un espacio de 5 m y 2 m entre cada unidad experimental.

### 2.1.2 Materiales

Se utilizaron semillas de dos gramíneas, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* cv. Mulato en cantidades de 1 kg de cada una. Para los tratamientos con fertilización las fuentes utilizadas fueron urea al 46% de N, superfosfato triple 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y cloruro de potasio al 60% de K<sub>2</sub>O; como enmienda se utilizó cal dolomítica (carbonato de calcio y magnesio) al 21,6% de Ca y 13,1% de Mg. Las cantidades de cada una utilizadas por parcela fueron de 271 g de urea, 137 g de SFT y 104 g de KCl, que equivalen a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O respectivamente. Se aplicaron 2,5 kg de cal dolomítica por unidad experimental, que corresponde a 2 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 2-1:** descripción de los tratamientos

Tratamientos	Cultivar	Fertilización	Semana de corte
1	Híbrido cv. mulato	Si	5
2	Híbrido cv. mulato	Si	10
3	Híbrido cv. mulato	Si	15
4	Híbrido cv. mulato	No	5
5	Híbrido cv. mulato	No	10
6	Híbrido cv. mulato	No	15
7	<i>B. decumbens</i>	Si	5
8	<i>B. decumbens</i>	Si	10
9	<i>B. decumbens</i>	Si	15
10	<i>B. decumbens</i>	No	5
11	<i>B. decumbens</i>	No	10
12	<i>B. decumbens</i>	No	15

### 2.1.3 Procedimiento

Las muestras de suelo se tomaron con barreno a 25 cm de profundidad. En cada bloque se tomaron 3 sub-muestras y de allí se sacó una muestra de 1 kg. Los elementos y demás parámetros fueron determinados con las metodologías presentadas en la tabla 2-2.

La reacción del suelo fue fuertemente ácida en el horizonte A y extremada en el resto del perfil, con alta saturación de aluminio, baja saturación de bases en todos los horizontes, el fósforo en todo el perfil es muy pobre. El suelo se caracterizó por ser de baja fertilidad,

con bajas concentraciones de Ca, Mg, K, P y CIC con valores entre 4,7 y 6,0 meq 100 g<sup>-1</sup> de suelo y pH entre 3,9-4,2 que lo califican como extremadamente ácido (Tabla 2-3), datos similares a los reportados por el IGAC (1980).

Para la siembra del pasto *Brachiaria decumbens*, se emplearon 5 surcos de 5 m distanciados a 50 cm, en cada surco se colocaron 20 plantas por metro lineal, 400 plantas por parcela. Para el *Brachiaria híbrido* cv. mulato se utilizaron las mismas distancias e igual número de surcos pero con 40 semillas por metro lineal, esto debido a que el porcentaje de germinación del híbrido fue del 40 % y el del *Brachiaria decumbens* del 80%. La cal dolomítica se aplicó incorporada seis semanas antes de la siembra. La fertilización se efectuó cinco días después de la emergencia de las plántulas. El nitrógeno se aplicó en banda 45 g/surco, el fósforo 23 g/surco, el potasio 17 g/surco, la cal dolomítica 200 g m<sup>-2</sup>, incorporada en los primeros 20 cm de suelo.

**Tabla 2-2:** Metodología utilizada para el análisis de suelos.

Parámetro	Método
pH	Con relación suelo agua (P/V) 1:1, valoración potenciométrica
Carbono orgánico CO	Por el método Walckley- Black, valoración volumétrica N estimado a partir del CO (Factor empleado 0.0862)
Ca, Mg, K, Na	Extracción con acetato de amonio 1N pH 7.0 valoración por absorción atómica
Al, H (Aluminio e hidrógeno de cambio)	Extracción con KCl 1M, valoración volumétrica
CIC (Capacidad de intercambio catiónico)	Desplazamiento del NH <sub>4</sub> intercambiado con NaCl 1M valoración volumétrica
P (Fósforo aprovechable)	Método de Bray II valoración colorimétrica.
Cu, Fe, Mn, Zn	Extracción con DTPA (ácido dietilentriamino-penta acético), valoración por absorción atómica
B	Extracción con fosfato monobásico (azometina-H), valoración colorimétrica
Arcilla (Ar), limo (L), arena (A)	Método de Bouyoucos, previa dispersión con hexametáfosfato de sodio
Clase textural	Triangulo de clasificación textural de USDA

Se realizaron tres análisis de suelo, uno por cada bloque y la fertilización se realizó a partir de los cinco días después de la emergencia. Después de la preparación del terreno, el control de malezas se efectuó con glifosato en una dosis de 100 cm<sup>3</sup> por bomba de 20 litros, el lote se encontraba invadido principalmente por vendeaguja (*Imperata cilíndrica*), además se encontraron cortadera (*Cyperus diffusus*), dormidera (*Mimosa púdica*), maciega (*Paspalum virgatum*) y baboso (*Peltaea speciosa*). Después de la emergencia del pasto, el control de maleza se hizo de forma manual. No fue necesario realizar ninguna labor de control de plagas y enfermedades, debido a que no se presentaron durante el desarrollo del experimento.

**Tabla 2-3:** Resultados del análisis de suelos por cada uno de los bloques

ELEMENTO	UNIDAD	bloque I (parte occidental)	bloque II (parte central)	bloque III (parte oriental)
pH		4,07	4,20	3,99
CO	%	1,39	1,14	1,05
N	%	0,12	0,10	0,09
Ca	meq 100 g <sup>-1</sup>	0,92	1,10	0,79
K	meq 100 g <sup>-1</sup>	0,04	0,03	0,03
Mg	meq 100 g <sup>-1</sup>	0,07	0,06	0,04
Na	meq 100 g <sup>-1</sup>	0,04	0,07	0,03
Al	meq 100 g <sup>-1</sup>	1,61	1,16	1,34
H	meq 100 g <sup>-1</sup>	0,02	0,08	0,12
CIC	meq 100 g <sup>-1</sup>	6,0	5,3	4,7
P	mg kg <sup>-1</sup>	2,9	4,0	2,5
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	0,14	0,20	0,20
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	426	350	412
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	0,78	0,82	1,16
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	0,64	0,84	0,78
B	mg kg <sup>-1</sup>	0,38	0,32	0,37
Ar	%	11,7	12,1	9,7
L	%	19,6	17,6	15,6
A	%	68,6	70,3	74,6
Textura		FA	FA	FA

### 2.1.4 Variables

Se seleccionaron 40 plantas por unidad experimental en cada corte, es decir, 1440 plantas durante todo el experimento, a las cuales se les determinó:

- Biomasa fresca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ): se realizó medición directa en balanza de precisión y luego se extrapoló a  $\text{kg ha}^{-1}$  teniendo en cuenta la densidad de siembra.
- Biomasa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ): las plantas se sometieron a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas en una mufla, luego fueron pesadas en balanza de precisión, el peso obtenido se extrapoló a  $\text{kg ha}^{-1}$  teniendo en cuenta la densidad de siembra.
- Análisis de tejido foliar (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn y B): Se determinaron en toda la planta siguiendo las metodologías presentadas en la tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Metodología utilizada para el análisis de tejido vegetal

Elementos	Método
N (Nitrógeno total)	Método micro-kjeldahl valoración volumétrica
P (Fósforo)	Calcinación de la muestra, valoración colorimétrica con vanadato y molibdato de amonio
Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn, Zn,	Calcinación de la muestra, valoración con espectrofotometría de absorción atómica
B (Boro)	Calcinación de la muestra, valoración colorimétrica con azometina-H

### 2.1.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza factorial para determinar la presencia de diferencias significativas. A las variables que presentaron diferencias significativas se les realizó una prueba de comparación de promedios de Tukey (5%). El software utilizado para el análisis de los datos fue SAS v. 8.1e (Cary, N.C).

## 2.2 Resultados y discusión

### 2.2.1 Biomasa fresca

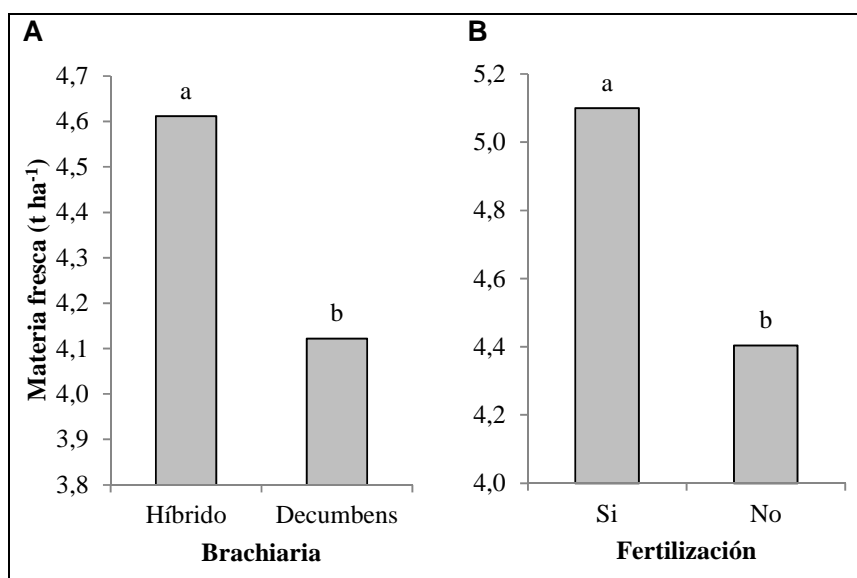
Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0,05$ ). Se obtuvo mayor producción de biomasa fresca en la semana 15 después de emergencia con *B. híbrido* cv. mulato y fertilizado ( $5,796 \text{ t ha}^{-1}$ ), por el contrario, al realizar el corte del pasto *B. decumbens* en la semana 5 y sin fertilizar generó la menor producción de materia fresca con  $2,124 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabla 2-5). El anava factorial indicó que entre cultivares se presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0,05$ ), siendo el *B. híbrido* cv. mulato el material con mayor producción de biomasa con  $4,612 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 2-1A). Respecto a la fertilización, la respuesta de este factor fue significativa ( $P \leq 0,05$ ) y mayor con la aplicación de fertilizante que alcanzó  $5,1 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 2-1B). Se observó una respuesta cuadrática y significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre las semanas de corte y la materia fresca, donde la mayor producción ( $8,176 \text{ t ha}^{-1}$ ) se obtuvo con el corte a la semana 15 después de emergencia (Figura 2-2). Las demás interacciones no presentaron diferencias estadísticas.

**Tabla 2-5:** Producción de biomasa fresca en pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* híbrido cv. mulato con y sin fertilización en tres cortes (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia). Promedios seguidos de letras distintas en cada corte presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Cultivares	Fertilización	Semana de corte	Biomasa fresca ( $\text{t ha}^{-1}$ )
Híbrido cv. mulato	Si	5	4,616 bc
		10	4,926 ab
		15	5,756 a
Híbrido cv. mulato	No	5	3,77 bc
		10	3,833 bc
		15	4,774 ab
<i>B. decumbens</i>	Si	5	4,154 bc
		10	4,132 bc
		15	4,924 ab
<i>B. decumbens</i>	No	5	3,558 c
		10	3,578 c
		15	4,386 bc

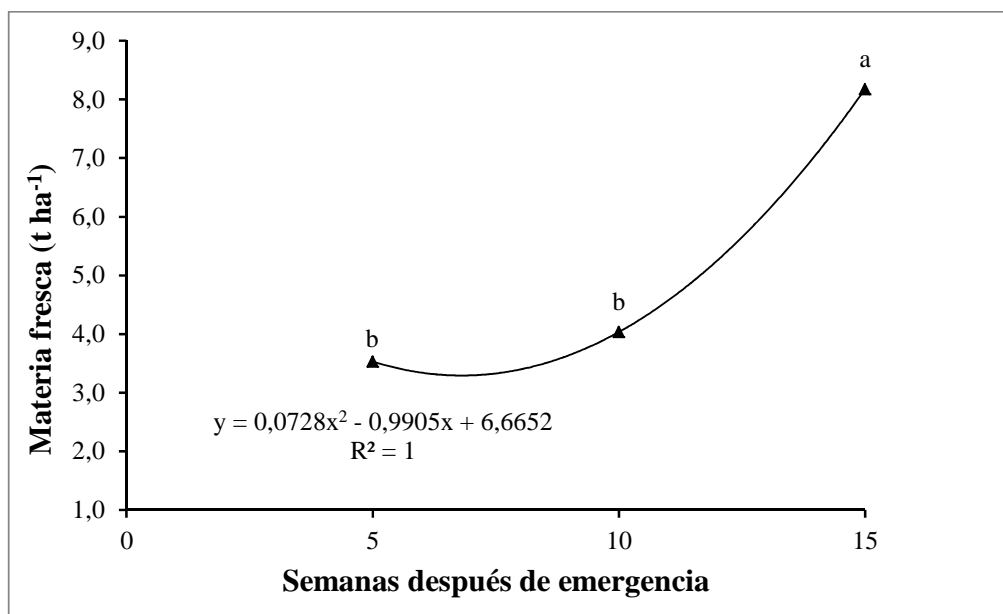


En concordancia con los resultados obtenidos en este estudio, Avellaneda *et al.* (2008), indicaron un mejor desempeño agronómico del pasto mulato que *B. decumbens* en evaluaciones a diferentes edades de cosecha. Sin embargo, Castiblanco (2005) encontró que la materia fresca producida por *B. decumbens* y *B. híbrido* cv. mulato fueron similares. A pesar de esto, Rao *et al.* (2006) hallaron que *B. decumbens* ocupaba una posición destacada entre las gramíneas de mejor rendimiento, por su abundante producción de hojas y la potencialidad productiva manifestada en diferentes ambientes. Esta respuesta también está asociada a su capacidad de producir estolones, que le permiten formar un césped denso.



**Figura 2-1:** Producción de biomasa fresca en pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* híbrido cv. mulato (A) con y sin fertilización (B). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Los resultados obtenidos confirman lo reportado por Fagundes *et al.* (2005), quienes mencionan que la aplicación de nutrientes en cantidades y proporciones adecuadas, es una práctica fundamental cuando se pretende aumentar la producción de forraje.



**Figura 2-2:** Efecto del tiempo de corte sobre la producción de biomasa fresca en pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

De acuerdo con Chacón (2005), la edad de corte es uno de los factores que más afecta el rendimiento del pastizal. Al respecto, Sotomayor *et al.* (1981) trabajando con diez especies de *Brachiaria*, reportaron que con intervalos de corte de 30, 45, 60 días *B. humidicola* fue la mayor productora de forraje. Sin embargo, son tiempos cortos si se comparan con las 15 semanas, que en *B. decumbens* y *B. híbrido* cv. mulato generaron la mayor producción de biomasa, sin embargo, a mediano y largo plazo, este tiempo de corte podría tener un efecto contrario en la producción, debido al menor número de cortes en el tiempo que se pueden realizar en comparación con tiempos de corte inferiores. Similar a lo encontrado en esta investigación, Pérez *et al.* (2004) determinaron que para el *B. híbrido*, la máxima biomasa foliar se alcanza poco antes de la semana 15.

### 2.2.2 Biomasa seca

Hubo diferencias significativas a nivel de tratamientos ( $P \leq 0,01$ ), cultivar de *Brachiaria* ( $P \leq 0,01$ ), fertilización ( $P \leq 0,01$ ), cultivar x fertilización ( $P \leq 0,05$ ), tiempo de corte ( $P \leq 0,05$ ), y tiempo de corte x cultivar ( $P \leq 0,05$ ). El tratamiento que generó mayor materia seca fue el *Brachiaria* híbrido cv. mulato con fertilización y cortado a las 15 semanas después de emergencia (Tabla 2-6). El cultivar con mayor respuesta fue el híbrido cv. mulato que

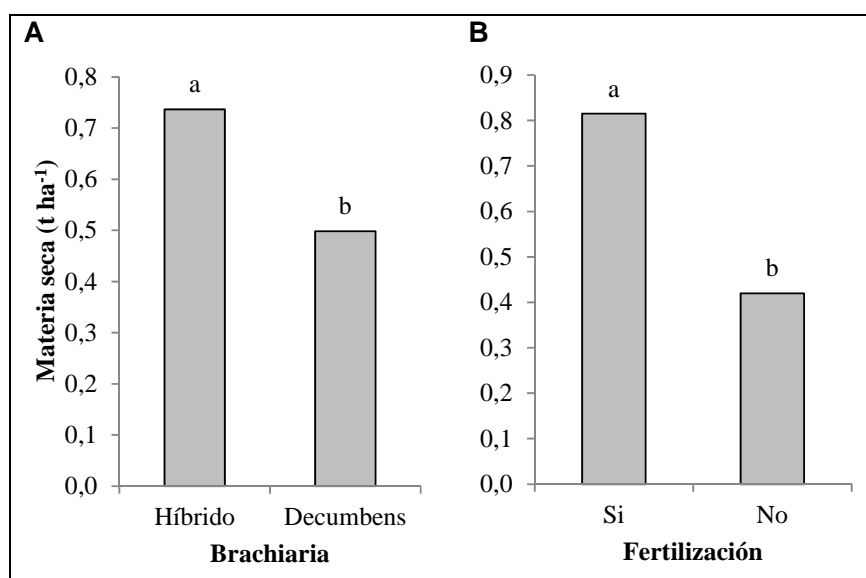
alcanzó 0,74 t ha<sup>-1</sup> (Figura 2-3A). Mientras que con el hecho de fertilizar se produjo la mayor masa seca con 0,82 t ha<sup>-1</sup> (Figura 2-3B). También se obtuvo mayor biomasa seca con la interacción del híbrido cv. mulato y la fertilización, la cual alcanzó un valor de 1,01 t ha<sup>-1</sup> (Figura 2-4). El comportamiento de la masa seca en función de las semanas de corte se ajustó a un polinomio de segundo grado, siendo la semana 15 la de mayor producción de biomasa con 1,02 t ha<sup>-1</sup> (Figura 2-5), Campos *et al.* (2010) también encontraron que la acumulación de carbohidratos se ajustó a un modelo cuadrático respecto al tiempo de corte en pasto *Setaria*. Respecto a la interacción cultivar x tiempo de corte, se observó que con el híbrido cv. mulato y realizando el corte en la semana 15 después de emergencia se obtuvo la mayor cantidad de materia seca, por el contrario, realizando el corte del pasto *B. decumbens* en la semana 5 se generó la menor producción de materia seca (Figura 2-6).

**Tabla 2-6:** Producción de biomasa seca en pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* híbrido cv. mulato con y sin fertilización en tres cortes (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia). Promedios seguidos de letras distintas en cada corte presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Cultivares	Fertilización	Semana de corte	Biomasa seca (t ha <sup>-1</sup> )
Híbrido cv. mulato	Si	5	0,54 bc
		10	0,81 b
		15	1,71 a
Híbrido cv. mulato	No	5	0,27 c
		10	0,32 c
		15	0,78 b
<i>B. decumbens</i>	Si	5	0,43 bc
		10	0,48 bc
		15	0,93 bc
<i>B. decumbens</i>	No	5	0,25 c
		10	0,27 c
		15	0,63 bc

La producción de materia seca fue más alta en el híbrido cv. mulato que refleja la importancia del mejoramiento genético de las especies y variedades existentes, en este caso del cruce entre *Brachiaria ruziziensis* y *B. brizantha* (CIAT, 2001). El mayor rendimiento biológico del híbrido durante las primeras 15 semanas confirma lo reportado

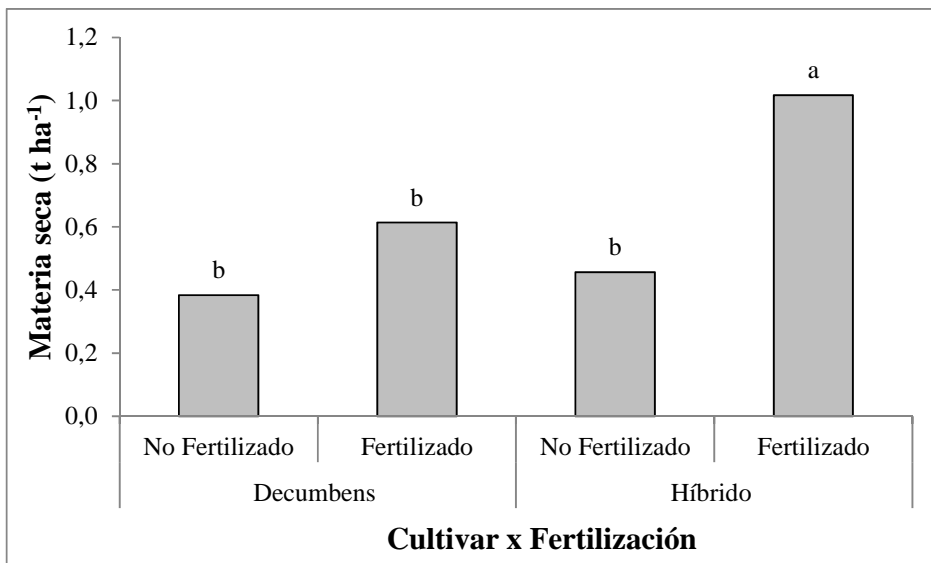
por Argel *et al.* (2007) que 'Mulato' tiene una excelente capacidad de establecimiento, superando la especie tradicional, *B. decumbens*, especialmente en la parcela que recibió la fertilización adicional. Rojas-Hernández *et al.* (2011) y Castiblanco (2005) también encontraron que *B. híbrido* cv. mulato produjo mayor cantidad de materia seca que *B. decumbens*.



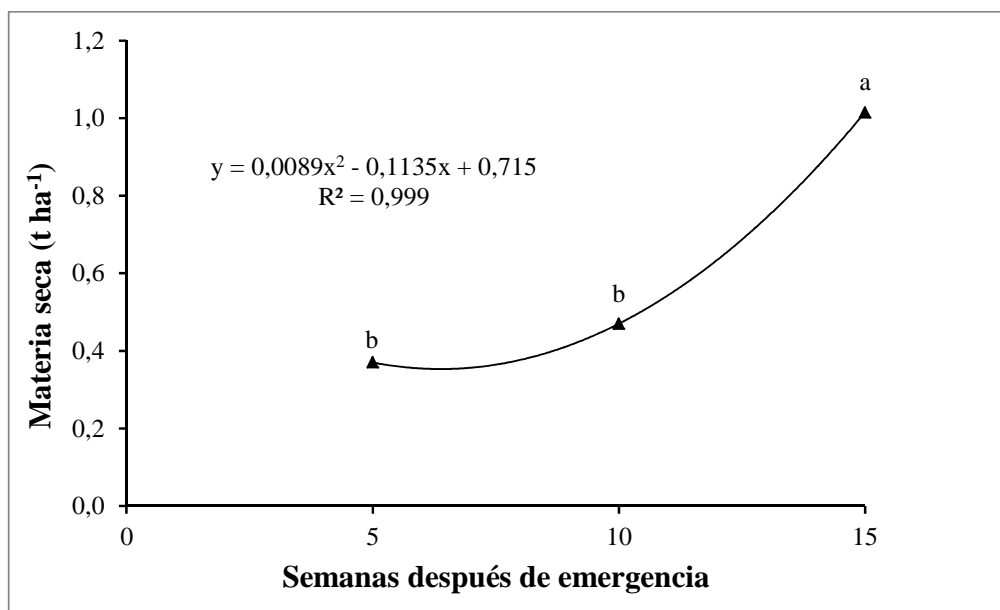
**Figura 2-3:** Producción de biomasa seca en pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* cv. mulato (A) con y sin fertilización (B). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Parte del efecto favorable de la fertilización se debe al suministro de nitrógeno, al respecto, Paciullo *et al.* (2011) mencionan que el incremento en la producción de materia seca observado como consecuencia de la adición de N, puede explicarse debido al efecto del N sobre el desarrollo de hojas, tallos y estructuras de la planta relacionadas con la producción de materia seca. Arrija (1992), reporta que el N es parte integral de las proteínas vegetales, influye sobre el crecimiento de los pastos controlando la promoción y desarrollo de nuevos brotes, aumenta el número de hojas por planta y con ello el área foliar. Resultados similares a los obtenidos en este trabajo son reportados por diferentes autores que evaluaron el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de materia seca del pasto *B. brizantha* (Alvim *et al.*, 1990).

Siendo el ajuste del pH de los suelos ácidos a un valor adecuado para la siguiente producción de cosechas uno de los primeros pasos en el manejo del suelo, el encalamiento con cal dolomítica, aumentando el pH por la disminución de la concentración de los iones  $H^+$  (Mengel *et al.*, 2001), favoreció el crecimiento de las plantas debido a un mejor funcionamiento radical (Wild, 1992), basado, también, en mejorar la respuesta del cultivo a los fertilizantes aplicados por una mejor captación de los nutrientes (Figura 2-3B) (Plaster, 2000).



**Figura 2-4:** Producción de biomasa seca en pasto *Brachiaria*. Efecto de la interacción cultivar x Fertilización. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



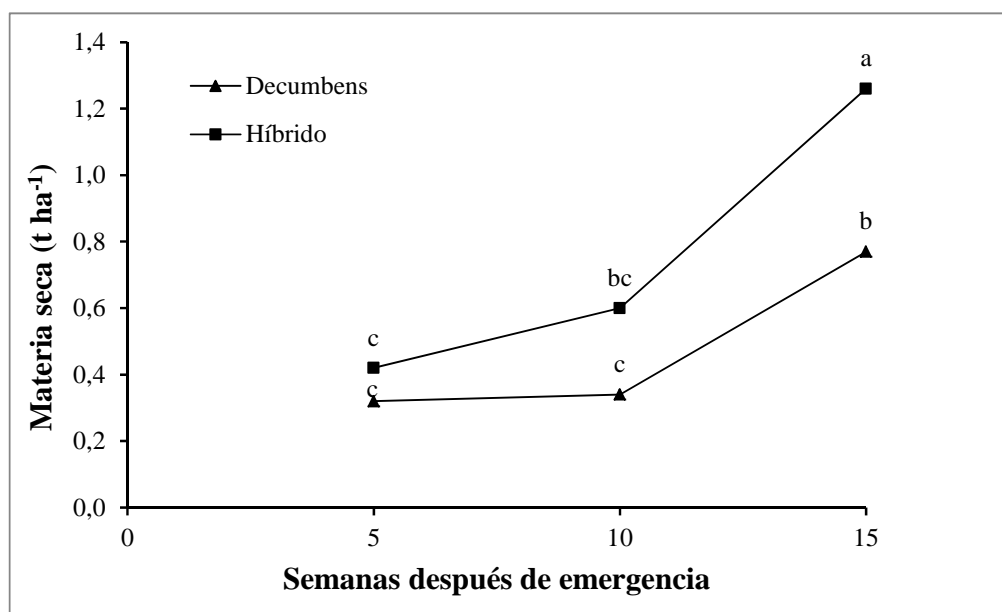
**Figura 2-5:** Efecto del tiempo de corte sobre la producción de biomasa fresca en pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

La materia seca de las plantas está constituida por más del 90% en compuestos orgánicos como la celulosa, almidón, lípidos y proteínas (Marschner, 2002), además en la composición mineral (Epstein y Bloom, 2005). Debido a esto, la producción de la materia seca total, el rendimiento biológico, es directamente relacionada con la fotosíntesis (Marschner, 2002) que depende, entre otros, de la presencia de hojas verdes (Wild, 1992). En concordancia, se obtuvo mayor materia seca con un mayor tiempo de corte, debido principalmente a que las plantas tuvieron más tiempo para su crecimiento y desarrollo, en el que acumularon mayor cantidad de compuestos orgánicos. No obstante, la producción de materia seca en general fue baja si se compara con los resultados encontrados por Rincón y Ligarreto (2008) que están sobre las 4 t ha<sup>-1</sup>. Por su parte, Fagundes *et al.* (2005) reportan cifras cercanas a las 10 t ha<sup>-1</sup>.

Contrario a lo que se observó en este estudio, Pietrosevoli *et al.* (1995) encontraron que el rendimiento de materia seca en *Brachiaria brizantha* fue disminuyendo a medida que se incrementó el número de cortes que se le realizaron al pastizal. De otra parte, Pérez *et al.* (2004), reportaron que la producción de follaje en el pasto mulato tuvo una curva sigmoideal hasta alcanzar su índice de área foliar óptimo a las 14 semanas, momento en el cual también comienza la acumulación significativa de material senescente,

proveniente de hojas del estrato bajo, por pérdida de su actividad fotosintética. Pinzón y Santamaría (2005), reportaron que el pasto mulato tiene buena capacidad de macollamiento, característica sobresaliente para la producción de biomasa foliar, lo que se relaciona con una mayor producción de materia seca, tal como ocurrió en la presente investigación. Este resultado puede atribuirse posiblemente a que el pasto mulato es un híbrido, por lo que la expresión cuantitativa de estas variables se debe a la capacidad genética del cultivar y no a factores de manejo (Rojas-Hernández *et al.*, 2011; Conchila *et al.*, 2008).

Las dos especies mostraron la misma tendencia del aumento de la materia seca entre las diferentes semanas de corte, sin embargo el híbrido mostró incrementos mucho mayores que *B. decumbens* (Figura 2-6). También se observó que el aumento de la materia seca entre las semanas 10 y 15 fue aproximadamente el doble, situación que no se presentó entre las semanas 5 y 10.



**Figura 2-6:** Producción de materia seca en pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* híbrido mulato en tres cortes (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia). Promedios seguidos de letras distintas en cada corte presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Además, el *B. híbrido* cv. mulato es una especie que se adapta muy a suelos de mediana fertilidad se adapta desde suelos ácidos hasta alcalinos (pH de 4,2 - 8), y produce más de 70 Kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de materia seca (Pasturas de América, 1999).

### 2.2.3 Nitrógeno

Los tratamientos ejercieron una respuesta estadísticamente diferente en la concentración foliar de nitrógeno ( $P \leq 0,05$ ). La mayor concentración de N foliar se encontró en el híbrido cv. mulato fertilizado y cortado a las 5 semanas después de emergencia, mientras que la menor concentración se observó en *B. decumbens* sin fertilización y cortado a las 15 semanas después de la emergencia (Tabla 2-7). Se encontró una relación línea e inversa entre el tiempo de corte y la concentración foliar de N, de tal manera, que en la semana 15 la concentración de N fue menor con 1,25% (Figura 2-7). Los demás factores e interacciones no presentaron diferencias estadísticas. Las concentraciones de N encontradas en este estudio están acordes con las reportadas por Costa *et al.* (2009) para *Brachiaria brizantha*. Marschner (2002) menciona que la concentración de N en plantas debe estar entre el 2 y el 5%. Al respecto, se evidencia que en los tratamientos sin fertilización y con un mayor tiempo de corte el N se encuentra en concentraciones inferiores a 2%, indicando posiblemente que hay deficiencia de este nutriente.

**Tabla 2-7:** Concentración de nitrógeno en el tejido foliar de pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* cv. híbrido mulato con y sin fertilización en tres cortes (5, 10 y 15 semanas después de la emergencia). Promedios seguidos de letras distintas en cada corte presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Cultivares	Fertilización	Semana de	Nitrógeno foliar (%)
Híbrido cv. mulato	Si	5	2,72 a
		10	2,47 a
		15	1,43 c
Híbrido cv. mulato	No	5	1,67 c
		10	1,36 c
		15	1,25 c
<i>B. decumbens</i>	Si	5	2,2 ab
		10	2,51 a
		15	1,49 c
<i>B. decumbens</i>	No	5	1,83 b
		10	1,24 c
		15	1,13 c

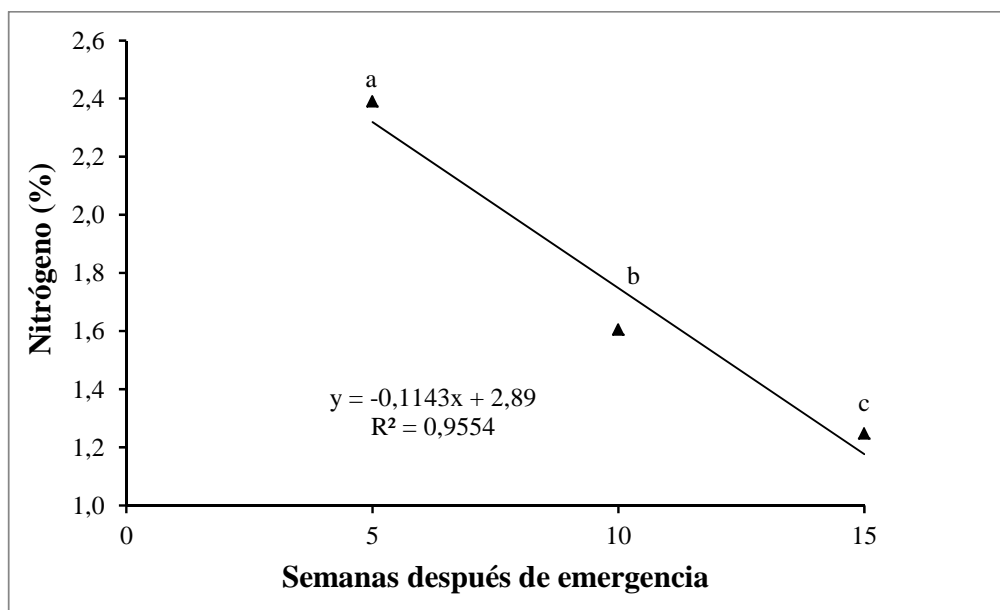
El nitrógeno es el nutriente generalmente más extraído por las plantas y se confirma con lo encontrado en *B. decumbens* y *B. híbrido* cv. mulato, y que influye en el número de



macollos y hojas, y el área foliar. También es el nutriente que más influye en la longitud, superficie y masa seca de las raíces, por lo tanto ser un factor importante en la producción de materia seca (Megda y Monteiro, 2010). El nitrógeno forma parte de un gran número de sustancias como las proteínas, la clorofila, las enzimas, las hormonas y las vitaminas, una adecuada disponibilidad a nivel del suelo asegurará que los contenidos de este elemento en los tejidos vegetales no sean deficitarios (Pietrosemoli *et al.*, 1995).

Resultados positivos con fertilización nitrogenada en especies del género *Brachiaria* fueron obtenidos del mismo modo por Costa *et al.* (2009) y Bennett *et al.* (2008). Costa *et al.* (2009) mencionan que además de aumentar la productividad de los pastos, el nitrógeno contribuye a mejorar la calidad del forraje. El suministro de N a través de la fertilización tiene un efecto directo sobre la concentración de nutrientes en la planta. El valor nutritivo de los pastos está determinada por las diferencias entre la edad de las especies de plantas y la fertilización, especialmente el nitrógeno. El N aplicado en condiciones favorables para el crecimiento vegetal, proporciona una mayor producción de materia seca y la producción de proteínas a partir de carbohidratos (Havlin *et al.*, 2005).

Argel *et al.* (2007) afirman que el *B. híbrido* cv. mulato tiene alta capacidad de establecimiento, lo cual posiblemente también le permite ser más eficiente en la toma de nutrientes, en este caso de N, en relación a *B. decumbens*, por esta razón, junto con la adición de fertilización se garantizó un mayor contenido de N en el tejido foliar. En concordancia, Costa *et al.* (2009) también encontraron mayor contenido de N en hojas con aplicación de este elemento en la fertilización.



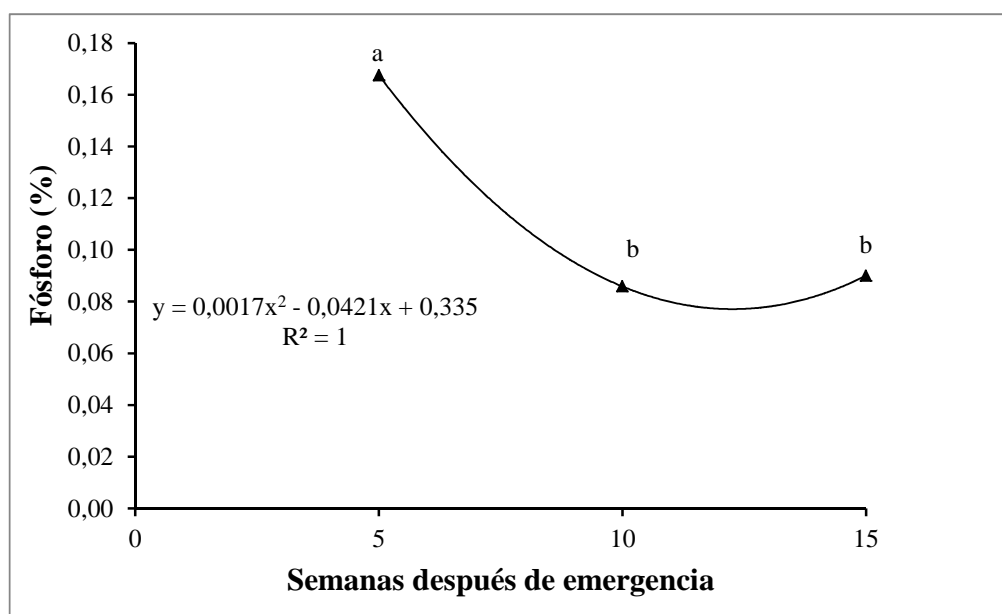
**Figura 2-7:** Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de nitrógeno en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Pérez *et al.* (2004) determinaron el comportamiento semanal del contenido de N foliar en el mismo híbrido *Brachiaria* y también encontraron disminución de este elemento durante el crecimiento, pero a diferencia del presente estudio, en la semana 5 el contenido fue superior, en las semanas 10 y 15 los valores fueron muy similares. Molina *et al.* (1993) también reporta disminución de N en la semana 26 y 30 después de la siembra para plantas de fresa y en melón la disminución se observó después de los 50 días después de la siembra. La disminución del %N se debe posiblemente al continuo aumento del contenido de materia seca (Figura 2-5) que hace que la concentración de este elemento se vea disminuida.

Las publicaciones de Vasquez y Torres (2006) notifican que el N y P disminuyen con la edad de la planta, dado principalmente porque estos abundan más en las partes jóvenes y en crecimiento, especialmente en los brotes y hojas jóvenes. Esta variación mostrada en los minerales cuando se incrementa la edad está relacionada al efecto de la dilución producido por el desarrollo vegetativo (Fleming, 1973) y (Gonzalez *et al.* 1982). Por su parte Tergas y Blue (1971) notifican que la reducción en la proporción hoja-tallo con el incremento de la edad, influye en la disminución del contenido mineral (N, P, K).

### 2.2.4 Fósforo

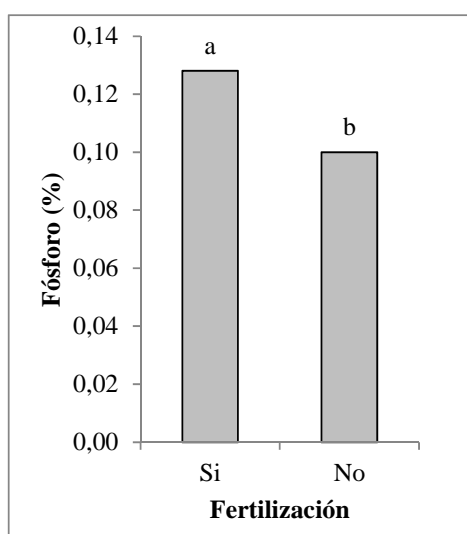
Solo hubo diferencias estadísticas en los tiempos de corte y en la fertilización ( $P \leq 0,05$ ). En el primer caso, se observó mayor concentración de P foliar con el corte en la semana 5 después de emergencia (0,168%), pero la concentración disminuyó de forma cuadrática al avanzar el tiempo de corte (Figura 2-8), en fresa (*Fragaria* sp) también se observó disminución de la absorción de P a los 18, 26 y 30 semanas después de la siembra y en los demás momentos el consumo si aumentó (Molina *et al.*, 1993). Por el contrario, en papa (*Solanum tuberosum* L.), la absorción de P incrementó continuamente durante el desarrollo (Soto, 2002). Respecto al factor fertilización, la aplicación de fertilizante favoreció la acumulación de fosforo en el tejido foliar con 0,128% (Figura 2-9).



**Figura 2-8:** Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Sin embargo, las concentraciones encontradas de P son un tanto bajas si se comparan con las reportadas para *Brachiaria brizantha*, las cuales están por encima del 0,22%, incluso sin aplicación de fertilización fosfórica (Foloni *et al.*, 2008), mientras que Marschner (2002) reporta que el requerimiento de P para un óptimo crecimiento está en el rango de 0,3 a 0,5% para las plantas en general. La baja concentración de P se puede deber al bajo contenido de P del suelo utilizado para este estudio. De otra parte, la

diferencia en la concentración foliar de P entre la aplicación o no de fertilizante en los dos cultivares no es tan alta, esto podría indicar que las dos especies presentan alto desempeño para absorber P, tal como lo reporta (Foloni *et al.*, 2008) para *Brachiaria brizantha*. En concordancia, Sousa *et al.* (2002) menciona que las especies del genero *Brachiaria* presentan índices de aprovechamiento de P relativamente elevados.



**Figura 2-9:** Efecto de la fertilización sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

De acuerdo con la tabla 2-3, el P del suelo se encuentra en muy bajas concentraciones (2,5 a 4 mg kg<sup>-1</sup> de suelo), debido posiblemente a los bajos contenidos naturales, a la alta capacidad de adsorción como consecuencia de los altos niveles de acidez y los óxidos de hierro y aluminio (Macedo, 2004), razón por la cual, el suministro de P mediante el tratamiento de fertilización permitió que las plantas de *Brachiaria* tuvieran disponibilidad de este elemento y pudieran aumentar sus niveles foliares respecto a las plantas sin fertilización. Además, el súper fosfato triple utilizado es una fuente de P muy eficiente para suministrar este elemento, debido a su alta solubilidad en agua proporcionando mayores cantidades de P a la planta en los primeros días (leiri *et al.*, 2010). Resultados favorables a nivel de P con la aplicación de fertilizante también fueron encontrados por (Noronha *et al.*, 2010) en *B. brizantha* y por leiri *et al.* (2010) en *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Las bajas concentraciones de P en el suelo también pueden ser la posible

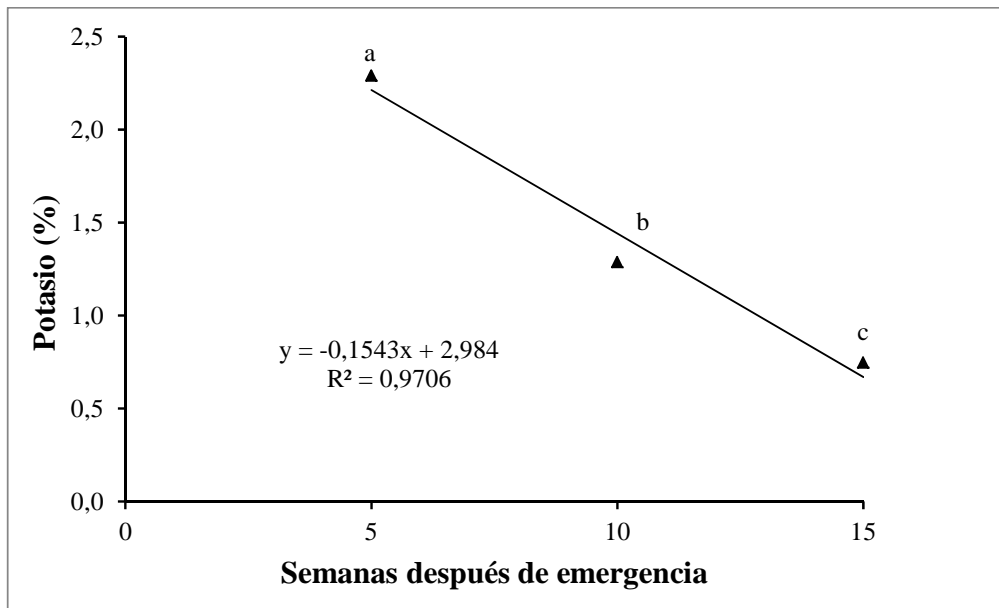
explicación de por qué no hubo diferencias en la concentración foliar en los dos materiales.

Una deficiencia en cualquiera de los nutrientes esenciales para los rumiantes (proteína, energía, minerales y vitaminas) usualmente tiene un efecto depresivo sobre el consumo de materia seca, debido a la reducción en la actividad de los microorganismos del rumen y de la digestibilidad de la celulosa (Owen 1983). Por tanto, los tratamientos de fertilización posiblemente tengan un efecto favorable sobre el consumo del pasto. Fagundes *et al.* (2006) reportan que la baja disponibilidad de nutrientes es sin duda uno de los factores más importantes que interfieren con la productividad y calidad del forraje.

El fosfato se redistribuye fácilmente en la mayor parte de la planta, pasando de un órgano a otro, mientras se pierde en las hojas antiguas, acumulándose en las hojas jóvenes y en las flores y las semillas que se encuentran en desarrollo ( Olsen y Khasawneh, 1980).

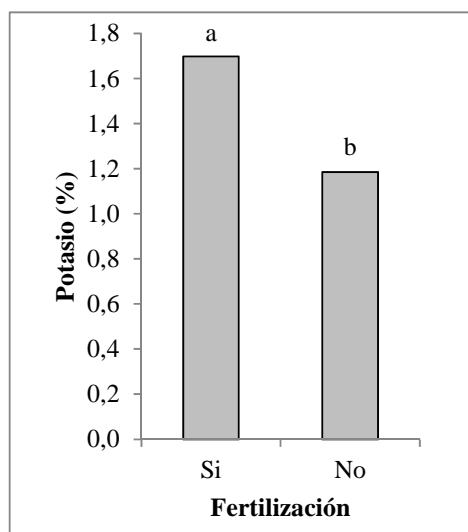
### **2.2.5 Potasio**

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0,05$ ) únicamente en el tiempo de corte y en la fertilización. Se observó una disminución lineal de la concentración de potasio foliar en función de la semana de corte, en la semana 5 después de emergencia la concentración fue de 2,29% y en la semana 15 de 0,75% (Figura 2-10). La fertilización generó mayor respuesta en la concentración de K con 1,7% (Figura 2-11).



**Figura 2-10:** Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Para un normal crecimiento de las plantas, se debe garantizar una concentración foliar de K entre 2 y 5% (Marschner, 2002), esto podría indicar que el K presente en las plantas de *Brachiaria* puede ser bajo, aun con aplicación de fertilización, situación que se explica por el bajo contenido de K en el suelo. El K es uno de los elementos que más extraen los pastos (Rincón y Ligarreto, 2008). Megda y Monteiro (2010) mencionan que el potasio es el segundo nutriente más extraído por las plantas después del nitrógeno, y se relaciona con los procesos fisiológicos y bioquímicos, además muestra un efecto sinérgico positivo sobre la nutrición nitrogenada de las plantas, es por esto, que el tratamiento de fertilización fue mucho más eficiente en los dos cultivares, y más aún porque la concentración de K en el suelo en cuestión es muy baja, por lo que las plantas fertilizadas tiene una alta respuesta y acumulan altas cantidades K foliar, mientras que las no fertilizadas no cuentan con la suficiente cantidad de este elemento para sus funciones fisiológicas y bioquímicas. No obstante, la respuesta a la fertilización pudo ser mayor, pero el bajo contenido de arcillas y alto de arenas pudo facilitar las pérdidas de nutrientes por lixiviación.



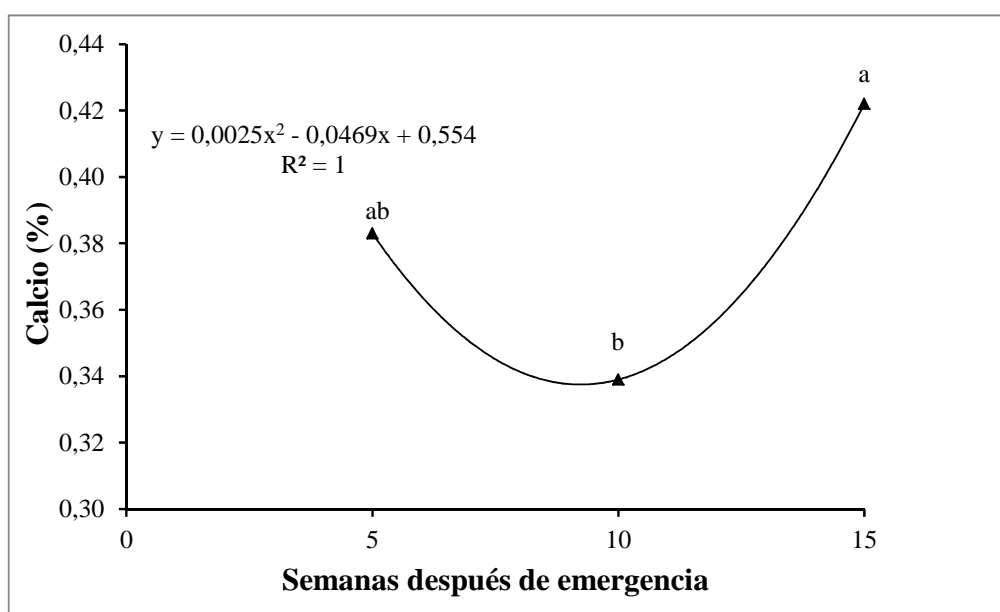
**Figura 2-11:** Efecto la fertilización sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Salamanca *et al.* (1999) no encontraron respuesta a la aplicación de K en el cultivo de soya, a pesar de su bajo contenido en el suelo (0,10 meq), pues la producción de grano de soya no se incrementó, sin embargo, el contenido de este elemento en el grano si aumentó entre 1,9% y 3,4% con la aplicación de 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En algunos casos, la falta de respuesta a la aplicación de K en suelos deficientes en este elemento se pueden deber a la capacidad de restitución de K por estos suelos (Rincón y Ligarreto, 2008; Salamanca *et al.*, 1999). Por su parte, Grewal y Singh (1980) reportan que en plantas de papa la adición de K incrementó los niveles de este elemento a nivel foliar.

### 2.2.6 Calcio

No existió diferencia significativa en ninguna de las interacciones, solamente hubo diferencias significativas entre los tiempos de corte, los materiales y la fertilización ( $P \leq 0,05$ ). El comportamiento de la concentración foliar de Ca en función del tiempo de corte se ajustó a un polinomio de segundo grado, la menor respuesta se obtuvo a las 10 semanas y la mayor a las 15 semanas después de emergencia con un valor de 0,42% (Figura 2-12). El híbrido cv. mulato fue el material con mayor acumulación de Ca alcanzando 0,417% (Figura 2-13A). También hubo mayor concentración de Ca con la

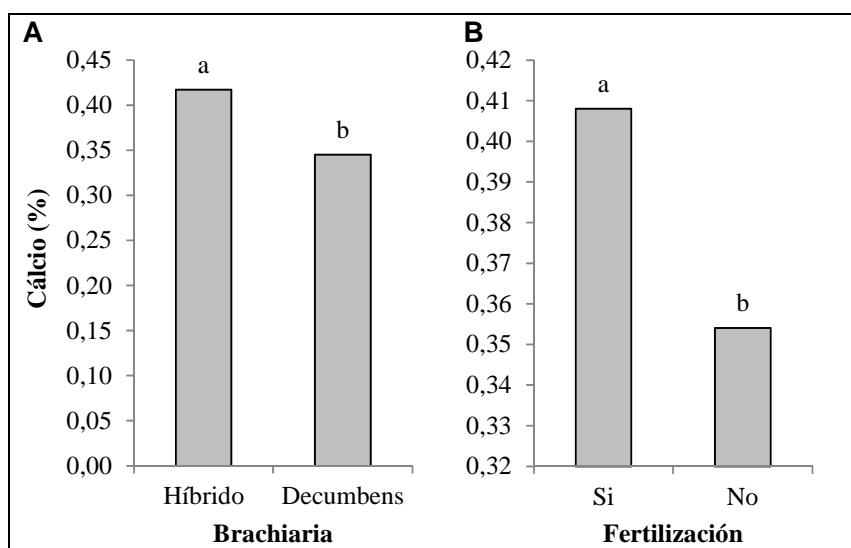
aplicación de fertilizante, lo cual, generó una concentración de 0,41% de Ca (Figura 2-13B). Concentraciones superiores a las encontradas en pasto raigrás que están alrededor de 0,1% (Marschner, 2002). Las concentraciones de Ca encontradas posiblemente garantizan que funciones como la estabilización y rigidez de membranas y paredes celulares, activación de enzimas e interacción con hormonas se estén llevando a cabo correctamente, pues son estas unas de las principales funciones que cumple el calcio en las plantas (Marschner, 2002; Barker y Pilbeam, 2007).



**Figura 2-12:** Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

La disminución del Ca en la semana 10 pudo deberse a al empobrecimiento de este elemento en el suelo por la continua extracción por parte del cultivo. De otra parte, el aumento del calcio foliar en los cultivares de *Brachiaria* en la semana 15 puede tener varias explicaciones; la primera puede estar relacionada con la liberación de calcio a partir de la dolomita aplicada previo a la siembra, y la segunda tiene que ver con el aumento continuo del sistema radicular de las plantas, que permite una mayor exploración del suelo y probablemente una mayor captación de Ca. Este aumento del sistema radicular muy posiblemente fue superior en el tratamiento con fertilización y podría explicar la mayor concentración de Ca foliar en las plantas de *Brachiaria* bajo fertilización respecto a la ausencia de esta.





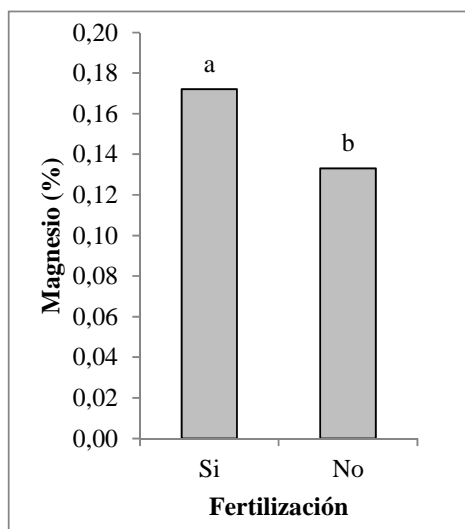
**Figura 2-13:** Concentración de calcio en el tejido foliar de pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* híbrido cv. mulato (A) con y sin fertilización (B). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Los resultados encontrados ponen de manifiesto que los pastos mejorados absorben y utilizan el fertilizante más efectivamente que un pasto natural (Nobui, 2004). Además, los valores de Ca encontrados en el tejido foliar son superiores a los reportados para *B. brizantha* y *B. humidicola* (Oliveira *et al.*, 2009) y se encuentran en niveles adecuados, ya que según Malavolta (1992), los niveles de Ca adecuado para las plantas forrajeras debe estar entre 1,5 y 6 g kg<sup>-1</sup>. De acuerdo con Rincón y Ligarreto (2008), el *B. híbrido* cv. Mulato extrajo 50% de Ca y 40% más de Mg con relación a lo extraído por el *B. decumbens*. Estos mismos autores mencionan que *B. decumbens* se adapta bien a los suelos ácidos y se caracteriza por una menor extracción de nutrientes en relación a otros cultivares de *Brachiaria*.

### 2.2.7 Magnesio

Únicamente se presentaron diferencias estadísticas en la fertilización ( $P \leq 0,05$ ), la mayor concentración de Mg foliar (0,17%) se obtuvo con la aplicación de fertilizante (Figura 2-14) y es una concentración que está dentro del rango adecuado, que de acuerdo con Marschner (2002) debe estar entre 0,15 y 0,3%, mientras que sin aplicación de fertilizante, la concentración encontrada está por debajo del límite, indicando que

posiblemente se haya presentado una deficiencia de Mg en los cultivares de *Brachiaria*, debido posiblemente al bajo contenido de este elemento en el suelo.



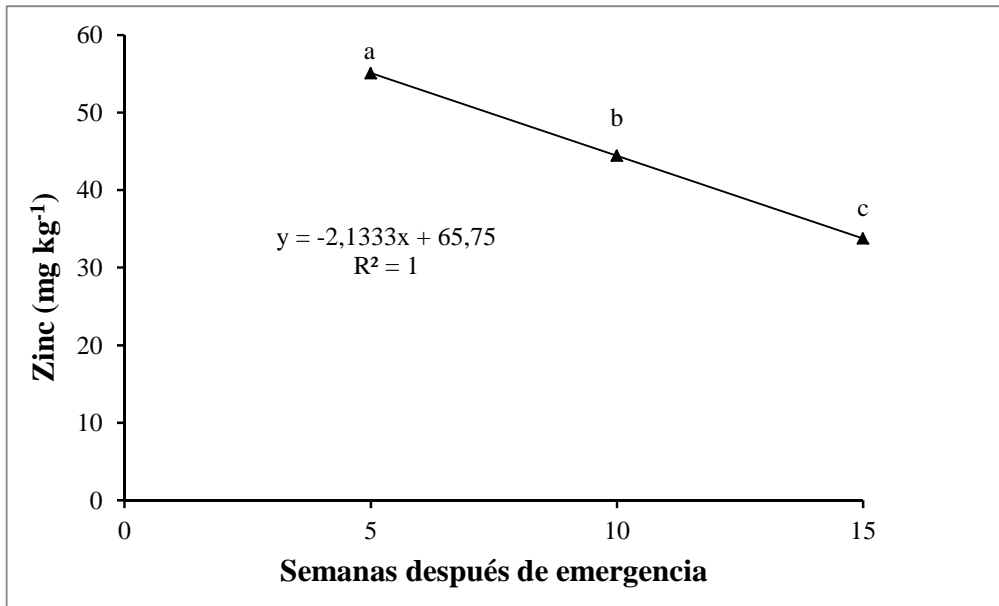
**Figura 2-14:** Efecto la fertilización sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

De otra parte, la fertilización aplicada pudo generar un aumento en el sistema radicular de las plantas de *Brachiaria*, y este a su vez, facilitó la captación de nutrientes, lo cual, sería la posible explicación de la mayor concentración foliar de Mg en los tratamientos con fertilización. Ricaurte *et al.* (2007) encontraron que la aplicación de fertilizante incrementó la biomasa del sistema radicular de varios genotipos de *Brachiaria*. Aumentar la oferta de magnesio por encima de los niveles que limitan el crecimiento, resulta en Mg adicional que se almacena principalmente en las vacuolas, el cual actúa como amortiguador para la homeostasis del magnesio en el "pool metabólico" y actúa como un criterio para la compensación de carga y para la osmorregulación en la vacuola (Marschner, 2002).

### 2.2.8 Zinc

Se observó una disminución significativa ( $P \leq 0,05$ ) y lineal de la concentración de Zn foliar a medida que aumentó el tiempo de corte, por tanto, la mayor concentración de Zn se encontró en la semana 5 después de emergencia con  $55,08 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 2-15). Con diferencias estadísticas ( $P \leq 0,05$ ), el pasto *B. decumbens* presentó la mayor

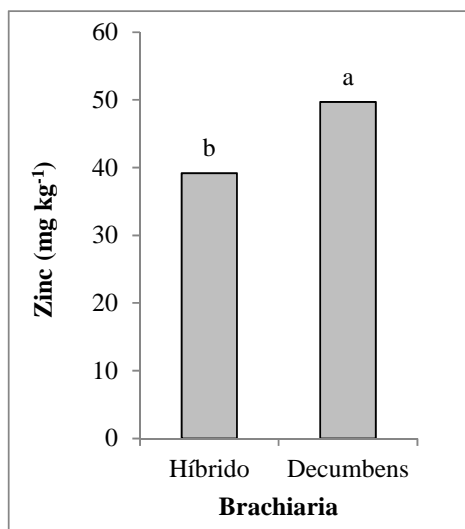
concentración de Zn ( $49,67 \text{ mg kg}^{-1}$ ; Figura 2-16). Los demás factores e interacciones no presentaron respuesta significativa.



**Figura 2-15:** Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de zinc en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

La disminución del Zn en los tejidos puede deberse entre otros factores a un mayor contenido de P en el suelo que se fue liberando por aumento del pH tras el encalamiento, ya que según Marschner y Schropp (1977) y Loneragan *et al.* (1979), el P puede causar disminución de la solubilidad del Zn en los suelos, lo cual disminuiría la cantidad de Zn disponible para las plantas. Por otro lado, el contenido de Zn según el análisis de suelos es muy bajo, por tanto, una mayor disminución a través del tiempo es muy evidente y puede convertirse en otra de las causas de la disminución lineal del Zn foliar en los dos cultivares de *Brachiaria*. En este orden de ideas, también es posible pensar que bajo condiciones limitantes de Zn, *B. decumbens* tenga mayor habilidad de extraer este elemento del suelo, y de esta manera se dilucidaría parte del resultado relacionado con la mayor concentración de Zn en esta especie. También es probable que *B. decumbens* necesita mayor concentración de Zn foliar que *B. híbrido* para cumplir con las diferentes funciones fisiológicas, pues el Zn es un componente integral de la estructura de las

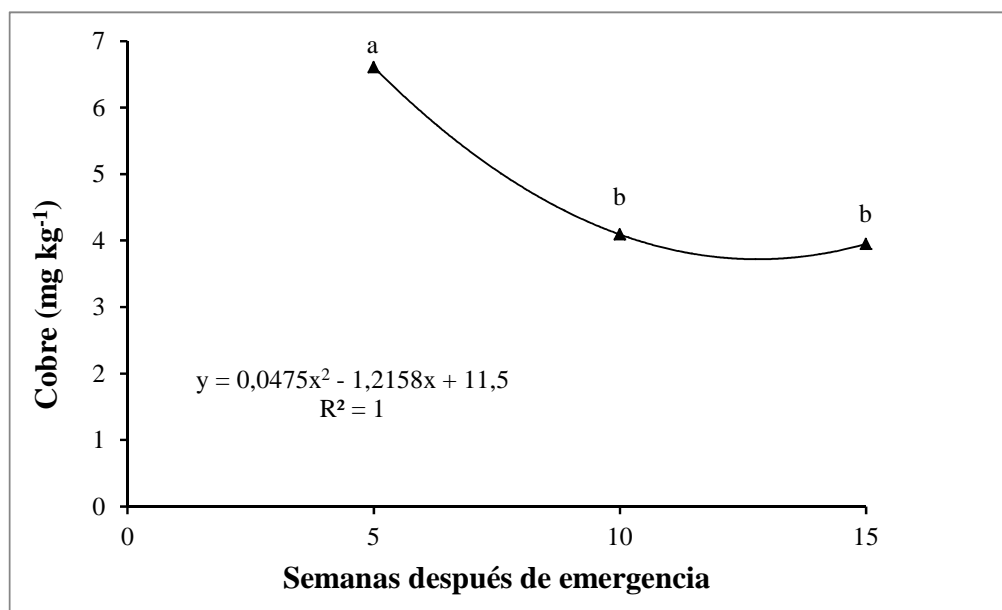
enzimas y tiene las siguientes tres funciones: catalítica, coactiva o estructural (Barker y Pilbeam, 2007).



**Figura 2-16:** Concentración de zinc en el tejido foliar de pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* híbrido mulato. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

### 2.2.9 Cobre

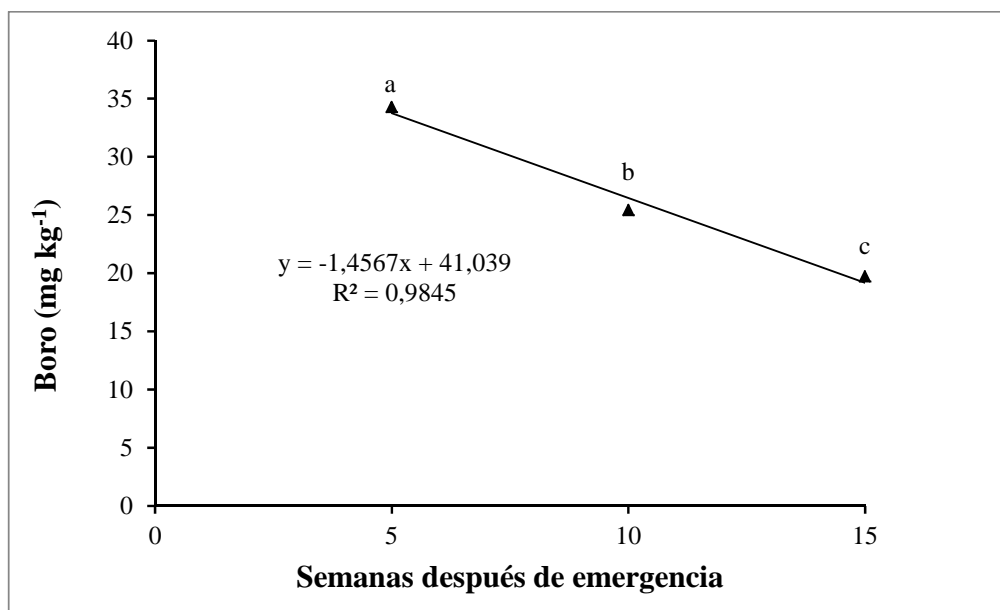
Solo hubo diferencias estadísticas con el tiempo de corte. Se observó una disminución cuadrática y significativa ( $P \leq 0,05$ ) de la concentración de Cu foliar en función de las semanas de corte, en la semana 5 se encontró el mayor valor ( $6,61 \text{ mg kg}^{-1}$ ; Figura 2-17). Las concentraciones encontradas de Cu foliar aunque todavía están en el nivel adecuado tienden a ser bajas (Marschner, 2002; Barker y Pilbeam, 2007) y disminuyen con el tiempo de corte debido probablemente a los bajos contenidos que presenta el suelo y al empobrecimiento gradual que se da por la extracción continua por parte del cultivo. Además, es posible que la mayor extracción de Cu se de en las primeras etapas de desarrollo del pasto *Brachiaria*, pues posterior a la semana 5 después de la emergencia la concentración de Cu disminuyó de forma representativa.



**Figura 2-17:** Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de cobre en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

### 2.2.10 Boro

Solamente se presentaron diferencias significativas con el tiempo de corte ( $P \leq 0,05$ ). A medida que aumentó el tiempo de corte el B foliar disminuyó linealmente, pasando de  $34,28 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $34,28 \text{ mg kg}^{-1}$  de la semana 5 a la 15 (Figura 2-18). Las extracciones de este elemento por parte de las monocotiledóneas, caso de los dos cultivares de *Brachiaria* de este estudio, son menores a la de las dicotiledóneas con un rango entre 2 a  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  (Marschner, 2002; Barker y Pilbeam, 2007). Al igual que los demás nutrientes, el suelo presentó niveles bajos de B, y que muy posiblemente se hicieron más bajos durante el crecimiento del cultivo, razón por la cual, este nutriente disminuyó en los tejidos de los cultivares de *Brachiaria*. También se podría pensar que las necesidades de este elemento son más altas en los primeros estados de crecimiento, debido a que el B está involucrado en procesos de división celular (Barker y Pilbeam, 2007), fenómeno que predomina en las primeras etapas de crecimiento de las plantas.



**Figura 2-18:** Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de boro en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

### 2.2.11 Hierro

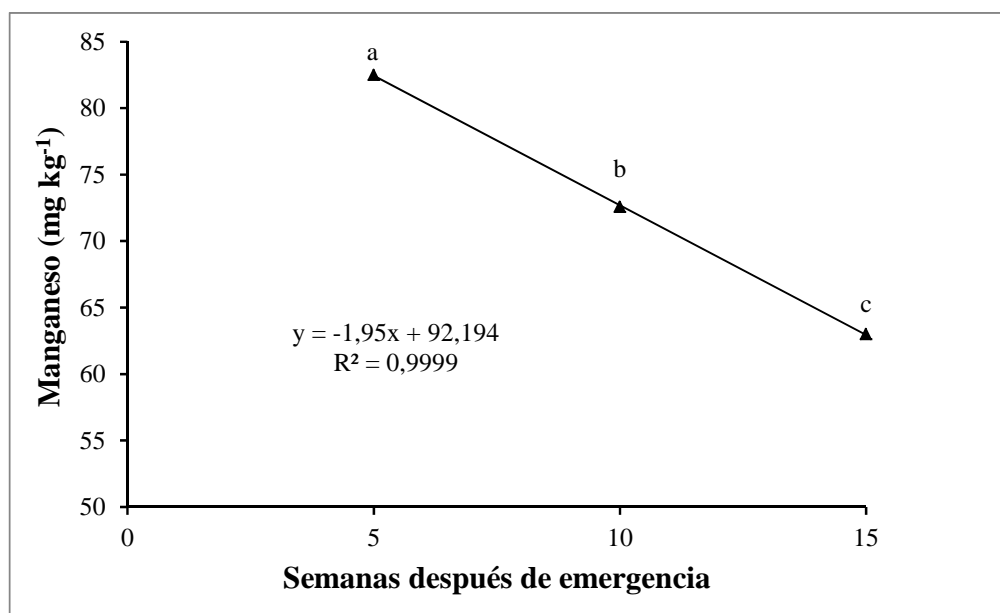
De acuerdo al análisis de varianza para hierro, no existió diferencia significativa entre los dos cultivares de *Brachiaria*, la fertilización y las semanas de corte; igualmente no existió ninguna interacción significativa. El valor promedio de Fe foliar encontrado fue de 935,4 mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 2-3), el cual indica alta concentración en el tejido foliar comparado con los datos de niveles adecuados que reporta Barker y Pilbeam (2007). El alto contenido de Fe encontrado en los dos materiales de *Brachiaria* se debe a la gran cantidad de Fe disponible en el suelo (Tabla 2-3), por tanto, al haber una disponibilidad adecuada de este elemento en el suelo durante todo el experimento, posiblemente no hay efecto significativo de los tratamientos evaluados en el presente estudio. En arroz se reporta que concentraciones de Fe superiores a 500 mg kg<sup>-1</sup> pueden causar toxicidad.

La mayoría del hierro en las plantas está en la forma Fe<sup>+3</sup> (Terry y Abadia, 1986). Una alta proporción del Fe está localizada dentro de los cloroplastos de hojas en crecimiento (Marschner, 2002). Una gran parte del Fe en las plantas se encuentra en el apoplasto,

principalmente en el apoplasto de raíces (Strasser *et al.*, 1999) y sirve como reserva para la parte aérea (Barker y Pilbeam, 2007).

### 2.2.12 Manganeso

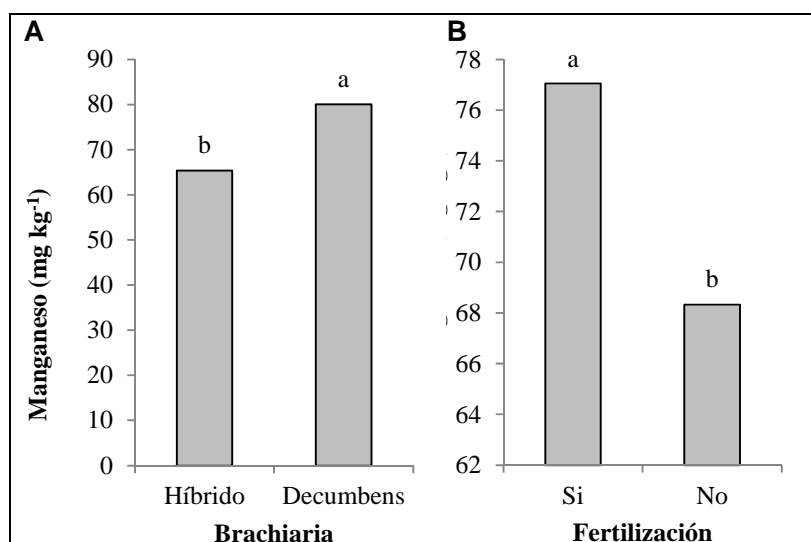
Los tres factores de manera independiente presentaron diferencias significativas, por el contrario, todas las interacciones mostraron una respuesta estadísticamente igual. La concentración foliar de Mn disminuyó de manera lineal a medida que el tiempo de corte se incrementó, en la semana 5 después de la emergencia la concentración fue de 82,5 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2-19). Con aplicación de fertilizante también se obtuvo mayor Mn con 77,06 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2-20B), de igual manera el *B. decumbens* presentó mayor concentración de Mn (80,06 mg kg<sup>-1</sup>; Figura 2-20A). Las concentraciones encontradas se pueden considerar adecuadas para las especies evaluadas si se considera que para algunas gramíneas el Mn puede estar entre 20 a 200 80,06 mg kg<sup>-1</sup> (Barker y Pilbeam, 2007).



**Figura 2-19:** Efecto del tiempo de corte sobre la concentración de manganeso en el tejido foliar de pasto *Brachiaria*. Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

Los resultados de la concentración foliar de Mn y de los demás nutrientes en función del tiempo de corte, confirma lo expuesto por Campos *et al.* (2010) y Akin y Burdick (1975),

quienes mencionan que es importante tener en cuenta la edad adecuada de corte, pues esta permite la explotación racional de la producción potencial y el valor nutricional de la planta. Esto debido a que los tejidos de las plantas se lignifican conforme aumenta la edad, cambiando la composición de la pared celular de los vegetales.



**Figura 2-20:** Concentración de Manganeso en el tejido foliar de pasto *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria* híbrido cv. mulato (A) con y sin fertilización (B). Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

El Manganeso está implicado en muchas funciones bioquímicas, actúa como un activador de enzimas como deshidrogenasas, transferasas, hidroxilasas y carboxilasas envueltas en la respiración, amino ácidos y síntesis de lignina, y concentración de hormonas (Burnell, 1988). Mn también está implicado en reacciones de óxido-reducción (redox) dentro del transporte de electrones fotosintético en plantas (Babcock, 1987). Por tanto, se puede pensar que con la aplicación de fertilizante estas funciones se puedan llevar a cabo con mayor eficiencia, debido a una concentración de Mn más alta en los tejidos de los dos cultivares de *Brachiaria*. La mayor absorción de Mn por parte de *B. decumbens* posiblemente se deba a componentes genéticos que indiquen que esta especie necesita mayor concentración de Mn que *B. híbrido* cv. mulato para cumplir con las diferencias funciones fisiológicas y bioquímicas durante su desarrollo.



## 3. Conclusiones y recomendaciones

### 3.1 Conclusiones

Bajo las condiciones del estudio, el *Brachiaria híbrido* cv. Mulato tuvo mejor comportamiento que el *B. decumbens*, lo cual se evidencia en mayor acumulación de biomasa fresca y seca, también presentó mayor concentración foliar de calcio, Por su parte, *B. decumbens* mostró una mayor acumulación de zinc y manganeso foliar.

El tiempo de corte fue uno de los factores más importantes, de manera general, se observó que a mayor tiempo de corte, la acumulación de materia fresca y seca y el calcio foliar aumentaron, no obstante, la concentración foliar de nitrógeno, zinc, cobre, boro y manganeso disminuyeron. Por tanto, en la semana 5 después de emergencia se observó mayor concentración foliar de los anteriores elementos.

El factor fertilización fue responsable de generar mayor cantidad de masa fresca y seca, y mayor concentración foliar de fósforo, potasio, calcio, magnesio y manganeso. Como era de esperarse, no fertilizar generó la respuesta menos favorable en todas las variables.

El *B. híbrido* cv. mulato, fertilizado y cortado a las 15 semanas después de la emergencia produjo los valores significativamente más altos de materia fresca y seca.

La alternativa que presentó mayor concentración foliar de nitrógeno fue *B. híbrido* cv. mulato, fertilizado y cortado a las 5 semanas después de la emergencia.

El bajo contenido de nutrientes en el suelo fue una de las principales causas de la disminución en la concentración foliar de la mayoría de los nutrientes y de los bajos valores presentados en los dos cultivares de *Brachiaria*.

El Hierro no mostró ninguna diferencia en las interacciones ni en los factores por separado, debido principalmente al alto contenido de este elemento en el suelo.

### **3.2 Recomendaciones**

Se deben generar experimentos de nutrición y fertilización locales con el fin de crear tablas de consumo y extracción para este tipo de forrajes y ajustar las dosificaciones de fertilizantes.

Es necesario dar la importancia que merecen los análisis de suelos en el diagnóstico nutricional, para poder realizar una fertilización balanceada.

Se recomienda ante todo corregir la acidez y posteriormente fertilizar, ya que la alta acidez está limitando la disponibilidad de algunos nutrientes en suelos de características similares a los empleados en esta investigación, el momento de aplicación del producto corrector seleccionado para la acidez debe ser el apropiado (entre 4 y 6 semanas) y debe determinarse con base en las características del producto, forma de incorporación al suelo y humedad del suelo.

Para futuras investigaciones se recomienda realizar evaluaciones sobre la aplicación de elementos menores sobre el contenido foliar de los diferentes foliares y sobre la producción de biomasa fresca y seca, así como de otras características de calidad como el contenido de fibra.

También es importante correlacionar los resultados de los análisis foliares con los contenidos de nutrientes en el suelo, esto con el fin de encontrar explicaciones más claras sobre los resultados encontrados.

Es recomendable replicar el experimento bajo otras condiciones climáticas y edáficas para confirmar o encontrar diferencias con los resultados reportados en este estudio.

## Bibliografía

- Akin D.E. y D. Burdick. 1975. Percentage of tissue types in tropical and temperate grass leaf blades and degradation of tissues by rumenmicroorganism. *Crop Science*, 15, 661-668.
- Alvim, M., M. Botrel, R. da S, Verneque, y J. Sawati. 1990. Application of nitrogen to *Brachiaria* accessions. 1. Effect on dry matter production. *Pasturas Tropicales*. 12(2), 2-6.
- Argel, Keller-Grein. 1996. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical America – Humid Lowlands. In: Miles, W; Maass, L; Valle, Borges do; Kumble (eds.). *Brachiaria: Biology, agronomy, and improvement*. CIAT; Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC), Cali, p. 164-177. (CIAT publication no. 259).
- Argel, P.J., J.W. Miles, J.D. Guiot, H. Cuadrado y C.E. Lascano. 2007. Cultivar Mulato II (*Brachiaria* híbrido): Gramínea de alta calidad y producción forrajera, resistente al salivazo y adaptada a suelos tropicales ácidos bien drenados. Grupo Papalotla y CIAT. En: [http://www.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/mulato\\_ii\\_espanol.pdf](http://www.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/mulato_ii_espanol.pdf); consulta: 7 de julio de 2007.
- Arrijoa, L. 1992. Aspectos relevantes de la fertilización de pastizales. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.
- Avellaneda, C.J., G.F. Cabezas, Z.G. Quintana, M.R. Luna, V.O. Montañez, G. I. Espinoza, M.S. Zambrano, G.D. Romero, R.J. Vanegas, M.E. Pinargote. 2008. "Comportamiento agronómico y composición química de tres variedades de *Brachiaria* en diferentes edades de cosecha." *Ciencia y Tecnología*. 1(2), 87-94.
- Babcock, G.T. 1987. The photosynthetic oxygen-evolving process. In: J. Ames, ed. *New Comparative Biochemistry: Photosynthesis*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, pp. 125-158.
- Ballard T.M., R.E. Carter. 1986. Evaluating forest stand nutrient status. Land management report, No.20, Ministry of Forest, Victoria, British Columbia, 60p.

- Barker, A., D. Pilbeam. 2007. Handbook of plant nutrition. CRC press Taylor & Francis group. New York. 613p.
- Benett, C.G.S., S. Buzetti, K.S. Silva, A.F. Bergamaschine, J.A. Fabrício. 2008. Produtividade e composição bromatológica do capimmarandu a fontes e doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5), 1629-1636.
- Blanco, F. 1991 La persistencia y el deterioro de los pastizales. *Rev. Pastos y Forrajes. EEPF "Indio Hatuey"* 14 (2): 87-103. Matanzas Cuba.
- Bonneau, M. 1995. Fertilisation des forest dans les pays tempérés: théorie, bases dudiagnostic, conseils pratiques,realizations expérimentales. ENGREF, Nancy, France, 376 pp.
- Burnell, J.N. 1988. The biochemistry of manganese in plants. In: R.D. Graham, R.J. Hannam, N.C. Uren, eds. *Manganese in Soils and Plants*: Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 125-137.
- Campos, P., J. Silva, H. Vásquez, A.Vittori, M. Silva. 2010. Fractions of carbohydrates and of nitrogenous compounds of tropical grasses at different cutting ages. *R. Bras. Zootec.*, 39(7), 1538-1547.
- Canchila, E.R., F. Ojeda, R. Machado, S. Mildrey, O. Toral, D. Blanco. 2008. "Evaluación agronómica de accesiones de *Brachiaria* spp. en condiciones agroecológicas de Barrancabermeja, Santander, Colombia. II." Segundo año de evaluación. *Pastos y Forrajes*. 31(2),141-150.
- Castiblanco, J. 2005. Producción de biomasa, consumo y calidad de los pastos *Brachiaria* híbrido (mulato) y *Brachiaria decumbens* en la hacienda San Rafael, Bucay, Ecuador. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. 23p.
- Chacón, C. 2005. Evaluacion de pasturas de *Brachiaria humidicola* sola y en asociación con *Desmodium ovalifolium*, en sistema de pastoreo rotativo, al norte del estado de Táchira, IX seminario de Pastos y Forrajes, 138-149.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2001. Annual Report 2001. Project IP-5. Tropical Grasses and Legumes: Optimizing genetic diversity for multipurpose use. p. 110-112.
- Crowder, I.V., H. Chaverra, J. Lotero. 1970. Productive improved grasses in Colombia. XI International Grasses Congress. Australia Proceedings. 147- 149

- Costa, K., I. Oliveira, V. Faquin, G. Silva, E. Severiano. 2009. Produção de massa seca e nutrição nitrogenada de cultivares de *Brachiaria brizantha* (A. Rich) Stapf sob doses de nitrogênio. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 33(6), 1578-1585.
- Díaz, A. 2001. Producción de biomasa de (*Eichhornia crassipes*) en aguas residuales porcinas. Tesis en opción al título de Master en Nutrición Animal. Universidad de Granma, Cuba.
- Epstein, E. y A.J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 400 p.
- Fagundes, J.L., D.M. Fonseca, R.V. Morais, C. Mistura, C.M.T. Vitor, J.A. Gomide, D. Nascimento Junior, M.E.R. Santos, D.M. Lambertucc. 2006. Avaliação das características estruturais do capim-braquiária empastagen sadubadas com nitrogênio as quatro estações do ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, 35(1), 30-37.
- Fagundes, L., D. Miranda da Fonseca, J. A. Gomide, D. Junior, C. M. Teixeira Vitor, R. Morais, C. Mistura, G. Reis y J. Martuscello. 2005. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 40(4), 397-403.
- Fleming, G. A. 1973. Mineral composition of herbaje. In *chemistry and biochemistry of herbaje*. Ed. Butter Bailey, Academic Press. (1) : 56.
- Foloni, J., C. Tiritan, J. Calonego y J. Junior. 2008. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milho, braquiária, milho e soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 32, 1147-1155.
- Gonzalez, S ; Herrera, R.S ; Sanchez , M. 1982. Effect of nitrogen fertilization and regrowth age on the mineral of *Cynodon nlemfuensis*. *Cuban Journal of agriculture Science* 16(3): 287-304.
- Grewal, J. S. y S.N. Singh. 1980. Effect of potassium nutrition on frost damage and yield of potato plants on alluvial soils of the Punjab (India). *Plant Soil* 57, 105-110.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, W.L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 7.ed. New Jersey: Pearson, 515p.
- Hammond, L.L., L.A. León y L.G. Restrepo. 1982. Efecto residual de las aplicaciones de siete fuentes de fósforo sobre el rendimiento de *B. decumbens* en un oxisol de

- Carimagua. Suelos ecuatoriales. Volúmen XII. No.2. Bogotá, Colombia. Pp 196 – 206.
- Herrera, R.S. 1983. La calidad de los pastos En: Los pastos en Cuba. Utilización. EDICA. La Habana.
- leiri, A., R. Lana, G. Korndörfer, H. Pereira. 2010. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo narecuperação de pastagemcom Brachiaria, Ciênc. agrotec., Lavras, v. 34(5), 1154-1160.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1980. Estudio general de suelos de los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches, Sabana de Torres y San Vicente de Chucurí. Bogotá, D.E.
- Lapointe, S.L., J.W. Miles. 1992. Germplasm case study: Brachiaria species. En: Pastures for the tropical lowlands: CIAT's contribution. CIAT, Cali, Colombia. p. 43 - 55.
- Loneragan, J. F., T.S. Grove, A.D. Robson, K. Snowball. 1979. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. SoilSci. Soc. Am. J. 43, 966-972.
- Macedo, M.C.M. 2004. Adubação fosfatada empastagens cultivadas comênfasenaregião do Cerrado. In: Yamada, T. y Abdalla, S.R.S., eds. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, Potafos, 359-396.
- Malavolta, E. 1992. ABC da análise de solos e folhas. São Paulo: Agronômica Ceres, 124 p.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. 889 p.
- Marschner, H., A. Schropp. 1977. Vergleichende Untersuchungen iiber die Empfindhchkeit von 6 Unterlagensorten der WeinrebegegeniiberPhosphatinduziertem Zink-Mangel. Vitis 16, 79-88.
- Megda, M., F. Monteiro. 2010. Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandupalisadegrass, R. Bras. Zootec., 39(8), 1666-1675.
- Mengel K., E.A. Kirkby, H. Kosegarten y T. Appel. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 849 p.
- Molina, E., R. Salas, y A. Castro. 1993. Curvas de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (*Fragaria x ananasa* cv. Chandler) en Alajuela. Agronomía Costarricense 17(1), 67-73.

- Nobui. 2004. Reportes de fertilización de pastos. Panamá. (En línea). Disponible en: [www.ne.jp/asahi/agricola/nobui/report/mp3.html](http://www.ne.jp/asahi/agricola/nobui/report/mp3.html).
- Noronha, N. C. Andrade, F. Limonge, C. Cerri, C. Cerri, M. Piccolo y B. Feigl. 2010. Recovery of degraded pasture in rondônia: macronutrients and productivity of *Brachiaria brizantha*, R. Bras. Ci. Solo, 34,1711-1720.
- Oliveira, I., K. Costa, V. Faquin, G. Maciel, B. Neves, E. Machado. 2009. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas, Ciênc. agrotec., Lavras, 33(2), 592-598.
- Olsen, S.R ; Khasawneh, F.E. 1980. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorous in soils. In Khasawneh, F.E et al .,Eds. The role of phosphorous in agriculture. Madison, Wisconsin, USA, pp361-410.
- Owen, J. 1983. Cattle Feeding. Farming Press Ltd. Letchworth, Great Britain. 13-40 p.
- Paciullo, D., P. Fernandes, C. Gomide, C. Castro, F. Sobrinho, C. Carvalho. 2011. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. R. Bras. Zootec., 40(2),270-276.
- Pasturas de América. 1999. Excelentes alternativas para producción de carne y leche en zonas tropicales. (en línea). Consultado 6 de Julio de 2011. Disponible en: <http://www.pasturasdeamerica.com/relatos/mulato.asp#arriba>
- Pérez, J., E. García, J.F. Enríquez, A. Raymundo, J. Pérez y A. Hernández. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto mulato (*Brachiaria* híbrido cv.), Tec. Pecu. Méx. 42(3), 447-458.
- Pietrosemoli, S., L. Faria. N. Villalobos. 1995. Respuesta del pasto *Brachiaria brizantha* a la fertilización nitrogenada, Rev. Fac. Agron. LUZ 13(5), 551-560.
- Pinzón, B. y E. Santamaría. 2005. "Valoración del comportamiento agronómico de nuevos híbridos y variedades de *Brachiaria*. Instituto Panameño de Investigación Agropecuaria (Idiap)." Informe mimeografiado. 5 pp.
- Plaster, E.J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo, Madrid. 419 p.
- Rao, I.M. et al. 2006. Selección de híbridos de *Brachiaria* con resistencia al aluminio. Pasturas Tropicales. 28 (3),20.
- Rao, I.M., V. Borrero, M.A. Ayarza, y R. García. 1995. Adaptation of tropical forage species to acids soils: The influence of varying phosphorus supply and soil type on plant growth. En: date, R.A.,Grundon, N.J.,Rayment, G.E.,y Probert, M.E.(eds).

- Plant soil interactions at low pH: Principles and management. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. Holanda. p 235-241.
- Renvoize, S.A. 1987. A survey of leaf – blade anatomy in grasses. XI : Paniceae. Kew Bull. 42(3), 739 – 768.
- Ricaurte, J., I. Rao y J. Menjivar. 2007. Estrategias de enraizamiento de genotipos de *Brachiaria* en suelos ácidos y de baja fertilidad en Colombia, *Acta agronómica (Colombia)*, 56(3), 107-115.
- Rincón, A., G. Ligarreto. 2008. Fertilidad y extracción de nutrientes en la asociación maíz-pastos en suelos ácidos del piedemonte Llanero de Colombia. *Agronomía Colombiana* 26(2), 322-331.
- Rojas-Hernández, S., J. Olivares-Pérez, R. Jiménez-Guillén, I. Gutiérrez-Segura y F. Avilés-Nova. 2011. Producción de materia seca y componentes morfológicos de cuatro cultivares de *Brachiaria* en el trópico, *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(1), 3-8.
- Salamanca, C.R., J. Bernal, J.O. Argüello y E.F. Almansa. 1999. Dinámica del potasio en el cultivo de soya en oxisoles de la Orinoquia. *Boletín técnico N° 14*. Corpoica, Sena, Villavicencio (Colombia). 36 p.
- Salinas, J.G., R. García. 1985. Métodos químicos para el análisis de los suelos ácidos y plantas forrajeras. CIAT. Cali, Colombia. 83p.
- Sosa, R. E. E., T. E., Cabrera, R. D. Pérez, y R. L. Ortega, 2008. "Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo." *Téc. Pec. Méx.* 46(004):413-426.
- Soto, J.A. 2002. Patrón de crecimiento, concentración y extracción de nutrientes en seis variedades y tres clones promisorios de papa en la región oriental de Costa Rica. En congreso Latinoamericano de papa. Quito. Ecuador.
- Sousa, D.M.G., E. Lobato, T.A. Rein. 2002. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M. G. & Lobato, E., eds. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina, Embrapa Cerrados, p.147-168.
- Strasser, O., K. Köhl, V. Römheld. 1999. Overestimation of apoplastic Fe in roots of soil grown plants. *Plant Soil* 210, 179–187.
- Stur, W.W., Hopkinson, J.M., Chen, C.P. 1996. Regional experience with *Brachiaria*: Asia, the South Pacific, and Australia. In: Miles, J.W., Maass, B.L. and Valle, C.B.



- do (eds) *Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement*. pp. 258–271. (International Centre for Tropical Agriculture: CIAT, Colombia)
- Tergas, L.E and Blue, W.G. 1971. Nitrogen and phosphorous in jaragua grass (*Hyparrhemia staff*) during the dry season in a tropical savanna as affected by nitrogen fertilization. *Agronomic Journal* 63:6
- Vasquez, E y Torres, S. 2006. *Fisiología vegetal en : Nutrition mineral*. Tercera edición. Ciudad de la Habana, Cuba Editorial Félix Valera . Tomo I: 164-167.
- Terry, N., J. Abadia. 1986. Function of iron in chloroplasts. *J. Plant Nutr.* 9,609–646.
- Wild, A. 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 1045 p.