



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA Y GESTIÓN DE PROYECTOS**

Tesis de grado previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO, MENCIÓN EN PRODUCCIÓN PECUARIA

**EFFECTO DE LA OMISIÓN DE NUTRIENTES EN CUATRO VARIEDADES DE
BRACHIARIA.**

Estudiante:

ANDER RICARDO LEGARDA QUINTERO

Director de tesis:

ING. LUIS WILFRIDO GUSQUI VILEMA

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Marzo, 2015

EFFECTO DE LA OMISIÓN DE NUTRIENTES EN CUATRO VARIEDADES DE BRACHIARIA.

Ing. Luis Wilfrido Gusqui Vilema

DIRECTOR DE TESIS

APROBADO

Ing. Neilberth Katusca Rosero Oña

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Wilson Geovanny Rivas Pacheco

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Miriam Natividad Recalde Quiroz

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo.....de.....2015.

Autor: ANDER RICARDO LEGARDA QUINTERO.

Institución: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.

**Título de Tesis: EFECTO DE LA OMISIÓN DE NUTRIENTES EN
CUATRO VARIEDADES DE BRACHIARIA.**

Fecha: MARZO, 2015.

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor.

Ander Ricardo Legarda Quintero

C.I. 1718286402

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS

Santo Domingo,.....de..... del 2015.

Ing. Miriam Natividad Recalde Quiroz

**COORDINADORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA UTE,
SEDE SANTO DOMINGO**

Presente.

De mis consideraciones.-

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por el señor: **ANDER RICARDO LEGARDA QUINTERO**, cuyo tema es: **“EFECTO DE LA OMISIÓN DE NUTRIENTES EN CUATRO VARIEDADES DE BRACHIARIA”**; ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Luis Wilfrido Gusqui Vilema
DIRECTOR DE TESIS

Dedicatoria

*A Dios por darme la vida e inteligencia
y guiarme siempre en la verdad. Y
permitirme llegar hasta este momento
tan importante para mí.*

*A mis queridos padres Marco Legarda y
Graciela Quintero, con mucho cariño y
respeto, por todo el esfuerzo y sacrificio
realizado en ver culminada mi carrera.*

*A mi querida esposa Ana Karen Morán,
con mucho amor por el apoyo
incomparable brindado para la
terminación de mi tesis.*

*A mi querida y adorada hija Mayerli L,
con mucho cariño, por ser la razón de
mi existencia ya que me dio fuerzas
para terminar mi tesis.*

*A mis hermanos, familiares y amigos,
por su apoyo moral y material que me
brindaron durante todo el tiempo de
estudio.*

Ander Ricardo Legarda

Agradecimiento

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

Infinitamente agradezco a Dios quien ha guiado mi trabajo, también me extendió conocimientos constructivos que generan valores éticos y morales ante la sociedad, y me dio el valor de cursar una vida de estudio profesional.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo, e igualmente a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y me permitieron adelantar mis estudios de pre-grado.

Al Profesor y Director de Tesis José Antonio Espinosa M. PhD por su valioso apoyo académico.

Al ingeniero Luis Gusqui, quien a pesar de sus intensas labores, y gracias a su gran espíritu docente, saco tiempo para guiarme en la culminación de mi tesis.

Al ingeniero Jonathan Garay, quien en todo momento se convirtió en un gran orientador.

A mis amigos y estudiantes de ingeniería Agropecuaria de la UTE, que colaboraron con gran entusiasmo y que me ayudaron en las diferentes etapas de vida estudiantil.

Ander Ricardo Legarda

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	PAG.
Portada.....	i
Hoja de sustentación y aprobación del tribunal	ii
Hoja de responsabilidad del autor	iii
Informe Director de tesis	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Resumen	xiii
Abstract	xiv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación.....	2
1.2. Objetivos de estudio	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. Hipótesis.....	4
1.3.1. Hipótesis Alternativa (Ha).....	4
1.3.2. Hipótesis Nula (Ho)	5

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de las variedades e híbridos de Brachiaria.....	6
2.1.1. Brachiaria decumbens.....	6
2.1.2. Brachiaria híbrido cv. mulatoll.....	8
2.1.3. Brachiaria brizanthacv. marandú.....	9
2.1.4. Brachiaria brizanthacv. Xaraés.....	11
2.2. Nutrientes.....	12
2.2.1. Nitrógeno.....	12
2.2.2. Fósforo.....	13
2.2.3. Potasio.....	13
2.2.4. Magnesio.....	13
2.2.5. Azufre.....	14
2.2.6. Calcio.....	14
2.3. Fertilización de los pastos.....	14
2.4. Manejo de nutrientes por sitio específico en pastos.....	16
2.4.1. Determinación del Rendimiento.....	17
2.4.2. Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo.....	19
2.4.3. Determinación de las dosis de nutrientes necesarias.....	20
2.5. Eficiencia y efectividad de los nutrientes.....	20

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del experimento.....	23
3.2. Características del experimento 1.....	23
3.2.1. Definición de los tratamientos.....	23
3.2.2. Fertilizantes utilizados en el experimento.....	25

3.2.3. Descripción del área experimental	25
3.2.4. Diseño Experimental	26
3.2.5. Modelo Estadístico	26
3.2.6. Descripción de las variables estudiadas.....	27
3.2.7. Manejo agronómico del experimento.....	27
3.2.7.1. Establecimiento del cultivo	27
3.2.7.2. Cortes de igualación.....	27
3.2.7.3. Control de malezas.....	28
3.2.7.4. Fertilización	28
3.2.7.5. Cosecha	28
3.3. Características del experimento 2	28
3.3.1. Definición de los tratamientos	28
3.3.2. Diseño Experimental	29
3.3.3. Manejo agronómico del experimento.....	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1	30
4.1.1. Altura de la planta	30
4.1.2. Producción de materia verde.....	33
4.1.3. Producción de materia seca	38
4.2. Experimento 2	41
4.2.1. Determinación de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno.....	41
4.2.2. Eficiencia agronómica de N de las variedades de <i>Brachiaria</i>	42
4.3. Determinación de dosis de N a aplicarse	46

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	50
5.2. Recomendaciones.....	51
Bibliografía	52
Anexo	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Recomendaciones de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio para <i>Brachiaria</i> sp (Bernal & Espinosa, 2003).....	15
Tabla 2.2. Definiciones de la eficiencia de N (Snyder, 2009).....	21
Tabla 3.3. Descripción de la estructura de las parcelas de omisión de nutrientes y de la parcela con fertilización completa.	24
Tabla 3.4. Dosis de nutrientes para las parcelas de omisión.	25
Tabla.3.5. Características del área experimental.	25
Tabla 3.6. El esquema del ADEVA.	26
Tabla 4.7. Análisis estadístico de la variable altura de planta.	30
Tabla 4.8. Comparación del efecto de la omisión de nutrientes y la fertilización completa en la altura de la planta de cuatro variedades de <i>Brachiaria</i> en cinco cortes sucesivos.	31
Tabla 4.9. Análisis Estadístico de la variable materia verde.	34
Tabla 4.10 Comparación del efecto de la omisión de nutrientes y la fertilización completa en la producción de materia verde de cuatro variedades de <i>Brachiaria</i> en cinco cortes sucesivos.	36
Tabla 4.11 Análisis Estadístico de la variable materia seca.....	39
Tabla 4.12 Comparación del efecto de la omisión de nutrientes y la fertilización completa en la producción de materia seca de cuatro variedades de <i>Brachiaria</i> en cinco cortes sucesivos.....	40

Tabla 4.13	Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para la <i>Brachiaria decumbens</i>	42
Tabla 4.14	Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para la <i>Brachiaria mulato II</i>	43
Tabla 4.15	Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para la <i>Brachiaria marandú</i>	44
Tabla 4.16	Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para la <i>Brachiaria xaraés</i>	45
Tabla 4.17	Cálculo de la dosis de N a aplicarse a las variedades de pasto <i>Brachiaria</i> utilizando los datos promedios de RN _X , RN ₀ y EAN.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Representación esquemática del rendimiento potencial, rendimiento alcanzable y las brechas de rendimiento	19
Figura 2.2.	Representación esquemática de la determinación de las dosis de nutrientes utilizando la técnica de las parcelas de omisión...	20
Figura 4.3	Promedios de altura de planta de cinco cortes de las variedades de <i>Brachiaria</i> evaluadas.....	33
Figura 4.4	Promedios de producción de materia verde de cinco cortes de las variedades de <i>Brachiaria</i> evaluadas.	38
Figura 4.5	Promedios de producción de materia seca de cinco cortes de las variedades de <i>Brachiaria</i> evaluadas.....	41
Figura 4.6	Regresión de las dosis de N y la producción materia verde en pasto <i>B. decumbens</i> y representación gráfica del cálculo de EAN.	43
Figura 4.7	Regresión de las dosis de N y la producción materia verde en pasto <i>Brachiaria mulato II</i> y representación gráfica del cálculo de EAN.	44
Figura 4.8	Regresión de las dosis de N y la producción materia verde en pasto <i>Brachiaria marandú</i> y representación gráfica del cálculo	

	de EAN.	45
Figura 4.9	Regresión de las dosis de N y la producción materia verde en pasto Brachiaria xaraés y representación gráfica del cálculo de EAN.	46
Figura 4.10	Descripción gráfica del cálculo de las dosis N para las cuatro variedades de Brachiaria.	48

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Granja Experimental El Oasis, propiedad de la Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo. En el km 4 de la vía San Jacinto del Búa, a 416 msnm. La temperatura media anual del sitio experimental es de 23,5 °C y precipitación anual es de 2,600 a 2,800 mm. El objetivo del estudio fue determinar las necesidades nutricionales de cuatro variedades de *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú*, y *Brachiaria xaraés*) basándose en la técnica de parcelas de omisión. Se condujeron dos experimentos paralelos. El primero evaluó el efecto de la omisión de nutrientes en el rendimiento obtenible de materia verde (MV) y materia seca (MS) de las cuatro variedades de *Brachiaria*. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones. Los factores en estudio fueron las 4 variedades de *Brachiaria* (factor A) y los 7 tratamientos de manejo de nutrientes consistentes en parcelas en las que se omitió la aplicación de N, P, K, Mg, S y Ca y una parcela que recibe todos los nutrientes (factor B). Se evaluaron cinco cortes consecutivos cada 45 días. El experimento 2 fue diseñado para definir la Eficiencia Agronómica del N (EA_N) de las variedades de *Brachiaria*. Los tratamientos fueron dosis de N (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150 y 175 kg de N ha⁻¹) aplicadas a cada una de las variedades. El uso de la técnica de omisión permitió determinar que el N es el nutriente que más limita la acumulación MV y MS de las variedades de *Brachiaria*. La omisión de N redujo consistentemente la producción de MV. Por otro lado, el efecto de la omisión de P, K, Mg, S y Ca en la acumulación de biomasa fue apreciablemente menor y no tuvo la consistencia que tuvo la omisión de N. Se determinó que el rendimiento obtenible, expresado como el promedio de rendimiento de MV de los cinco cortes, fue 28311, 33532, 30885 y 31687 kg ha⁻¹ MV para las cuatro variedades, respectivamente. Estos valores son utilizados como meta de rendimiento en el cálculo posterior de la dosis de N. La EA_N para las variedades de *Brachiaria* estuvo ubicada en el rango de 100 a 110 kg MV kg⁻¹ de N aplicado para la variedad *decumbens* y en el rango de 170 a 180 para las otras variedades.

Palabras clave: *Brachiaria*, nutrientes, omisión, rendimiento, eficiencia.

ABSTRACT

This study was conducted at El Oasis Experimental Farm property of the Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo. At km 4 of the San Jacinto del Bua road at 416 meters over the sea level. The mean annual temperature for the site is 25.3 °C, and means annual rainfall is 2600-2800 mm. The objective of the study was to determine the nutritional needs of four *Brachiaria* varieties (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú*, and *Brachiaria xaraés*) based on omission plot technique. Two parallel experiments were conducted. The first experiment studied the effect of nutrient omission on fresh matter (MF) and dry matter (DM) accumulation of the four *Brachiaria* varieties. A randomized block design with 3 replications was used. Study factors were the 4 *Brachiaria* varieties (factor A) and the 7 nutrient management treatments consistent on plots where N, P, K, Mg, S and Ca were omitted and a plot where no nutrients are omitted (factor B). Five consecutive cuts, every 45 days, were evaluated. Experiment 2 was designed to determine the N agronomic efficiency factor (AE_N) of the *Brachiaria*. Treatments were N rates (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150 and 175 kg N ha⁻¹) applied to each of the varieties. The use of the omission technique revealed that N was the nutrient that limits the most biomass accumulation of the *Brachiaria* varieties studied. Nitrogen omission consistently reduced yields in FM. On the other hand, the effect of the omission of P, K, Ca, Mg and S was substantially lower and was not as consistent as the yields obtained in N omission plots. It was observed that attainable yield, expressed as the FM mean of the 5 cuts, were 28311, 33532, 30885, and 31687 kg FM ha⁻¹ for the varieties, respectively. These values are used as yield goal to calculate N rate. The AE_N for the *Brachiaria* varieties was in the range of 100 -110 kg FM kg⁻¹ of applied N for the *decumbens* and in the range of 170-180 for the other varieties.

Key words: *Brachiaria*, nutrients, omission, yields, efficiency.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La ganadería en el trópico ecuatoriano se basa principalmente en explotaciones bovinas de doble propósito que están limitadas por la baja productividad de los pastizales. En la Costa ecuatoriana se encuentran 1 386 849 ha de pastos cultivados y en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se reporta la existencia de 159 380 ha. De la superficie total cultivada con pastos en Santo Domingo de los Tsáchilas, 80487 ha (50.5 %) están cultivadas con *Saboya*, 42 714 ha (26.8 %) con *Brachiaria*, 17 213 ha (10.8 %) con *Elefante*, 10 838 ha (6.8 %) con *Gramalote*, 2 869 ha (1.8 %) con *Micay*, 2 391 ha (1.5 %) con *Miel*, 1 913 ha (1.2 %) con *Estrella* y 956 ha (0.6 %) con leguminosas forrajeras (ESPAC, 2013).

La disponibilidad comercial de gramíneas y leguminosas forrajeras para los trópicos se ha incrementado apreciablemente; sin embargo, todavía continúa la búsqueda de más y mejores opciones forrajeras que respondan a la diversidad de la ganadería, que sean especies de alta calidad, que toleren la incidencia de plagas que afectan la productividad y que sean persistentes (Holmann et al., 2004).

En los últimos años se han introducido nuevas especies del género *Brachiaria*, que han tenido gran aceptación entre los ganaderos de Santo Domingo de los Tsáchilas. Entre estos materiales se destaca el pasto *mulato* (*Brachiaria* híbrido CIAT 36061), primer híbrido comercial obtenido por el Proyecto de Forrajes Tropicales del CIAT, de buena adaptación a un rango amplio de ambientes, alta producción y calidad del forraje y facilidad de establecimiento por medio de semillas. También ha tenido buena acogida el pasto *xaraés* (*Brachiaria brizantha* xaraés) *liberado* por EMBRAPA en el 2003. Este material se caracteriza por su alta productividad, especialmente de hojas, rápido rebrote y florecimiento tardío (Oliverira, Gomes, Nascimento, Carvalho, & Silva, 2012).

Los pastos cultivados en las zonas tropicales de Ecuador tienen problemas de productividad que se atribuyen a la pérdida de fertilidad del suelo, al uso de variedades de baja producción o al mal manejo de los nuevos híbridos de gran potencial de rendimiento. Los rendimientos se pueden incrementar con la utilización de tecnología en el manejo general del cultivo, pero particularmente con el manejo de la nutrición (Bernal & Espinosa, 2003).

1.1. Justificación

La producción de ganado bovino es una de las más importantes actividades económicas de Ecuador. La producción de leche se concentra en la región Sierra que aporta con el 76 % del total de leche producida en el país, sin embargo, la producción de leche en las zonas tropicales de Ecuador ha crecido significativamente en los últimos años. Además, las zonas ganaderas tropicales de Ecuador dedican un alto porcentaje del área bajo pastos a la producción de carne y al ganado de doble propósito (ESPAC, 2013).

Las encuestas realizadas por INEC (ESPAC, 2013) indican que una gran mayoría de ganaderos alimentan sus bovinos con pastos y muy pocos lo hacen con ensilaje, heno, banano o balanceado. Por esta razón, es importante hacer un cuidadoso manejo nutricional de los pastos en las zonas tropicales de Ecuador para lograr satisfacer adecuadamente los requerimientos alimenticios de los bovinos.

Diversas variedades de *Brachiaria* han sido introducidas con éxito en las zonas tropicales del país. Aun cuando la mayoría de estos materiales se desarrollaron para crecer en suelos ácidos de baja fertilidad, también crecen bien en otros tipos de suelos, en cualquier condición, se hace necesario fertilizar adecuadamente el cultivo para lograr un buen establecimiento y para explotar todo el potencial de rendimiento de estas plantas forrajeras (Holmann, Argel, & Pérez, 2008).

El crecimiento vegetativo y el potencial de acumular rendimiento, y en consecuencia la necesidad de suplementar nutrientes, varían con las condiciones climáticas de los diferentes sitios donde se cultivan pastos en Ecuador. Esto es particularmente cierto en las zonas tropicales de la costa donde las diversas condiciones de clima resultan en diferentes condiciones de crecimiento y en consecuencia en diferente potencial de rendimiento. En áreas tropicales, el efecto de la latitud y la altitud en el clima es un factor de fundamental importancia en la acumulación de rendimiento. Normalmente, las recomendaciones de fertilización deberían basarse en el análisis de suelos, pero esta herramienta de diagnóstico no puede detectar el efecto del clima en la magnitud del rendimiento y la necesidad total de nutrientes (Espinosa & García, 2009). Además, es conocido que muy pocos ganaderos utilizan el análisis de suelos para fertilizar los pastos y en realidad, muy pocos fertilizan las praderas.

El área sembrada con pasto *Brachiaria* en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se ha incrementado apreciablemente debido a la fácil disponibilidad de nuevas variedades e híbridos en la zona. Se consideró necesario evaluar el potencial de rendimiento de estos materiales en las condiciones ambientales de la región y determinar, mediante la técnica de la parcela de omisión, la recomendación de N para *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú* y *Brachiaria xaraés*.

1.2. Objetivos de estudio

1.2.1. Objetivo general

Determinar las necesidades nutricionales de cuatro variedades de *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú*, y *Brachiaria xaraés*) basadas en la técnica de parcelas de omisión en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el potencial de rendimiento de cuatro variedades de *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú* y *Brachiaria xaraés*) en las condiciones ambientales de Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Evaluar el efecto de la omisión de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y Magnesio (Mg), en el rendimiento de materia verde y materia seca, para variedades de *Brachiaria*. (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú* y *Brachiaria xaraés*).
- Determinar la eficiencia agronómica de las aplicaciones de N y las dosis de N requeridas para obtener rendimientos altos de *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú*, y *Brachiaria xaraés*.
- Establecer y describir un método simple para determinar la dosis de N requerida por cualquiera de las pasturas estudiadas y que pueda ser utilizado fácilmente en el campo por los ganaderos de la región.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis Alternativa (Ha)

El rendimiento potencial de las variedades de *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú*, y *Brachiaria xaraés* se expresa adecuadamente cuando no existen limitaciones nutricionales en el suelo.

Las recomendaciones de la dosis de N requeridas por *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú* y *Brachiaria xaraés* se pueden obtener a partir de la parcela de omisión de N y de los valores calculados de la eficiencia agronómica de N.

1.3.2. Hipótesis Nula (Ho)

El rendimiento potencial de las variedades de *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú*, y *Brachiaria xaraés* no se expresa adecuadamente cuando no existen limitaciones nutricionales en el suelo.

Las recomendaciones de la dosis de N requeridas por *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú* y *Brachiaria xaraés* no se pueden obtener a partir de la parcela de omisión de N y de los valores calculados de la eficiencia agronómica de N.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de las variedades e híbridos de *Brachiaria*

En el trópico, la principal fuente de nutrientes, y la más barata, para la alimentación del ganado vacuno son los pastos. Entre estos destacan los materiales del género *Brachiaria* que se describen a continuación.

2.1.1. *Brachiaria decumbens*

Descripción Botánica

La *B. decumbens* comprende un grupo de pastos que crece en matas individuales, pero dependiendo de la densidad puede formar un césped. Sus tallos son gruesos, frondosos y semi erectos y alcanzan alturas de 50 – 70 cm. La inflorescencia es una panícula de racimos ramificados (Bernal, 1994; Otoyá, 1986).

Área de Adaptación

Este es un pasto que crece en la mayoría de los suelos mostrando alta tolerancia a bajos niveles de fertilidad del suelo. Como la mayoría de plantas su género, se adapta a suelos ácidos, muestra una alta resistencia al Al^{+3} y moderada al Mn (Mosquera & Lascano, 1992).

Establecimiento

El mecanismo de reproducción de *B. decumbens* es apomítico, por esta razón, solo algunas de las semillas son fértiles. Este pasto se propaga principalmente por material vegetativo lo que es positivo para la especie porque tiene una alta

estabilidad genética (Olivera, Machado, & del Pozo, 2006).

Persistencia

La *B. decumbens* tiene una buena persistencia y mantiene alta población en pastoreo rotativo o en pastoreo continuo, característica importante en los sistemas de producción donde se implementa ya que reduce los gastos de resiembra y rehabilitación. Este pasto tiene buen crecimiento en la estación seca (Olivera et al., 2006).

Las plagas más evidentes y dañinas de la *Brachiaria decumbens* son algunas especies de salivazo (*Cercopidae*), cuyo daño puede llevar a la pérdida total del forraje disponible. Inicialmente las hojas se tornan con una apariencia blancuzca y aparecen lesiones necróticas que luego se propagan longitudinalmente hacia el ápice de la hoja, finalmente, la biomasa aérea da la impresión de estar muerta o seca. Esta plaga se extiende desde el sur de EUA hasta el norte de Argentina. Los géneros más importantes son *Zulia*, *Deois*, *Aeneolamia* y *Mahanarva*. Se han emprendido grandes esfuerzos de selección de especies o ecotipos para buscar resistencia al salivazo por parte del Centro Internacional de Agricultura Tropical 3 (CIAT) y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) (Sotelo & Cardona, 2010).

Valor Nutritivo

El contenido de proteína de *B. decumbens* oscila entre el 10 y 12 %, con una digestibilidad de hasta 65 % (Arias & Hernández, 2002).

Rendimiento

Dependiendo de la edad del rebrote, los rendimientos de este material podrían variar de 1 a 2 t de materia seca (MS) ha⁻¹ corte⁻¹ en la época seca y entre 2,2 y

2,6 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ en invierno. Su rendimiento en MS y su capacidad para soportar el pastoreo justifican el hecho de que este pasto constituya la base de la alimentación de muchos de los sistemas de producción ganadera en el trópico (Avellaneda et al., 2008; Vega, Ramírez, Loeonard, & Igarza, 2006).

2.1.2. *Brachiaria híbrido cv. mulato II*

Descripción Botánica

El pasto *mulato II* es una planta perenne de crecimiento macollado que puede llegar hasta 1,0 m en altura. Los tallos son cilíndricos vigorosos, algunos de hábito semi-decumbente que pueden enraizar de los nudos cuando entran en contacto con el suelo por pisoteo animal o por compactación mecánica, esto permite que todo el suelo se cubra de pasto. Las hojas son pubescentes y lanceoladas y llegan 40 cm de longitud y 2,5 a 3,5 cm de ancho (Guiot & Meléndez, 2002).

Área de Adaptación

En el trópico húmedo, el pasto *mulato II* crece bien desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm, en áreas con altas precipitaciones y cortos períodos secos, pero también en condiciones sub húmedas donde se presentan periodos secos de 5 a 6 meses y precipitaciones anuales mayores de 700 mm. Esta gramínea crece bien en un amplio rango de suelos que va desde los ácidos hasta alcalinos, pero con buen drenaje y de mediana a buena fertilidad. Este material no se desarrolla en suelos pesados de mal drenaje interno o que se inundan periódicamente (Argel, Miles, Guiot, & Lascano, 2002).

Persistencia

El pasto *mulato II* tiene menor resistencia a la acidez del suelo que el *B. decumbens*, sin embargo, ésta es mayor a la observada en *B. brizantha cv.*

marandú y *B. xaraés*. El alto contenido de Al en muchas zonas ganaderas ácidas del trópico son las responsables de este comportamiento. Cuando no existen limitaciones de Al, el pasto *mulato II* desarrolla un buen sistema radicular que le permite tolerar la sequía (Gómez-Carabalí, Madhusudana, & Ricaurte, 2010).

Valor Nutritivo

El contenido de proteína del pasto *mulato II*, varía de 8 a 16 % y la digestibilidad de 55 a 66 % en el periodo comprendido entre los 25 y 30 días después del rebrote. Este es un pasto de alto consumo lo que permite mayores producciones de leche en comparación con otras *Brachiaria*. (Argel et al., 2002).

Rendimiento

Los rendimientos de forraje del pasto *mulato II*, dependen de la fertilidad y drenaje del suelo, las condiciones de clima y presencia de plagas y enfermedades. Los rendimientos pueden variar entre 10 y 25 toneladas MS ha⁻¹ año⁻¹. Los rendimientos más altos se obtienen en suelos francos de apropiada fertilidad, profundos y bien drenados, particularmente si se fertiliza el pasto (Cuadrado, Torregroza, & Garcés, 2005).

2.1.3. *Brachiaria brizanthacv. marandú*

Descripción Botánica

Esta *Brachiaria* es una gramínea permanente que proviene del África. Se propaga por estolones, pero tiene un sistema radicular profundo, con muchos rizomas cortos que permiten que la planta resista la sequía, sin embargo, no resiste el encharcamiento prolongado. La planta se desarrolla formando macollos y vigorosos de hasta dos metros de altura. Las hojas son erectas, largas, con poca velloidad y de intenso color verde. Se reproduce por semilla o en forma vegetativa. Este cultivar tiene buena palatabilidad y digestibilidad (Argel et al.,

2002).

Área de Adaptación

Es uno de los pastos mejorados de mayor aceptación y con mayor superficie de siembra en Brasil y en la Amazonía Peruana, pero que actualmente se siembra también en Ecuador (Avellaneda et al., 2008). Es un cultivar que se adapta bien a diferentes climas y tipos de suelos (incluso pedregosos, arcillosos o arenosos) (Cerdas & Valejos, 2012; Jácome & Suquilanda, 2010).

Establecimiento

Este cultivar de *Brachiaria* cubre casi total el suelo con crecimiento agresivo lo que controla las malezas, reduce el costo de mantenimiento y evita la erosión. Su resistencia a la sequía hace que la planta permanezca siempre verde (Avellaneda et al., 2008; González, Anzúlez, Vera, & Riera, 2000).

Persistencia

El pasto *marandú* resiste el ataque de salivazo y el de hormigas, por esta razón, se recomienda utilizarlo para reemplazar en forma progresiva pastos de otras especies susceptibles al ataque estas plagas en áreas donde estos problemas degradan las pasturas (González et al., 2000).

Valor Nutritivo

El valor nutritivo del pasto *marandú* es alto, particularmente por su contenido de proteína cruda y por su digestibilidad. La digestibilidad está entre 56 y 75 %, dependiendo de la edad de rebrote y el contenido de proteína bruta varía entre 8 y 13 % (Avellaneda et al., 2008; Rincón, 2011).

Rendimiento

La producción de esta especie puede oscilar entre 8 y 21 toneladas de MS ha¹ año¹, dependiendo como es lógico de la fertilidad del suelo y las precipitaciones. (Ibarra 2005)

2.1.4. *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés

Descripción Botánica

La *Brachiaria brizantha xaraés* se desarrolla en macollos vigorosos que crecen en forma decumbente y estolonífera por lo que se establece bien en diferentes condiciones agroclimáticas, alcanzando alturas que varían entre 50 y 160 cm. Las hojas con mucha pubescencia son lineales y lanceoladas de intenso color verde y tienen un tamaño que va de 35 a 40 cm de longitud y de 2.5 a 3.0 mm de ancho. La planta crece vertical y horizontalmente lo que permite una alta densidad de biomasa sobre el campo. El sistema radicular es profundo lo que permite que la planta tolere bien la sequía (de 5 a 6 meses) (Guiot & Meléndez, 2002; Lascano, Plaza, & Pérez, 2002).

Área de Adaptación

Este es un pasto de buena adaptación a diferentes tipos de suelos, incluyendo aquellos con mediana y baja fertilidad. Crece desde el nivel del mar hasta los 2000 m.s.n.m. en regiones con más de 1000 mm de lluvias al año, pero, además, soporta hasta 5 o 6 meses de sequía y rebrota bien con el inicio de las lluvias (Guiot & Meléndez, 2002).

Establecimiento

El pasto *xaraés* se puede sembrar al voleo o en surcos luego de haber preparado el terreno. La siembra debe hacerse cuando la humedad, temperatura y

luminosidad son elevadas (Guiot & Meléndez, 2002).

Persistencia

Para que el *xaraés* se establezca adecuadamente no se debe pastorear antes de los tres o cuatro meses después de la siembra, cuando se observa que la pradera presenta más de un 90 % de cobertura. Este pasto tiende a degradarse fácilmente con el sobre pastoreo (Guiot & Meléndez, 2002).

Valor Nutritivo

Esta especie presenta alto valor nutritivo, con una proteína que es variable de 13, 10 y 8 % de PC, y 67, 64 y 60 % de digestibilidad in Vitro de la MS, en edades de rebrote de 25, 35 y 45 días, respectivamente (Guiot y Meléndez, 2003b).

Rendimiento

Los promedios de producción de MS del Pasto *xaraés* varían entre 25 y 33.2 t ha⁻¹ año⁻¹ de MS, dependiendo de la época del año (Argel et al., 2002). Los rendimientos promedio obtenidos en suelos ácidos de baja fertilidad de la sabana Colombiana son de 1.77 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ en la época seca y de 7 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ en la época lluviosa (Lascano et al., 2002).

2.2 Nutrientes

2.2.1. Nitrógeno

Cuando existe humedad adecuada, la aplicación de N aumenta la producción de MS seca y el contenido de proteína y además promueve la producción de gran cantidad de hojas. Esta condición reduce inmediatamente el contenido de carbohidratos de reserva. Cuando las pasturas se cortan a una altura determinada, los que han recibido dosis altas de N son los que se cortan más

frecuentemente y por esta razón presentan contenidos más bajos de carbohidratos estructurales, pectina, celulosa, hemicelulosa. Esto afecta el potencial de rebrote de los pastos, pero la fertilización con P y K no afecta a los pastos de la misma manera (Pirela, Romero, & Araujo, 1996).

2.2.2. Fósforo

El contenido de P en los forrajes está relacionado con el de Ca. A menudo, la concentración de P es mayor a medida que la concentración de Ca es alta dentro de la planta, es decir, la fertilización con P aumenta los contenidos de proteína y Ca de los forrajes. Por otro lado, el efecto del P en la absorción de N depende de la disponibilidad de éste último, pero ambos nutrientes están estrechamente relacionados (Olivera et al., 2006; Quintero & Boschetti, 2010).

2.2.3. Potasio

Se ha demostrado que las aplicaciones de K no afectan la digestibilidad y palatabilidad de los pastos cuando se aplica solo o combinado con N. Las aplicaciones muy altas de K reducen la disponibilidad de Ca, Mg y Na en los pastos. Generalmente el elemento más afectado es el Mg, cuya concentración se puede reducir significativamente. Sin embargo, la utilización de cantidades adecuadas de K para la óptima producción de forraje no afecta la absorción de Mg ni la de los otros cationes como Ca y Na (Bernal, 1994; Bernal & Espinosa, 2003).

2.2.4. Magnesio

El Mg es muy importante en la nutrición animal por su papel en el control de la tetania de los pastos (hipomagnesemia), pero no afecta ningún otro parámetro de la calidad del forraje (Bernal, 1994; Bernal & Espinosa, 2003).

2.2.5. Azufre

El S está muy relacionado con el metabolismo del N, tanto en la planta como en el animal. Contenidos adecuados de S aumentan el contenido de proteína de los forrajes, ayudan a prevenir las intoxicaciones por nitritos y nitratos, y mejoran la digestibilidad de la fibra y la MS. Esto se debe principalmente a un mejor funcionamiento de las bacterias del rumen (Bernal, 1994; Bernal & Espinosa, 2003).

2.2.6. Calcio

El Ca es un constituyente de la pared celular en forma de pectato de calcio, necesario para la mitosis normal, y participa también en la estabilidad de las membranas y mantenimiento de la estructura cromosómica, a la vez que activa las enzimas fosfolipasa, arginokinasa y ATP. A menudo, la deficiencia de Ca no se detecta en el campo, debido a los efectos secundarios asociados con las limitaciones del desarrollo causadas por la alta acidez (Bernal, 2008; Bernal & Espinosa, 2003).

2.3. Fertilización de los pastos

Los requerimientos de nutrientes varían de acuerdo a la especie de pasto y las dosis de fertilizante a utilizarse deberían determinarse por medio análisis de suelos. Cuando se aplican cantidades insuficientes, no se obtienen los resultados deseados y se observa un pobre rendimiento de forraje de baja calidad. Si la dosis de fertilizante es demasiado alta, se obtiene buen rendimiento, pero el incremento en producción por kg de fertilizante aplicado se reduce y la aplicación de fertilizante no es económica (Ara, Reyes, & Ramos, 2004; Bernal & Espinosa, 2003; R. García, Andrés, Alvarenga, & Calleja, 2002).

A continuación se presenta un Cuadro típico de recomendaciones de fertilización para *Brachiaria*.

Tabla 2.1. Recomendaciones de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio para *Brachiaria sp* (Bernal & Espinosa, 2003)

Producción esperada	Producción MS t/ha/año	Extracción			Cantidad a aplicarse		
		kg ha ⁻¹ año ⁻¹			kg ha ⁻¹ año ⁻¹		
		N	P	K	N	P2O5	K2O
Baja	5.2	63	14	69	50	23	36
Media	13	157	36	172	100	69	90
Alta	19	230	53	252	150	115	120

Los reportes de la literatura indican que la *Brachiaria sp* responde muy bien a la fertilización con N, por esta razón, la mayor producción de forraje obtenida promueve una mayor extracción de otros nutrientes como P, K, S, Mg y Ca. Si el suelo no dispone de suficientes cantidades de éstos elementos y no son añadidos como fertilizantes, se pierde una buena parte del beneficio de la aplicación del N y, además, se reduce significativamente el valor nutricional de forraje (Alcántara et al., 2007; Bernal & Espinosa, 2003; Castro et al., 2009; R. García et al., 2002).

La práctica de fertilizar los forrajes adquiere mayor importancia en aquellas especies con alto potencial genético de producción. La respuesta de los pastos a la fertilización se expresa de diferente manera, pero el efecto más notable es el incremento en el rendimiento de materia seca. Esta respuesta es la que generalmente se analiza para demostrar los beneficios obtenidos con la fertilización (Bernal, 2008; Bernal & Espinosa, 2003).

En áreas donde se cuenta con riego, o tienen una prolongada estación lluviosa, se recomienda aplicar el fertilizante después de cada pastoreo. No se recomienda fertilizar durante la época seca cuando no se cuenta con riego, porque durante esta época la planta crece poco y absorbe pocos nutrientes del suelo. Los nutrientes aplicados al suelo durante esta época pueden perderse fácilmente, hecho que sucede particularmente con ciertos fertilizantes nitrogenados como la urea (Bernal, 1994; Bernal & Espinosa, 2003).

En zonas donde las estaciones climáticas están bien marcadas, es recomendable

fertilizar los forrajes de *Brachiaria sp* a comienzos de la época lluviosa y aproximadamente un mes antes de que terminen las lluvias para lograr un buen crecimiento durante la época seca y de esta forma contar con abundante forraje en un periodo de normal escasez (Bernal & Espinosa, 2003; Havlin, Beaton, Tisdale, & W.L., 2014)

Para que la aplicación de fertilizantes sea eficiente, también es necesario considerar el estado de desarrollo de la planta. Las aplicaciones hechas después de que ha aparecido la hoja bandera, o cuando la planta se encuentra en plena floración, no son muy eficientes debido a que en ésta época se reduce la capacidad de la planta para absorber nutrientes del suelo. La planta absorbe nutrientes en forma dinámica cuando se encuentra en pleno desarrollo vegetativo. En áreas con riego, lo más indicado es fertilizar lo más pronto posible después de cada corte o pastoreo (Bernal, 2008; Castro et al., 2009).

En suelos muy pobres o de textura gruesa es aconsejable fraccionar la aplicación de fertilizantes. Para este se divide la aplicación del requerimiento total, aplicando alrededor de un tercio poco después del corte o pastoreo, aplicándose el resto durante la época de crecimiento activo, que generalmente ocurre de 15 a 30 días después de la primera aplicación. Con este sistema se aumenta el costo de mano de obra, pero se aumenta la eficiencia en el uso del fertilizante (Bernal, 2008; Castro et al., 2009).

2.4. Manejo de nutrientes por sitio específico en pastos

El manejo de nutrientes de los pastos en Ecuador requiere de nuevos métodos para desarrollar recomendaciones de fertilización que se acomoden a las necesidades específicas de cada región agroclimática y que hagan uso eficiente de los nutrientes aplicados. Una de estas metodologías es el Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE). Esta es una metodología que busca entregar nutrientes a la planta cómo y cuándo los necesita. Esta forma de manejo permite ajustar dinámicamente el uso de fertilizantes para llenar afectivamente el

déficit que ocurre entre la necesidad total de nutrientes para obtener rendimientos altos y el aporte de los nutrientes provenientes de las fuentes nativas del suelo. Este déficit debe ser compensado con la aplicación de fertilizantes. Con esta forma de manejo se busca aplicar los nutrientes en dosis óptimas y al momento adecuado para obtener altos rendimientos y alta eficiencia de uso de los nutrientes por el cultivo (Espinosa & García, 2009).

Para implementar un programa de MNSE es necesario seguir los tres pasos que se discuten a continuación:

2.4.1. Determinación del Rendimiento Potencial y del Rendimiento Alcanzable

El rendimiento potencial se puede determinar utilizando modelos de simulación que emulan el crecimiento de la planta asumiendo condiciones óptimas para el cultivo. Sin embargo, no existen modelos de simulación probados para todos los cultivos, particularmente para pastos, por esta razón, es necesario determinar el rendimiento potencial utilizando parcelas experimentales o en lotes de agricultores con muy buen manejo. El rendimiento potencial se define como el rendimiento de un cultivo creciendo en un ambiente al cual está adaptado, sin limitaciones de nutrientes y agua y con un efectivo control de plagas, enfermedades y malezas (Evans, 1993). Por esta razón, el rendimiento potencial de una variedad o híbrido, en un ambiente específico de crecimiento, está determinado por la cantidad de radiación solar, temperatura y densidad de siembra (que controla la tasa a la cual las hojas se desarrollan bajo una particular condición de radiación solar y temperatura) (J. P. García & Espinosa, 2010).

Las decisiones de manejo, como la elección del material genético a sembrarse, la fecha de siembra y la población pueden afectar el potencial de rendimiento en un sitio específico al afectar la utilización de la luz solar disponible y las reservas de humedad en el suelo durante el ciclo de producción. El potencial de rendimiento también fluctúa de año a año debido a la normal variación de la radiación solar y de la temperatura (Witt, Pasuquin, & Dobermann, 2006).

Para alcanzar el rendimiento potencial el cultivo debe tener un suplemento óptimo de agua y nutrientes y debe estar completamente protegido del ataque de plagas y enfermedades, invasión de malezas y de la incidencia de otros factores que puedan afectar el crecimiento. Es obvio que estas condiciones muy raras veces se encuentran en el campo, sin embargo, la determinación del rendimiento potencial de un sitio es un excelente marco de referencia que ayuda a identificar la magnitud de las brechas de rendimiento (Witt et al., 2006).

La diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento alcanzable dimensiona la primera brecha de rendimiento. El rendimiento alcanzable para el sitio se logra utilizando toda la tecnología disponible para eliminar los factores limitantes, ya sea conduciendo investigación de campo o por compilación de datos del rendimiento obtenido en lotes de productores con muy buen manejo. Esta brecha será tan grande como lo determine el efecto del manejo en el rendimiento. El rendimiento alcanzable demostrado en un sitio establece la meta de rendimiento de áreas homogéneas (dominio de recomendación) en el siguiente ciclo de producción. Con lo aprendido en el primer ciclo se afina el manejo para incrementar el rendimiento obtenible y reducir la primera brecha de rendimiento. Esto no solamente permite lograr más rendimiento, sino que permite una mejor eficiencia de utilización de los nutrientes y de otros insumos. El proceso continúa en los siguientes ciclos (Espinosa & García, 2009; Witt et al., 2006).

Es importante determinar el rendimiento alcanzable para cada dominio de recomendación porque la cantidad de nutrientes absorbida por el cultivo está directamente relacionada con el rendimiento. En otras palabras, el rendimiento alcanzable determina la cantidad total de nutrientes que el cultivo debe absorber para obtener ese rendimiento y establece claramente la real demanda de nutrientes. Esta información es imprescindible para desarrollar la recomendación de fertilización. El análisis de suelos no permite este tipo de análisis (Espinosa & García, 2009; Witt et al., 2006).

La segunda brecha de rendimiento es la que se produce entre el rendimiento

actual de los agricultores en el campo y el rendimiento potencial y el rendimiento alcanzable. La meta final del MNSE es lograr que los productores reduzcan la brecha de rendimiento y logren acercarse con sus rendimientos al rendimiento alcanzable en un sitio. El esquema conceptual de las brechas de rendimiento se presenta en la figura 2.1.

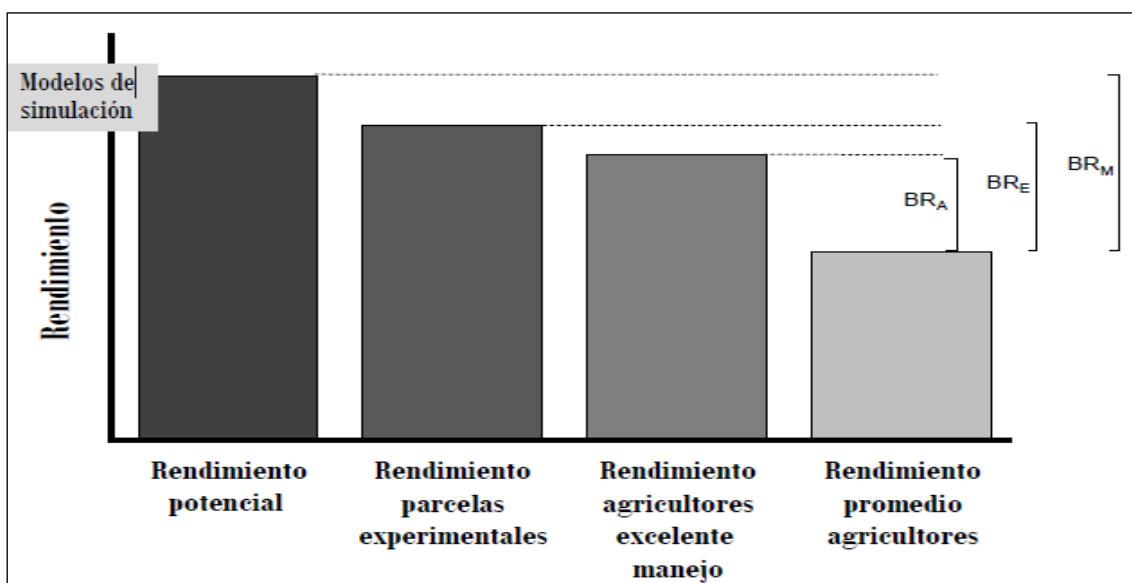


Fig 2.1. Representación esquemática del rendimiento potencial, rendimiento alcanzable y las brechas de rendimiento (Lobell, Cassman, & Christopher, 2009)

2.4.2. Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo

El MNSE hace uso efectivo de los nutrientes nativos del suelo. El suplemento de nutrientes nativos del suelo es aquel que proviene de otras fuentes menos los fertilizantes (materia orgánica, residuos del cultivo, agua de riego, etc.). La evaluación del aporte de los nutrientes nativos del suelo se logra mediante la técnica de las parcelas de omisión. Esta técnica determina el suplemento de nutrientes nativos del suelo por su acumulación en el cultivo sin fertilizar con el nutriente de interés, pero fertilizado en cantidades suficientes con los otros nutrientes para asegurarse que la ausencia de éstos no limite el rendimiento. Para lograr esto se localiza en el campo una parcela con las características antes indicadas para cada uno de los nutrientes que se quiera estudiar (Espinosa & García, 2009; Witt et al., 2006)

2.4.3. Determinación de las dosis de nutrientes necesarias para completar el déficit entre las necesidades del cultivo y el suplemento de nutrientes nativos del suelo

Para obtener la meta de rendimiento establecida es necesario aplicar fertilizantes para completar los requerimientos de nutrientes del cultivo que no son satisfechos por los nutrientes nativos del suelo. La dosis total de un nutriente depende del déficit entre la necesidad total del nutriente para obtener la meta de rendimiento y el suplemento del nutriente proveniente del suelo, determinado en la respectiva parcela de omisión. El esquema presentado en la figura 2.2, se resume los pasos necesarios para determinar las dosis de nutrientes utilizando la técnica de las parcelas de omisión (Witt et al., 2006).

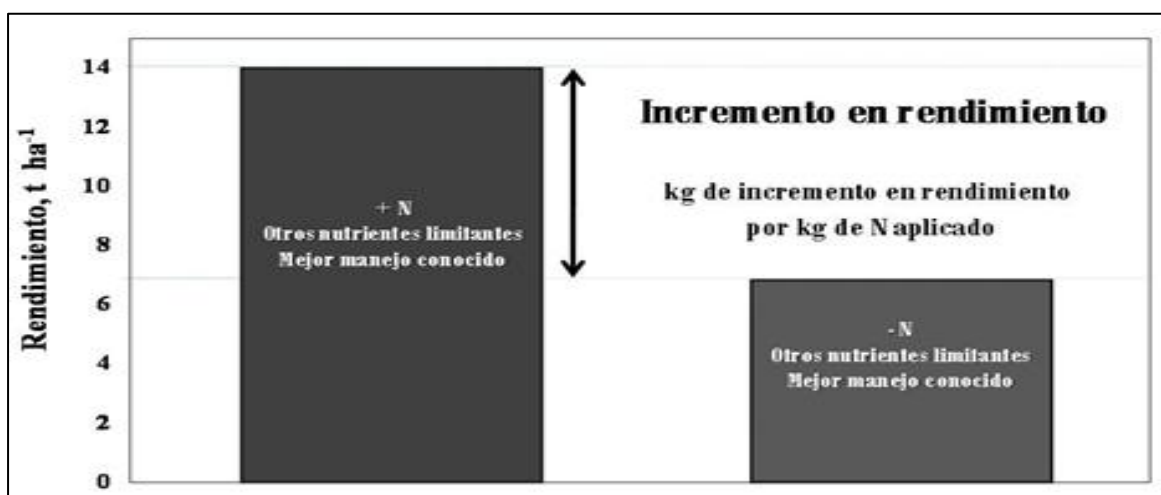


Fig 2.2. Representación esquemática de la determinación de las dosis de nutrientes utilizando la técnica de las parcelas de omisión (Witt et al., 2006)

2.5. Eficiencia y efectividad de los nutrientes

La eficiencia en el uso de los nutrientes que se aplican con los fertilizantes está generalmente influenciada por tres factores: 1) suministro del nutriente del suelo, fertilizantes y otras entradas, 2) absorción por el cultivo y 3) pérdidas del sistema suelo-planta. Cada uno de estos factores está afectado por el sistema de manejo del cultivo y las condiciones ambientales. Debido al riesgo de confusión entre los términos de eficiencia. Se recomienda utilizar cuatro definiciones simples que pueden usarse fácilmente en el trabajo de campo para evaluar y monitorizar la

eficiencia de uso de un nutriente (Snyder, 2009; Snyder, Bruulsema, & Jensen, 2007). En la tabla 2.2, se presenta un ejemplo de estas definiciones para N.

Tabla. 2.2. Definiciones de la eficiencia de N (Snyder, 2009)

Término EUN	Cálculo	Ejemplos reportados
FPP_N Factor parcial de productividad	R/D	40 a 80 unidades de grano de cereal por unidad de N
EA_N Eficiencia agronómica del N aplicado	$(R-R_0)/D$	10 a 30 unidades de granos de cereal por unidad de N aplicado
ER_N Eficiencia aparente de recuperación del N	$(U-U_0)/D$	0.3 a 0.5: típica recuperación de N en cereales

D = cantidad de N aplicada (como fertilizante, residuos, etc.)
R = rendimiento de la porción cosechada del cultivo con la aplicación de N
R₀ =rendimiento del tratamiento control sin la aplicación de N
U_C = contenido de N de la porción cosechada del cultivo
U = acumulación total de N en la biomasa aérea del cultivo con la aplicación de N
U₀ = acumulación total de N en la biomasa aérea del cultivo sin aplicación de N

Es conocido que el N que se aplica al suelo con los fertilizantes y/o residuos de corral es utilizado en forma ineficiente por la mayoría de los cultivos. Se ha calculado que la eficiencia de uso de N es de 50 % o menos, esta eficiencia de uso se puede incrementar a 60 o 70 % con mejor manejo en muchos sistemas de cultivo del mundo(Cassman, Dobermann, & Walters, 2002; Snyder, 2009). Este incremento en la recuperación de N por los cultivos puede reducir las pérdidas potenciales de N que amenazan los recursos agua y aire y que reducen la rentabilidad del cultivo (Snyder et al., 2007).

En general, en las áreas con pastos cultivados de Santo Domingo de los Tsáchilas se usa muy poco o no se utilizan fertilizantes, tanto minerales como

orgánicos para nutrir los forrajes, en consecuencia, la producción de materia seca es muy baja en relación a lo que se supone sería el rendimiento alcanzable para las condiciones agroclimáticas de la región. El determinar el rendimiento potencial de las principales *Brachiaria* utilizadas en la región cultivadas sin ninguna limitación de nutrientes, así como el rendimiento de las parcelas de omisión, particularmente N, permitirá hacer un primer avance hacia la determinación de dosis de N que permitan una buena producción de MS haciendo uso más eficiente del N aplicado.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del experimento

La presente investigación se realizó en la Granja Experimental. El Oasis, propiedad de la Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo de los Tsáchilas en el año 2013 - 2014. La Granja se encuentra ubicada en el km 4, de la carretera a San Jacinto del Búa, a 0°13,29' de latitud sur, 79° 15,83' de longitud oeste y a 416 m de altitud sobre el nivel del mar. Los suelos de la zona están clasificados como Andisoles debido a que se formaron sobre depósitos de ceniza volcánica. El clima de la localidad se caracteriza por tener una temperatura media anual de 23,5 C y precipitaciones anuales de 2,600 a 2,800 mm durante los seis primeros meses del año, luego se inicia la una época seca que se acentúa a medida que pasan los meses (Dirección de Aviación Civil Aeropuerto de Santo Domingo, 2013).

3.2. Características del experimento 1

En este experimento se trabajó con parcelas de omisión para adquirir la información del Rendimiento Obtenible y del Rendimiento Posible cuando se omite la aplicación de nutrientes al suelo.

3.2.1. Definición de los tratamientos

Los factores en estudio fueron las cuatro variedades de *Brachiaria*: *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mulato II*, *Brachiaria marandú*, y *Brachiaria xaraés* (factor A) y los tratamientos de manejo de nutrientes consistentes en parcelas de omisión de N, P, K, Ca, Mg y S, pero que tienen cantidades suficientes de los nutrientes que no son omitidos y la parcela completa en la que se colocan todos los nutrientes en cantidades suficientes para que no limiten el crecimiento de las pasturas estudiadas (factor B). La descripción de los tratamientos de manejo de nutrientes se presenta en la tabla 3.3 y los fertilizantes utilizados para lograr los tratamientos de omisión se presentan en la tabla 4.3.

Tabla 3.3. Descripción de la estructura de las parcelas de omisión de nutrientes y de la parcela con fertilización completa

Trat. de Omisión	Dosis de nutrientes kg ha ⁻¹	Descripción
-N	90 P ₂ O ₅ - 70 K ₂ O - 60 MgO - 50 SO ₄ , - 90 CaO	Parcela de omisión de N, con la aplicación de suficiente cantidad de P, K, Mg, S y Ca, utilizada para medir el suplemento efectivo de N nativo del suelo (rendimiento de <i>Brachiaria</i> cuando no se aplica N).
-P	120 N - 70 K ₂ O - 60 MgO - 50 SO ₄ , - 90 CaO	Parcela de omisión de P, con la aplicación de suficiente cantidad de N, K, Mg, S y Ca, utilizada para medir el suplemento efectivo de P nativo del suelo (rendimiento de <i>Brachiaria</i> cuando no se aplica P).
-K	120 N - 90 P ₂ O ₅ - 60 MgO - 50 SO ₄ , - 90 CaO	Parcela de omisión de K, con la aplicación de suficiente cantidad de N, P, Mg, S y Ca, utilizada para medir el suplemento efectivo de K nativo del suelo (rendimiento de <i>Brachiaria</i> cuando no se aplica K).
-Mg	120 N - 90 P ₂ O ₅ - 70 K ₂ O - 50 SO ₄ , - 90 CaO	Parcela de omisión de Mg, con la aplicación de suficiente cantidad de N, P, K, S y Ca, utilizada para medir el suplemento efectivo de Mg nativo del suelo (rendimiento de <i>Brachiaria</i> cuando no se aplica Mg).
-S	120 N - 90 P ₂ O ₅ - 70 K ₂ O - 60 MgO - 90 CaO	Parcela de omisión de S, con la aplicación de suficiente cantidad de N, P, K, Mg y Ca, utilizada para medir el suplemento efectivo de S nativo del suelo (rendimiento de <i>Brachiaria</i> cuando no se aplica S).
-Ca	120 N - 90 P ₂ O ₅ - 70 K ₂ O - 60 MgO - 50 SO ₄ ,	Parcela de omisión de Ca, con la aplicación de suficiente cantidad de N, P, K, Mg y S, utilizada para medir el suplemento efectivo de Ca nativo del suelo (rendimiento de <i>Brachiaria</i> cuando no se aplica Ca).
Completo	120 N - 90 P ₂ O ₅ - 70 K ₂ O - 60 MgO - 50 SO ₄ , - 90 CaO	Parcela con aplicación de todos los nutrientes, N,P,K,S,Mg y Ca, utilizada para determinar el rendimiento potencial y definir la brecha de rendimiento entre este tratamiento y el rendimiento de cada una de las parcelas de omisión.

* En el caso de la parcela completa, las dosis de nutrientes son lo suficientemente altas para evitar que la nutrición limite la expresión del potencial de rendimiento de la *Brachiaris* estudiadas. Lo mismo sucede con las parcelas de omisión, es decir, determinar el rendimiento de pasto sin la aplicación de un nutriente, pero con adecuado suministro de los otros nutrientes.

3.2.2. Fertilizantes utilizados en el experimento

Las dosis y las fuentes de los nutrientes utilizados en las parcelas de omisión y en las parcelas con fertilización completa se describen en la tabla 3.4. Como se indicó anteriormente, en este estudio se colocan suficientes nutrientes de modo que el rendimiento sea solamente limitado por el nutriente omitido.

Tabla 3.4. Dosis de nutrientes para las parcelas de omisión

Fuentes de los nutrientes	Composición (%)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	Ca
Urea	46					
Fertiphos plus		20		2	12	20
Sulpomag (Kmag)			22	18	22	
Muriato de K (KCl)			62			
Sulfato de amonio	21				24	
Nitrato de calcio	15					26
Oxido de Mg				57		
MAP	11	52				

3.2.3. Descripción del área experimental

El sitio experimental ocupó un área dentro de en la Granja experimental El OASIS que estuvo sembrada con *Brachiaria decumbens*. Las características particulares del área experimental se presentan en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Características del área experimental

Área total del experimento, m ²	559
Tamaño de parcela, m	2 × 2,5
Área total de parcela, m ²	5
Variedades de <i>Brachiaria</i>	4
Tratamientos de fertilización	7
Número de repeticiones	3
Número de unidades experimentales	84
Área experimental efectiva, m ²	420

3.2.4. Diseño Experimental

Se evaluaron siete tratamientos de manejo de nutrientes y cuatro variedades *Brachiaria* en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial con tres repeticiones (4x7), quedando 28 combinaciones de tratamientos distribuidos aleatoriamente en tres repeticiones.

3.2.5. Modelo Estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + G_j + F_k + (GF)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

μ = Media General

β_i = Efecto del bloque (Terreno)

G_j = Efecto del Genotipo variedad de *Brachiaria* (4 Variedades)

F_k = Efecto de fertilización

(GF) = Efecto interacción genotipo x fertilización

ε_{ijk} = Error aleatorio

El esquema de análisis de varianzas utilizado para analizar las variables del experimento se presenta en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. El esquema del ADEVA

Fuentes de Variación	Grados de Libertad
Total	83
Bloques	2
Genotipo (A)	3
Tratamientos (B)	6
AxB	18
Error	54

Se realizó una prueba de Tukey para encontrar el mejor tratamiento para cada variedad.

3.2.6. Descripción de las variables estudiadas

Altura de Planta (cm). Se midió la altura desde el suelo hasta el punto más alto de la planta seleccionando 10 plantas al azar dentro de la parcela neta.

Producción de Materia Verde (MV) (t ha⁻¹). Se cortó todo el pasto de la parcela neta, a una altura de 15cm, simulando el aprovechamiento del ganado. Se pesó y se calculó el peso de MV ha⁻¹.

Producción de Materia Seca (t ha⁻¹). Se tomó una sub muestra de materia verde y se la dejó secar a la estufa a 60°C hasta obtener peso constante. Con estos datos se calculó el peso de la MS ha⁻¹.

3.2.7. Manejo agronómico del experimento

3.2.7.1. Establecimiento del cultivo

Primero se procedió a controlar el pasto *B. decumbens* que cubría originalmente todo el lote con el uso de glifosato. Se realizó dos veces para que las parcelas experimentales no se contaminen con el pasto original del lote. Las parcelas experimentales se establecieron a finales de Julio del 2012 mediante la siembra directa de las semillas de las variedades de Brachiaria. El material se sembró en surcos de 0,50 m de distanciamiento y consistió en colocar semillas a chorro continuo en una zanja superficial de 3 cm de ancho y 1 cm de profundidad y se procedió a taparlas. Cuando emergieron todas las plantas se procedió a realizar un raleo general para dejar una población uniforme.

3.2.7.2. Cortes de igualación

A los de los 80 días de la emergencia de las plantas se realizó un corte de

igualación para que todas las unidades experimentales inicien el rebrote al mismo tiempo.

3.2.7.3. Control de malezas

Periódicamente se realizó el control de malezas, utilizando una moto guadaña, en los caminos ubicados entre las parcelas experimentales para lograr el crecimiento normal de las plantas y evitar su contaminación con materiales extraños.

3.2.7.4. Fertilización

Dos días después de haber realizado el corte de igualación se procedió a fertilizar cada una de las parcelas experimentales con los tratamientos presentados en la tabla 3.3, utilizando los materiales que se presentan en la tabla 3.4.

3.2.7.5. Cosecha

Se realizaron cinco cosechas cada 45 días. Se procedió al corte de la biomasa a una altura de 15 cm, luego pesamos la MV directamente en el campo. Después secamos la muestra en una estufa a 60 °C hasta lograr peso constante. Con estos datos calculamos el peso por hectárea de MV y MS que representan el rendimiento obtenible en el sitio sin ninguna limitación nutricional y el rendimiento de las parcelas de omisión. Estos datos sirvieron para determinar la Eficiencia Agronómica (EA) y la dosis de nutrientes a aplicar en la siguiente temporada.

3.3. Características del experimento 2

Este experimento se realizó conjuntamente con el experimento 1 y busca definir la Eficiencia Agronómica del N (EA_N) en las diferentes *Brachiaria* en estudio.

3.3.1. Definición de los tratamientos

Los tratamientos de este experimento son dosis de N (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150

y 175 kg de N ha⁻¹) aplicadas cada una de las variedades de *Brachiaria* estudiadas. La fuente de N utilizada fue urea (46 % de N) y los demás nutrientes se aplicaron en las mismas dosis que se utilizaron en la parcela de fertilización completa. Con esto se asegura que los otros nutrientes no limiten la respuesta a N.

3.3.2. Diseño Experimental

Los datos de este experimento se analizaron estadísticamente mediante correlaciones y regresiones que permitieron definir la significancia de la relación entre MV y MS con las dosis de N y calcular la curva de respuesta a N.

3.3.3. Manejo agronómico del experimento

En este experimento solamente se evaluó un corte a los 45 después del corte de igualación. El manejo agronómico y las variables medidas fueron iguales a los del experimento 1.

En el anexo I se presenta una descripción gráfica de los pasos tomados durante la conducción de los experimentos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1

4.1.1. Altura de la planta

La altura de las plantas de las variedades de *Brachiaria* evaluadas puede ser un parámetro que permita definir el potencial de producción de estas nuevas pasturas en el ambiente agroecológico de las zonas ganaderas de Santo Domingo de los Tsáchilas. El análisis de varianza de los resultados de la medición de la altura de plantas, durante cinco cosechas consecutivas, de las variedades de *Brachiaria* evaluadas durante el experimento se presenta en la tabla 4.7. En las cinco cosechas se observa alta significancia estadísticas entre las variedades de *Brachiaria* (Factor A) y el efecto de omisión de nutrientes (Factor B), mientras que se observa interacción entre variedades de *Brachiaria* y omisión de nutrientes en la primera y tercera cosecha. Los coeficientes de variación fueron de 5,7, 8,0, 8,8, 10,0 y 9,7 %, de la primera a la quinta cosecha, respectivamente.

Tabla 4.7. Análisis estadístico de la variable altura de planta

Fuentes de variación	GL	Altura de planta (cm)				
		Primera Cosecha	Segunda Cosecha	Tercera Cosecha	Cuarta Cosecha	Quinta Cosecha
Total	83					
Variedades (Factor A)	3	115,25 **	29,56 **	80,40 **	45,68 **	34,86 **
Omisión (Factor B)	6	49,90 **	12,79 **	7,00 **	9,70 **	10,03 **
Variedad(A)*Omisión (B)	18	2,67 **	1,23	2,66 **	1,34	0,57
Repeticiones	2	17,91	0,76	4,30	0,86	9,48
Error	54					
Coeficiente de variación (%)		5,7	8,0	8,8	10,0	9,7

El efecto de los tratamientos de omisión de nutrientes y del tratamiento la nutrición completa fue evidente en la altura de las variedades de *Brachiaria* como se

observa en la tabla 4.8 donde se presenta la comparación de los resultados de esta variable medida en todos los materiales evaluados durante cinco cosechas consecutivas.

Tabla 4.8. Comparación del efecto de la omisión de nutrientes y la fertilización completa en la altura de la planta de cuatro variedades de *Brachiaria* en cinco cortes

Tratamientos	Primera cosecha	Segunda cosecha	Tercera cosecha	Cuarta cosecha	Quinta cosecha
----- <i>Altura de planta, cm</i> -----					
<i>Decumbens</i>					
- N	69 ^b	79 ^b	73 ^b	68 ^b	60 ^b
- P	87 ^a	84 ^a	75 ^a	73 ^a	71 ^a
- K	82 ^a	87 ^a	73 ^b	70 ^b	67 ^a
- Mg	88 ^a	86 ^a	82 ^a	68 ^b	70 ^a
- S	78 ^b	86 ^a	77 ^a	78 ^a	67 ^a
- Ca	86 ^a	83 ^a	65 ^b	72 ^a	67 ^a
Completo	88 ^a	92 ^a	88 ^a	87 ^a	80 ^a
<i>Mulato II</i>					
- N	52 ^b	65 ^b	62 ^b	58 ^c	46 ^c
- P	71 ^a	79 ^a	65 ^b	57 ^c	55 ^b
- K	69 ^a	85 ^a	68 ^b	67 ^b	58 ^b
- Mg	71 ^a	77 ^a	55 ^c	61 ^b	58 ^b
- S	65 ^a	88 ^a	62 ^b	63 ^b	55 ^b
- Ca	75 ^a	82 ^a	55 ^c	58 ^c	52 ^b
Completo	75 ^a	85 ^a	72 ^a	78 ^a	65 ^a
<i>Marandú</i>					
- N	42 ^c	58 ^b	57 ^b	57 ^c	47 ^b
- P	71 ^a	80 ^a	52 ^c	56 ^c	50 ^b
- K	60 ^b	80 ^a	56 ^b	51 ^c	48 ^b
- Mg	79 ^a	79 ^a	53 ^c	62 ^b	52 ^b
- S	74 ^a	82 ^a	55 ^c	62 ^b	56 ^b
- Ca	70 ^a	93 ^a	68 ^b	71 ^b	52 ^b
Completo	81 ^a	82 ^a	70 ^a	73 ^a	68 ^a
<i>Xaraés</i>					
- N	71 ^b	80 ^c	74 ^c	78 ^b	61 ^c
- P	87 ^a	91 ^b	78 ^b	70 ^b	64 ^b
- K	89 ^a	101 ^a	88 ^a	83 ^b	68 ^a
- Mg	93 ^a	98 ^a	88 ^a	90 ^a	70 ^a
- S	89 ^a	100 ^a	90 ^a	87 ^a	65 ^b
- Ca	91 ^a	104 ^a	83 ^a	87 ^a	63 ^b
Completo	99 ^a	104 ^a	92 ^a	95 ^a	73 ^a

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En todas las variedades de *Brachiaria* se observa la respuesta a la aplicación de la dosis completa de nutrientes indicando el claro efecto de la nutrición balanceada en la altura de la planta. Los valores de altura en este tratamiento varían de acuerdo a la variedad evaluada.

La media de la altura de los cinco cortes con fertilización completa de *B. decumbens* fue de 87 cm y el valor más alto, obtenido en el segundo corte, fue de 92 cm (tabla. 4.8), valores más altos a los reportados en la literatura. Los valores de altura de parcelas bien fertilizadas en un estudio en el Cantón Francisco de Orellana, Ecuador, fueron de 68 cm a los 45 días de corte (Llerena, 2008), mientras que otro estudio similar en Córdova, Colombia reportó promedios de 80 cm (Combatt, Jarma, & Maza, 2008).

Por otro lado, en este estudio la media de la altura de la planta de *mulato II* en la parcela con fertilización completa fue de 75 cm y el valor más alto fue de 85 cm en el segundo corte (tabla 4.8). Reportes de la literatura en parcelas con buena fertilización reportan valores de 75 cm en Chiriquí, Panamá (Pinzón & Santamaría, 2005) y de 100 cm en las sabanas de Colombia (Pizarro, do Valle, Keller, SchultzeKraft, & Zimmer, 1998).

La altura promedio del pasto *marandú* lograda en las parcelas con fertilización completa en el experimento fue de 75 y el valor más alto, obtenido en el segundo corte, fue de 82 cm (tabla 4.8). Valores de altura de planta reportados para experimentos en Honduras indican alturas de 80 cm para este cultivar (Argel et al., 2002).

En este experimento, el pasto *xaraés* alcanzó una altura promedio, para los cinco, cortes de 93 cm en la parcela con fertilización completa, mientras que la mayor altura fue de 104 cm en el segundo corte (tabla 4.8). Un experimento conducido en Santo Domingo reportó alturas de 89 cm en las parcelas con buena fertilización de este cultivar (Jácome & Suquilanda, 2010), pero se ha reportado que en los trópicos el *xaraés* puede alcanzar alturas hasta de 160 cm en crecimiento prolongado (Cardona, Sotelo, & Milles, 2000).

Los valores de altura de la planta de las parcelas de omisión de N fueron consistentemente los más bajos, en todas las variedades de *Brachiaria* (tabla 4.8). Para comparación, los promedios de altura de planta se presentan en la figura 4.3.

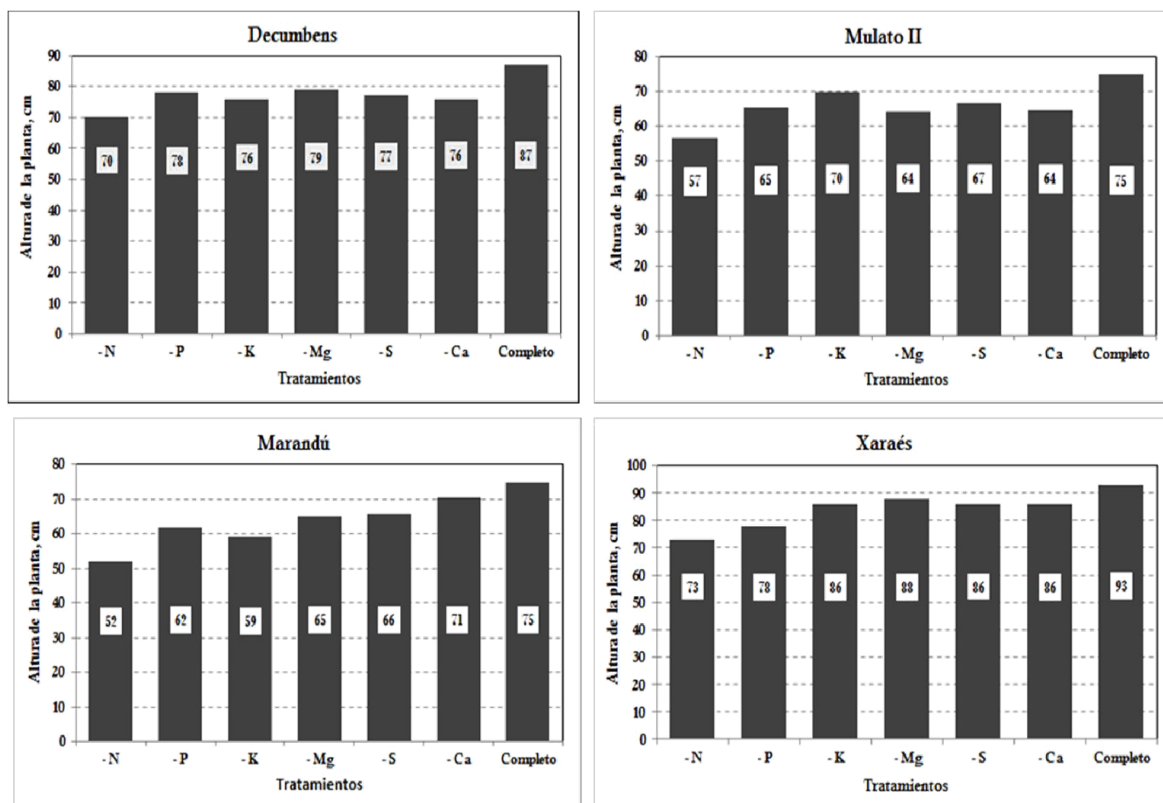


Fig 4.3. Promedios de altura de planta de cinco cortes de las variedades de *Brachiaria* evaluadas

El efecto de la omisión de los otros nutrientes fue variable, dependiendo del tipo de *Brachiaria*, y en ningún momento fueron iguales a menores a las alturas conseguidas en las parcela de omisión de N. Este comportamiento tiene un efecto muy marcado en el rendimiento como se discute más adelante.

4.1.2. Producción de materia verde

Uno de los objetivos de este estudio es determinar el potencial de rendimiento de las variedades de *Brachiaria* en el agro-eco-sistema prevalente en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas donde está ubicado el experimento. Se considera que este agro-eco-sistema representa la región del trópico húmedo de la costa ecuatoriana. En la tabla 4.9, se presentan los resultados del análisis estadístico del

peso de MV. El análisis de varianza de esta variable demostró que existen diferencias altamente significativas entre la producción de MV de las variedades de pasto *Brachiaria* (Factor A), de igual manera, el efecto de la omisión de nutrientes en el peso de MV de las variedades evaluadas (Factor B) fue altamente significativo. Se observaron también interacciones entre los factores en estudio. Los coeficientes de variación de la evaluación del peso de MV fueron 7,2; 7,1; 10,2; 8,2 y 8,9% del primero al quinto corte, respectivamente.

Tabla 4.9. Análisis Estadístico de la variable materia verde

Fuentes de variación	GL	Producción de materia verde (kg ha ⁻¹)				
		Primera Cosecha	Segunda Cosecha	Tercera Cosecha	Cuarta Cosecha	Quinta Cosecha
Total	83					
Variedades (Factor A)	3	29,59 **	19,83 **	4,44 **	13,98 **	20,13 **
Omisión (Factor B)	6	106,93 **	66,25 **	28,87 **	46,53 **	22,05 **
Variedad(A)*Omisión (B)	18	10,58 **	4,88 **	4,13 **	7,40 **	2,18 *
Repeticiones	2	33,93	6,95	9,18	3,72	0,66
Error	54					
Coeficiente de variación (%)		7,2	7,1	10,2	8,2	8,9

El potencial de rendimiento se evalúa en las condiciones agro-eco-climáticas deseadas evitando que existan limitaciones que impidan que este potencial genético de acumulación de biomasa se exprese (Cassman et al., 2002; Yang et al., 2004). Para lograr esto es importante controlar la nutrición del cultivo, así como el suplemento de agua y el ataque de plagas. En las condiciones en las que se planteó el experimento, el suplemento de agua depende de las condiciones climáticas del sitio experimental, es decir, se basa en el suplemento estacional de agua de la región de Santo Domingo y es precisamente en estas condiciones en las que se buscó determinar el rendimiento potencial de las variedades de pasto *Brachiaria*. La nutrición está controlada con la aplicación de las dosis de nutrientes utilizadas en la parcela con fertilización completa y en el sitio no aparecieron ataques de plagas o enfermedades. En el caso de pasturas, la MV es el objetivo final de la producción, ya que esta biomasa es la que sirve

para la alimentación de los animales, ya sea por pastoreo directo o por corte para animales estabulados. El rendimiento obtenido con la parcela con fertilización completa, así como los rendimientos obtenidos en las parcelas con omisión de nutrientes se presentan en la tabla 4.10.

El rendimiento promedio de MV de los cinco cortes de *B. decumbens*, con el tratamiento de fertilización completa, fue de 28311 kg ha⁻¹ (figura 4.4) y el mayor rendimiento, obtenido en el cuarto corte, fue de 33120 kg ha⁻¹ (tabla 4.10). Estos datos son difíciles de comparar con otros datos en la literatura por la diferencia en los días de evaluación reportados por otros autores. Sin embargo, datos de un experimento conducido en la misma zona reportan una producción promedio de MV de 153 t ha⁻¹ en 12 meses de producción, lo que equivaldría a 19.1 t ha⁻¹ cada 45 días (Jácome & Suquilanda, 2010). El dato promedio de producción de MV con el tratamiento sin limitaciones nutricionales caracteriza bien el potencial de rendimiento del material estudiado, es decir, se podría asumir con bastante seguridad que el potencial de rendimiento de la variedad *Brachiaria decumbens* es de alrededor de 28 t ha⁻¹ de MV, para cortes de 45 días, en la región del trópico húmedo de Santo Domingo de los Tsáchilas.

El rendimiento promedio de cinco cortes, cada 45 días, de *Brachiaria híbrido* (*mulato II*) con fertilización completa fue de 33530 kg ha⁻¹ y representa el potencial de rendimiento de este material en la zona de estudio (figura 4.4). El mayor rendimiento, obtenido en el cuarto corte, fue de 44293 kg ha⁻¹ (tabla 4.10). Los rendimientos de MV de pasto *mulato II* (*Brachiaria híbrido*), obtenidos en parcelas fertilizadas en el Cauca, Colombia, fueron de 35000 kg ha⁻¹, muy cercanos a los logrados en este estudio (Gómez-Carabalí et al., 2010).

Tabla 4.10. Comparación del efecto de la omisión de nutrientes y la fertilización completa en la producción de materia verde de cuatro variedades de *Brachiaria* en cinco cortes sucesivos

Tratamientos	Primera cosecha	Segunda cosecha	Tercera cosecha	Cuarta cosecha	Quinta cosecha
----- <i>Materia verde, kg ha⁻¹</i> -----					
<i>Decumbens</i>					
- N	14880 ^b	14033 ^c	18020 ^b	25040 ^a	16667 ^b
- P	25720 ^a	30840 ^a	25367 ^a	29807 ^a	23027 ^a
- K	22393 ^a	28367 ^a	23900 ^a	23240 ^b	19907 ^a
- Mg	25247 ^a	27327 ^a	20147 ^a	23093 ^b	16927 ^b
- S	20320 ^a	28533 ^a	24560 ^a	25620 ^a	20893 ^a
- Ca	24053 ^a	24127 ^b	20020 ^a	28847 ^a	20553 ^a
Completo	25120 ^a	32373 ^a	26780 ^a	33120 ^a	24160 ^a
<i>Mulato II</i>					
- N	14387 ^b	19740 ^b	20333 ^c	27113 ^b	19013 ^b
- P	26607 ^a	32533 ^a	24960 ^b	27960 ^b	22207 ^a
- K	27033 ^a	33460 ^a	26367 ^b	29460 ^b	23040 ^a
- Mg	22673 ^a	32507 ^a	22447 ^b	29747 ^b	23747 ^a
- S	22567 ^a	35087 ^a	25560 ^b	28040 ^b	22707 ^a
- Ca	24513 ^a	30060 ^a	20573 ^c	22160 ^c	22947 ^b
Completo	26207 ^a	35227 ^a	33407 ^a	44293 ^a	28527 ^a
<i>Marandú</i>					
- N	9300 ^e	20067 ^c	17847 ^b	22633 ^b	16727 ^b
- P	22627 ^b	34147 ^a	19107 ^b	23753 ^b	19133 ^b
- K	17973 ^d	32733 ^a	21907 ^a	23687 ^b	19187 ^b
- Mg	24893 ^a	24020 ^b	20853 ^b	23540 ^b	17340 ^b
- S	26500 ^a	29740 ^a	25960 ^a	26833 ^b	24180 ^a
- Ca	21440 ^c	35067 ^a	25833 ^a	29027 ^b	18220 ^b
Completo	23687 ^a	35567 ^a	29360 ^a	40787 ^a	25027 ^a
<i>Xaraés</i>					
- N	9887 ^d	23073 ^e	17393 ^c	26687 ^c	17053 ^b
- P	22240 ^c	29087 ^c	17940 ^c	22347 ^d	16593 ^b
- K	25547 ^b	31340 ^a	24933 ^a	32180 ^b	19013 ^b
- Mg	27980 ^a	26493 ^d	22427 ^b	31080 ^b	17900 ^b
- S	31300 ^a	30093 ^b	31307 ^a	32747 ^a	19380 ^a
- Ca	31040 ^a	34287 ^a	27693 ^a	33320 ^a	19573 ^a
Completo	31587 ^a	34847 ^a	31320 ^a	37180 ^a	23500 ^a

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

La producción promedio de MV de cinco cortes, cada 45 días, del pasto *Brachiaria marandú*, en las parcelas con fertilización completa fue de 30885 kgha⁻¹ (figura

4.4), producción que representa el potencial de rendimiento de MV de este material en la zona de estudio. El mayor rendimiento, obtenido en el cuarto corte, fue de 40787 kg ha⁻¹ (tabla 4.10).

Las parcelas con fertilización completa produjeron, cada 45 días, un rendimiento promedio de 31687 kg ha⁻¹ de *Brachiaria brizantha xaraés* (figura 4.4), lo que representa el rendimiento potencial de este material para la zona. La parcela de mayor rendimiento obtuvo 37180 kg ha⁻¹ en el cuarto corte (tabla 4.10). Experimentos con pasto *xaraés* en el Cauca, Colombia reportan rendimientos de MV de 33800 kg ha⁻¹ en parcelas con fertilización completa (Gómez-Carabalí et al., 2010).

Por otro lado, los rendimientos obtenidos en las parcelas de omisión de N siempre fueron los menores, tanto en las diferentes variedades como en cada uno de los cortes y, en todos los casos, estas producciones fueron estadísticamente diferentes de los rendimientos de MV obtenidos en las parcelas de omisión de otros nutrientes (tabla 4.10). Esto demuestra claramente que el nutriente más importante para la producción de *Brachiaria* en la región de Santo Domingo de los Tsáchilas es el N. Esta condición era de esperarse si se toma en cuenta las características de movilidad de este nutriente en el suelo, particularmente en zonas que reciben abundante precipitación (Bernal & Espinosa, 2003). En la figura 4.4. Se presentan los rendimientos promedio de las parcelas de omisión de N en las cuatro variedades de *Brachiaria* evaluadas. Esta es la información que se utilizará más adelante para la determinación de la recomendación de aplicación de N en los pastos evaluados.

Los rendimientos de *Brachiaria* obtenidos con la omisión de otros nutrientes no fueron consistentes como aquellos obtenidos con la omisión de N y las diferencias con la parcela de fertilización completa fueron mucho más bajas y en muchos casos no fueron estadísticamente diferentes (tabla 4.10). Esta condición era también de esperarse si se considera que en los pastos hay un alto reciclamiento de nutrientes por la continua descomposición de raíces y material superficial que

pasa a ser un aporte importante para la nutrición de los pastos (Ara et al., 2004; Bernal, 2008; Bernal & Espinosa, 2003).

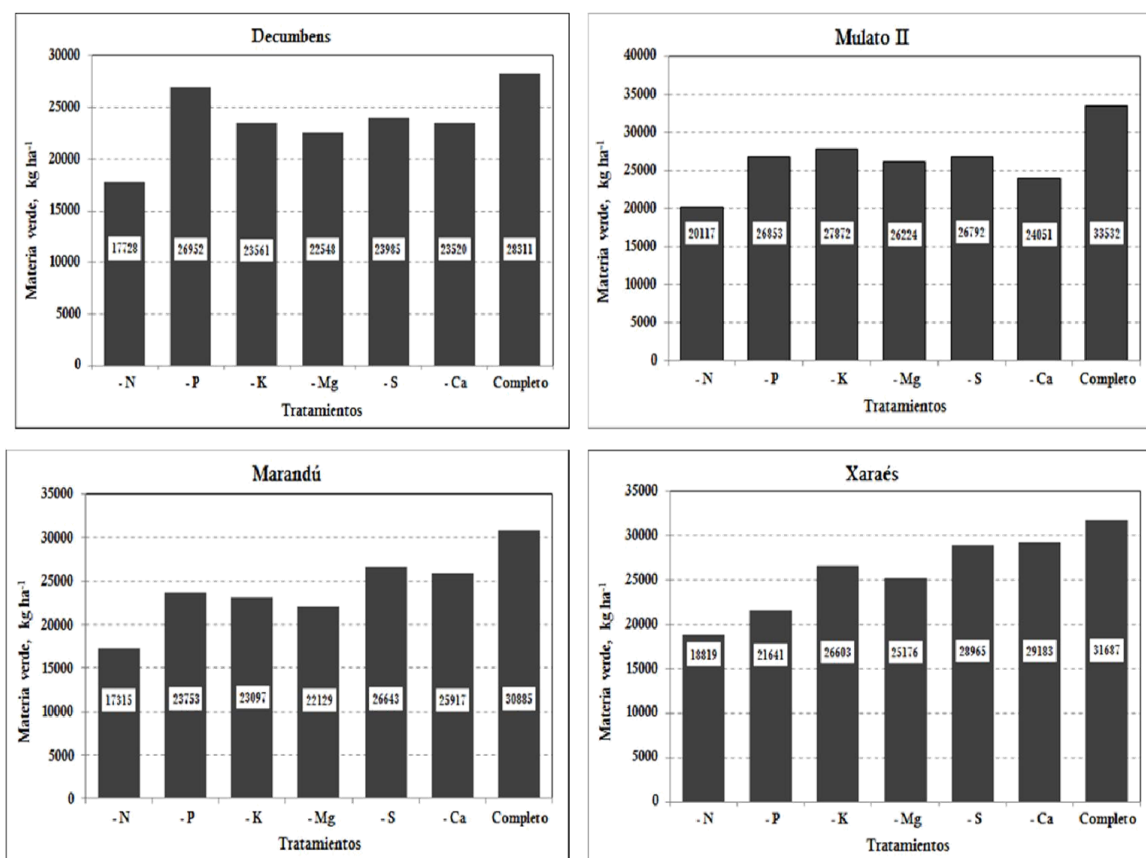


Fig 4.4. Promedios de producción de materia verde de cinco cortes de las variedades de *Brachiaria* evaluadas

4.1.3. Producción de materia seca

La determinación de la producción de materia seca (MS) es importante para ajustar la nutrición de los animales, pero en el caso de este estudio se podría utilizar para determinar la absorción total de nutrientes, evaluación que no está prevista en los objetivos del experimento. Sin embargo, se procede a presentar los resultados obtenidos que luego podría servir como fuente de información para otros estudios. El análisis estadístico de esta variable muestra diferencias altamente significativas entre los factores en estudio (tabla 4.11). Hay diferencias en la producción de MS entre las variedades de *Brachiaria*, (Factor A) y entre los tratamientos de omisión (Factor B). Los coeficientes de variación se mantuvieron en 7,2, 8,6, 10,3, 7,9 y 9,5 %.

Tabla 4.11. Análisis Estadístico de la variable materia seca

Fuente de variación	GL	Producción de materia seca (kg ha ⁻¹)				
		Primera Cosecha	Segunda Cosecha	Tercera Cosecha	Cuarta Cosecha	Quinta Cosecha
Total	83					
Variedades (Factor A)	3	29,59 **	664,74 **	2,52 *	50,26 **	9,44 **
Omisión (Factor B)	6	106,93 **	40,34 **	28,40 **	51,37 **	23,51 **
Variedad(A)*Omisión (B)	18	10,58 **	6,18 **	4,04 **	6,77 **	1,50
Repeticiones	2	33,93 **	7,38 **	9,18 **	3,82 *	1,41
Error	54					
Coefficiente de variación (%)		7,2	8,6	10,3	7,9	9,5

La tendencia de acumulación de MS como respuesta a la omisión de nutrientes fue, como era de esperarse, igual a la tendencia encontrada para MV en todas las variedades de *Brachiaria* evaluadas en este experimento. La parcela completa representa el rendimiento potencial del material genético en la zona de evaluación y la parcela de omisión de N es la que presenta la menor producción, mientras que el efecto de la omisión de los otros nutrientes tuvo, de igual manera, un comportamiento muy variable, pero siempre fue mayor al tratamiento de omisión de N y, en la mayoría de los casos, estadísticamente iguales al tratamiento completo. En la tabla 4.11. Se presenta el detalle de la respuesta de las variedades de *Brachiaria* a la omisión de nutrientes y en la figura 4.5. Se presentan los promedios de producción de MS.

Tabla 4.12. Comparación del efecto de la omisión de nutrientes y la fertilización completa en la producción de materia seca de cuatro variedades de *Brachiaria* en cinco cortes sucesivos

Tratamientos	Primera cosecha	Segunda cosecha	Tercera cosecha	Cuarta cosecha	Quinta cosecha
----- <i>Materia seca, kg ha⁻¹</i> -----					
----- <i>Decumbens</i> -----					
- N	2976 ^b	646 ^b	3784 ^b	5259 ^a	3388 ^b
- P	5144 ^a	1552 ^a	5158 ^a	6259 ^a	4662 ^a

Tabla 4.12. Comparación del efecto de la omisión de nutrientes y la fertilización completa en la producción de materia seca de cuatro variedades de *Brachiaria* en cinco cortes sucesivos Continuación.....

- K	4479 ^a	1522 ^a	5019 ^a	4880 ^b	4441 ^a
- Mg	5049 ^a	1613 ^a	4204 ^a	4849 ^b	3506 ^b
- S	4064 ^a	1464 ^a	4231 ^a	5380 ^a	4256 ^a
- Ca	4811 ^a	970 ^b	5327 ^a	6058 ^a	4222 ^a
Completo	5024 ^a	1556 ^a	5624 ^a	6955 ^a	5302 ^a
<i>Mulato II</i>					
- N	2877 ^c	3744 ^c	4067 ^c	5423 ^b	3527 ^b
- P	5321 ^b	6363 ^b	4992 ^b	5592 ^b	4263 ^b
- K	5407 ^b	6345 ^b	5273 ^b	5892 ^b	4500 ^a
- Mg	4535 ^b	6225 ^b	4489 ^b	5949 ^b	4580 ^a
- S	4513 ^b	6840 ^b	5112 ^b	5608 ^b	4337 ^b
- Ca	4903 ^b	5595 ^b	4115 ^c	4432 ^c	4401 ^b
Completo	5241 ^a	6529 ^a	6681 ^a	8859 ^a	5567 ^a
<i>Marandú</i>					
- N	1860 ^e	4013 ^c	3569 ^b	4527 ^b	3240 ^a
- P	4525 ^b	6829 ^a	3821 ^b	4751 ^b	3828 ^b
- K	3595 ^d	6547 ^a	4381 ^a	4737 ^b	3878 ^b
- Mg	4979 ^a	4804 ^b	4171 ^b	4570 ^b	3704 ^b
- S	5300 ^a	5948 ^a	5192 ^a	5367 ^b	4516 ^a
- Ca	4288 ^c	7013 ^a	5167 ^a	5805 ^b	3581 ^b
Completo	4737 ^a	7113 ^a	5872 ^a	8157 ^a	5157 ^a
<i>Xaraés</i>					
- N	1977 ^d	4615 ^e	3479 ^c	5992 ^d	3413 ^b
- P	4448 ^c	5817 ^c	3588 ^c	5461 ^d	3375 ^b
- K	5109 ^b	6268 ^a	4987 ^a	7334 ^b	3778 ^b
- Mg	5596 ^a	5299 ^d	4485 ^b	7001 ^c	3627 ^b
- S	6260 ^a	6019 ^b	6261 ^a	7219 ^b	4050 ^a
- Ca	6208 ^a	6857 ^a	5539 ^a	7804 ^b	3982 ^a
Completo	6317 ^a	6969 ^a	6264 ^a	8836 ^a	4829 ^a

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

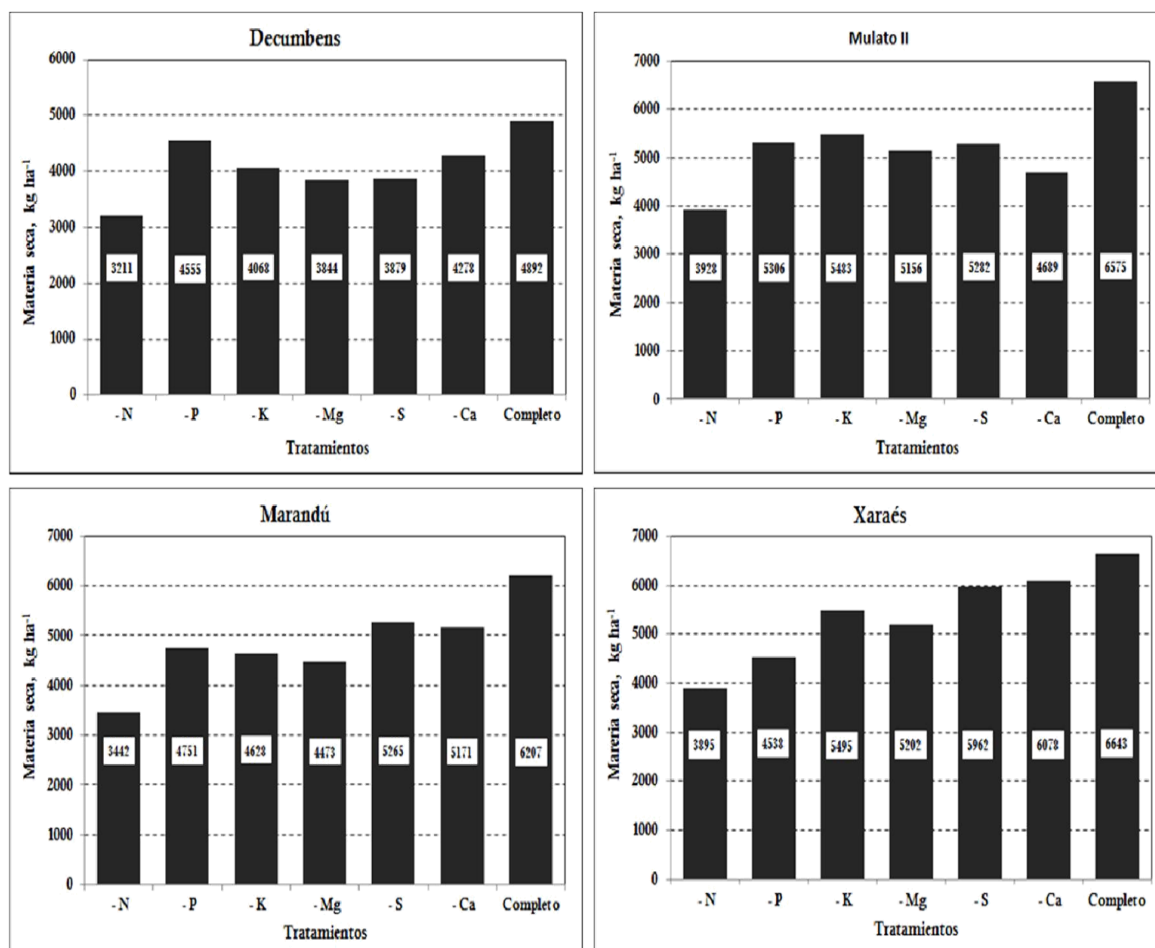


Fig 4.5. Promedios de producción de materia seca de cinco cortes de las variedades

4.2. Experimento 2

4.2.1. Determinación de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno

La Eficiencia Agronómica de Nitrógeno (EAN), en el caso de pastos, se define como la cantidad de MV producida por cada kg de N aplicado como fertilizante (kg de MV de pasto kg^{-1} de N aplicado). Este es un parámetro que determina que tan eficaz ha sido la aplicación de N para la acumulación de biomasa (Cassman et al., 2002; Espinosa & García, 2009; Witt et al., 2006). El análisis de suelos, utilizado como herramienta de diagnóstico para determinar la dosis de N requerida para los cultivos, no funciona adecuadamente en las zonas húmedas del trópico como el área ganadera de Santo Domingo de los Tsáchilas. El N es un nutriente muy dinámico en el suelo debido a que cambia fácilmente de una forma a otra, cambio que es promovido por procesos naturales como nitrificación, denitrificación y

volatilización (Havlin et al., 2014; Mengel & Kirkby, 2000). Es necesario desarrollar herramientas de fácil uso que permitan diseñar recomendaciones para aplicar N a los cultivos, particularmente en la producción de pastos, actividad donde los ganaderos no han sido usuarios corrientes del análisis de suelos, pero, como se demuestra en este estudio, existe una alta respuesta a N.

La única forma de determinar la EAN es conduciendo experimentos que puedan relacionar dosis de N con la producción de MV. Este parámetro se calcula restando la producción de la parcela testigo (R_{N0}) del rendimiento de cualquiera de las dosis estudiadas (R_{NX}) y luego se divide este número para esa misma dosis $[(R_{NX} - R_{N0})/\text{dosis de N}]$ (Espinosa & García, 2009; Fairhurst & Witt, 2002; Witt et al., 2006). De esta forma se logra determinar en qué punto de la curva se logra equilibrar la eficiencia con el rendimiento de MV. Luego, esta información se utiliza para determinar la dosis de N que sería necesario utilizar en cualquier situación donde exista información desarrollada mediante parcelas de omisión de N y una meta de rendimiento determinada también como rendimiento potencial en parcelas sin limitaciones nutricionales para la producción.

4.2.2. Eficiencia agronómica de N de las variedades de *Brachiaria*

En la tabla 4.13. Y en la figura 4.6. Se presenta el detalle de los cálculos de la EAN de la *Brachiaria decumbens* utilizando los datos de la regresión obtenida de la información del experimento de campo con dosis de N. Estos datos sugieren que la EAN está en el rango de 100 – 100 kg MV kg⁻¹ de N aplicado.

Tabla 4.13. Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para *Brachiaria decumbens*

Dosis de N	R_{NX}	R_{N0}	$EAN[(R_{NX}-R_{N0})/\text{dosis N}]$
-----	kg ha ⁻¹	-----	kg MV kg ⁻¹ N
0	14900	14900	
25	18167	14900	131
50	21747	14900	137
75	22680	14900	104
100	24613	14900	97

Tabla 4.13. Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para *Brachiaria decumbens* Continuación.....

125	26433	14900	92
150	27393	14900	83
175	22347	14900	43

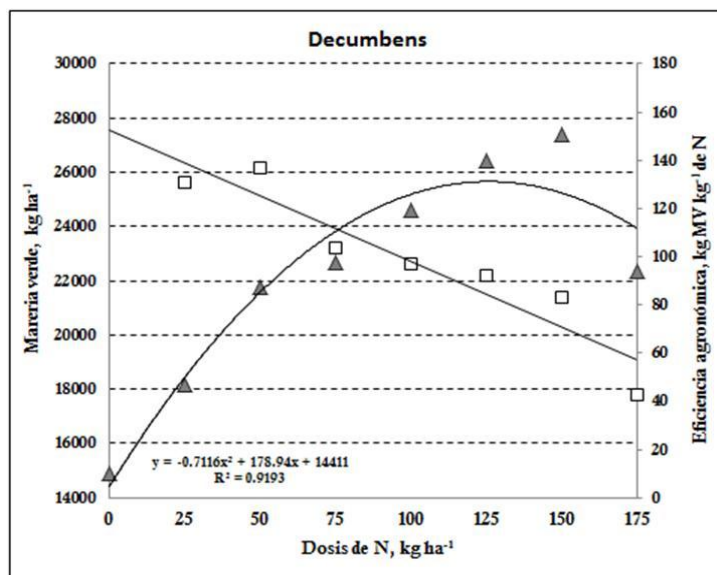


Fig 4.6. Regresión de las dosis de N y la producción materia verde en pasto *Brachiaria decumbens* y representación gráfica del cálculo de EAN

Los datos de la tabla 4.14. Y de la figura 4.7. Sugieren que la EAN del pasto *mulato II* está en un rango de 175 a 180 kg de MV kg⁻¹ N aplicado. Este parámetro será utilizado para calcular la dosis de N a aplicarse para lograr la meta de rendimiento en la zona de estudio como se explicará más adelante.

Tabla 4.14. Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para *Brachiaria mulato II*

Dosis de N	R _{NX}	R _{N0}	EAN[(R _{NX} -R _{N0})/dosis N]
-----	kg ha ⁻¹	-----	kg MV kg ⁻¹ N
0	18193	18193	
25	25467	18193	291
50	27987	18193	196
75	29493	18193	151
100	37033	18193	188
125	34793	18193	133
150	33820	18193	104
175	32860	18193	84

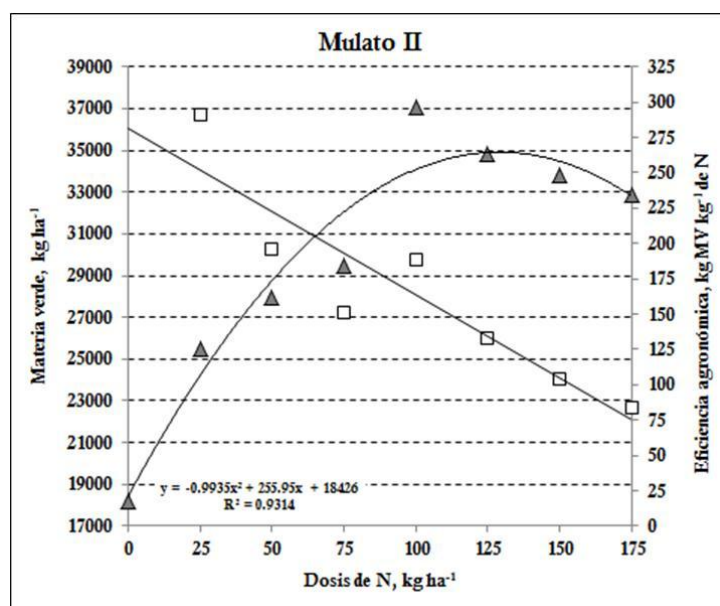


Fig 4.7. Regresión de las dosis de N y la producción materia verde en pasto *Brachiaria mulato II* y representación gráfica del cálculo de EAN

Los datos de la tabla 4.15. Y de la figura 4.8. Sugieren que la EAN del pasto *marandú* está en un rango de 175 a 180 kg de MV kg⁻¹ N aplicado. Este parámetro será utilizado para calcular la dosis de N a aplicarse para lograr la meta de rendimiento en la zona de estudio como se explicará más adelante.

Tabla 4.15. Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para *Brachiaria marandú*

Dosis de N	R _{NX}	R _{N0}	EAN[(R _{NX} -R _{N0})/dosis N]
-----	kg ha ⁻¹	-----	kg MV kg ⁻¹ N
0	15173	15173	
25	22233	15173	282
50	25513	15173	207
75	26100	15173	146
100	27560	15173	124
125	28193	15173	104
150	29193	15173	93
175	26947	15173	67

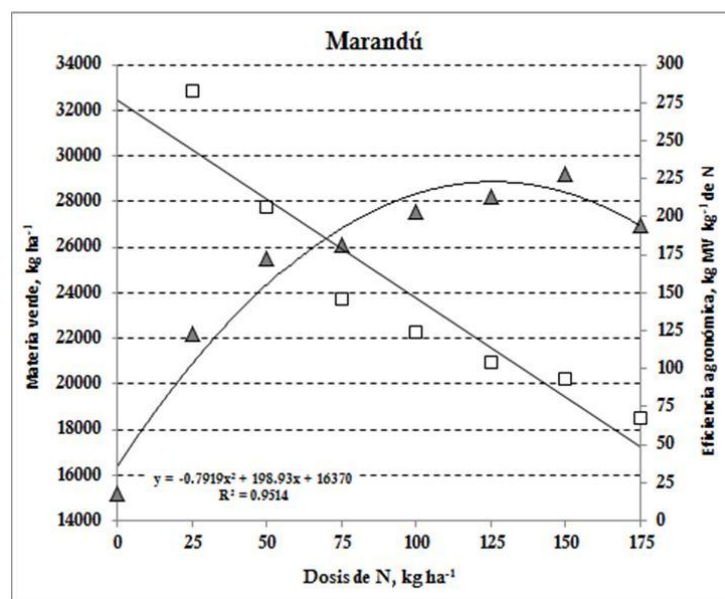


Fig 4.8. Regresión de las dosis de N y la producción materia verde en pasto *Brachiaria marandú* y representación gráfica del cálculo de EAN

Los datos de la tabla 4.16. Y de la figura 4.9. Sugieren que la EAN del pasto *xaraés* está en un rango de 175 a 180 kg de MV kg⁻¹ N aplicado. Este parámetro será utilizado para calcular la dosis de N a aplicarse para lograr la meta de rendimiento en la zona de estudio como se explicará más adelante.

Tabla 4.16. Cálculo de la Eficiencia Agronómica de Nitrógeno para *Brachiaria xaraés*

Dosis de N	R _{Nx}	R _{N0}	EAN[(R _{Nx} -R _{N0})/dosis N]
	kg ha ⁻¹		kg MV kg ⁻¹ N
0	15173	15173	
25	22233	15173	282
50	25513	15173	207
75	26100	15173	146
100	27560	15173	124
125	28193	15173	104
150	29193	15173	93
175	26947	15173	67

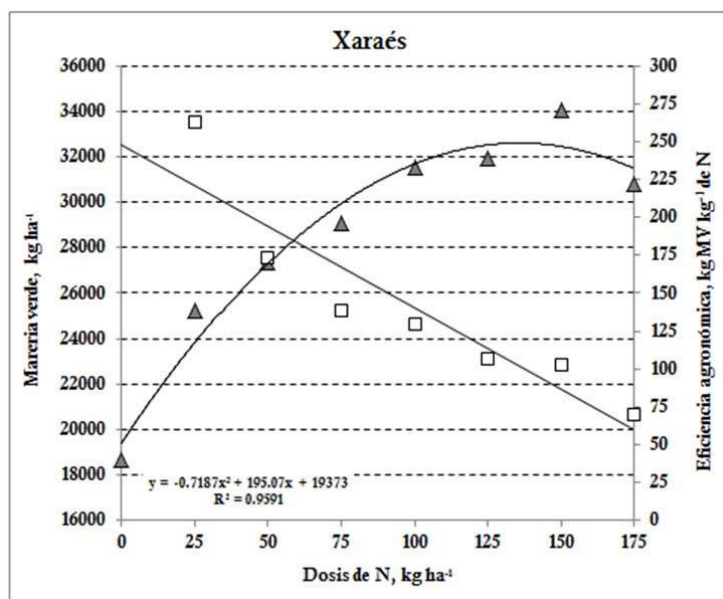


Fig 4.9. Regresión de las dosis de N y la producción materia verde en pasto *Brachiaria xaraés* y representación gráfica del cálculo de EAN

4.3. Determinación de dosis de N a aplicarse

Con la información acumulada en el experimento 1 y en el experimento 2 se puede proceder al cálculo de la dosis de N que debería aplicarse en condiciones agro-eco-climáticas similares a las encontradas en estos experimentos.

El objetivo final de este estudio no es el de determinar la dosis de N, sino más bien desarrollar un modelo mecanístico para generar la información necesaria para satisfacer la necesidades N de los pastos como la *Brachiaria*. Este es un procedimiento que toma en cuenta la respuesta de la planta y no se basa en el análisis de suelos. La planta es la que indica en el campo las necesidades de N del cultivo, tomando también en cuenta el aporte de N nativo del suelo que se refleja en el rendimiento obtenido en la parcela de omisión de N (Espinosa & García, 2009; Fairhurst & Witt, 2002; Witt et al., 2006). Los datos de los experimentos indican claramente que el nutriente más limitante en la producción de pastos en los suelos dedicados a la ganadería de la zona tropical húmeda de Santo Domingo de los Tsáchilas es el N. Los promedios de rendimiento de la parcela completa y los promedio de rendimiento de las parcelas de omisión de N indican que se logra un incremento de alrededor de 50 - 40 % en la producción de

MV con la sola inclusión de N en la nutrición de la planta, estas condiciones de observan en la figura 4.9.

Las EAN obtenidas en el experimento 2 reflejan el potencial de rendimiento que las cuatro variedades de *Brachiaria* demostraron en el campo. La *B. decumbens* tiene una EAN en el rango de 100 – 110 kg MV kg⁻¹ de N aplicado, mientras que las variedades *mulato II*, *marandú* y *xaraés*, tiene una EAN en el rango de 170 a 180 kg MV kg⁻¹ N aplicado. Experimentos conducidos en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas, encontraron esta misma tendencia con estas variedades de *Brachiaria*, demostrando que la *B. decumbens* tiene un potencial de acumulación de biomasa apreciablemente menor que las otras variedades (Garay, 2013; Román, 2013).

La dosis de N se calcula restando del rendimiento de MV en la parcela completa (RN_X) el rendimiento de la parcela de omisión de N (RN₀) y este número se divide para la EAN, dosis = (RN_X – RN₀)/EAN, como se explica en la tabla 4.17. Y en el anexo 2.

Tabla 4.17. Cálculo de la dosis de N a aplicarse a las variedades de pasto *Brachiaria* utilizando los datos promedios de RN_X, RN₀ y EAN

Variedad	RN _X *	RN ₀ *	EAN**	Dosis
	----- kg ha ⁻¹ -----	-----	kg MV kg ⁻¹ N	kg ha ⁻¹
<i>Decumbens</i>	28311	17728	105	101
<i>Mulato II</i>	33532	20117	175	77
<i>Marandú</i>	30885	17315	175	78
<i>Xaraés</i>	31678	18819	175	73

* Los valores de RN_X y RN₀ se obtuvieron de la Figura 4.4.

* Los valores de EAN se obtuvieron de los Cuadros 13, 14, 15 y 16.

Como se indicó anteriormente, utilizando los cálculos descritos en detalle en este documento se puede definir la dosis de N necesaria para mantener la producción de forraje alrededor del rendimiento obtenible (rendimiento potencial) en la zona agro-eco-climática en la cual se condujo el estudio.

El experimento no generó información para calcular la EA de los otros nutrientes, pero la información obtenida con las respectivas parcelas de omisión indicó que la ausencia de estos otros nutrientes no tenía la influencia que tiene N en la acumulación de biomasa, sin embargo, siguen siendo necesarios para que exprese bien la respuesta a N (Havlin et al., 2014; Marschner, 2012).

Por esta razón, es necesario aplicar también estos nutrientes, pero hasta que existan los datos necesarios, se puede generar una recomendación basándose en los datos por las parcelas de omisión. En forma general se tendrían que aplicar 20 kg de P ha⁻¹ que pueden ser suplidos por superfosfato simple (23 % de P₂O₅ y 28 % de CaO) y se puede suplir K, Mg y S con la aplicación de 120 kg ha⁻¹ de kieserita (22 % de K₂O, 16 de MgO y 22 de S). Se pueden también utilizar bioles provenientes del procesamiento de los residuos de corral de las granjas ganaderas, luego de un análisis del contenido de nutrientes del material. De esta forma se cubren todos los nutrientes necesarios para mantener la meta de rendimiento. Esta recomendación es la que debió ser utilizada si se quería fertilizar el pasto luego de los cinco cortes.

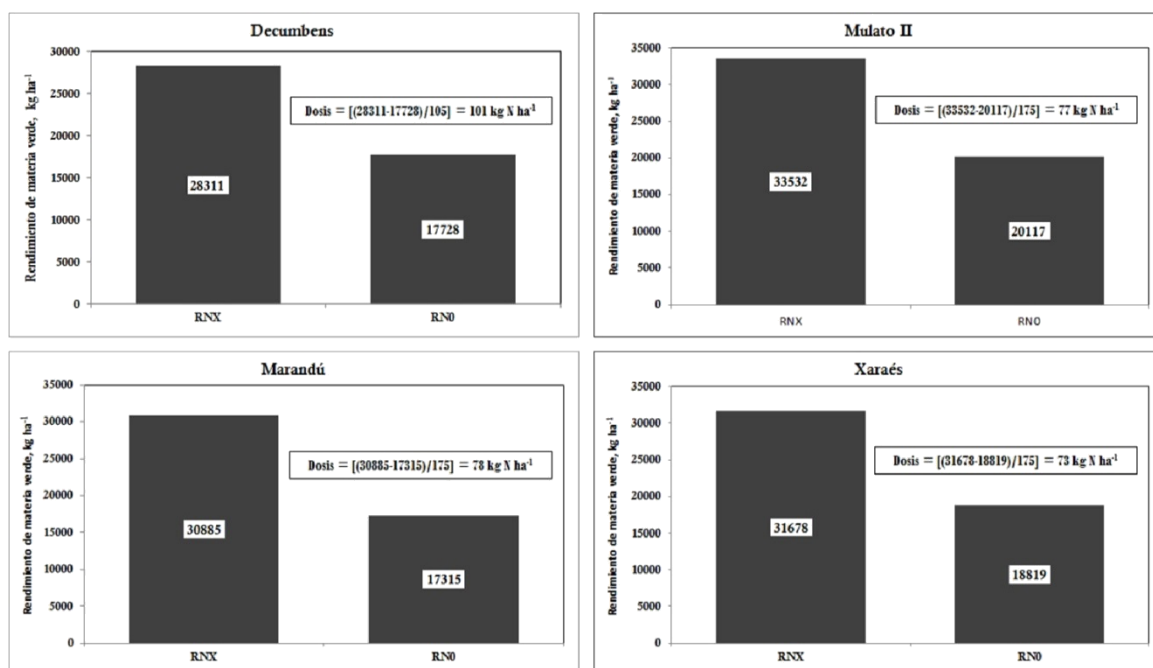


Fig 4.10. Descripción gráfica del cálculo de las dosis N para las cuatro variedades

Si bien la investigación generó una recomendación de N, el principal objetivo de este estudio fue desarrollar un procedimiento mecánico simple y de fácil uso en

el campo para que los ganaderos de la región generen y afinen su recomendación de N. Una vez que se ha definido la EAN de cada una de las variedades de *Brachiaria* utilizadas, el procedimiento se simplifica apreciablemente.

El agricultor solamente tiene que colocar en el campo una parcela de omisión de N en medio del lote que se haya fertilizado normalmente, y a la cosecha determinar el rendimiento de MV en una muestra de la parcela de omisión y en una muestra del lote normalmente fertilizado y con esa información proceder al cálculo utilizando el procedimiento descrito en la tabla 4.17. Y en el anexo 2.

El procedimiento se puede hacer después de cada corte o pastoreo o después de varios cortes o ciclos de pastoreo. De esta forma el ganadero puede, con seguridad, generar una recomendación de la dosis de N a aplicarse sabiendo que con esto asegura el rendimiento de biomasa que el agro-eco-clima lo permite (meta de rendimiento). El procedimiento permite mejorar la EAN, es decir, lograr más MV kg⁻¹ de aplicado mediante el manejo, evitando pérdidas por lixiviación y volatilización. Todo esto se logra sin enviar muestras de suelo al laboratorio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer las siguientes conclusiones:

- Las parcelas de omisión permitieron determinar que el N es el nutriente que más limita la acumulación de biomasa en las variedades de *Brachiaria* estudiadas, bajando su potencial de rendimiento entre 40 a 50 %.
- Las parcelas en las que se omitieron P, K, Mg, S y Ca, fue apreciablemente menor la acumulación de biomasa, aunque no reflejaron la misma consistencia que tuvo la omisión N durante los cinco cortes evaluados.
- La EAN para las cuatro variedades de *Brachiaria* con valores ubicados en los rangos de 100 a 110 kg MV kg⁻¹ de N aplicado para la variedad *decumbens* y en los rangos de 170 a 180 kg MV kg⁻¹ de N aplicado para las variedades *mulato II*, *marandú* y *xaraés*. Estos valores reflejan el potencial de acumulación de biomasa de las cuatro variedades, siendo Decumbens la variedad con menor capacidad de acumular rendimiento.
- Los ganaderos en sus fincas, pueden determinar la dosis de N necesaria después de cada pastoreo o corte o en un periodo de varios cortes o ciclos de pastoreo, colocando en el campo una parcela de omisión dentro de un lote fertilizado adecuadamente, se muestrea una porción de la parcela de omisión y una misma porción de la parcela fertilizada para determinar el rendimiento de MV (RN0 y RNX). Estos parámetros, junto con la EAN permiten calcular la dosis de N a aplicarse inmediatamente después del corte o pastoreo.

5.2. Recomendaciones

Luego del análisis de los resultados obtenidos se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Desarrollar experimentos de campo para determinar la EA de P, K, Ca, Mg y S, para utilizar estos parámetros y afinar las recomendaciones de fertilización de las variedades de pasto evaluado.
- Realizar experimentos iguales a los conducidos en este estudio en diversas fincas ganaderas de la zona tropical húmeda de Santo Domingo de los Tsáchilas. Esto permitiría mejorar el procedimiento y la EAN, además se difundiría la tecnología entre los ganaderos de la zona.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcántara, G., Furtini, A., Gigante, S., de Andrade, V., Martins, M., & Evangelistas, A. (2007). Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada em dois tipos de solos. *Ciência Animal Brasileira*, 8(2), 227-233.
2. Ara, M., Reyes, C., & Ramos, O. (2004). Fertilización con fósforo y control de malezas para el establecimiento de *Brachiaria brizantha* a escala comercial. *Rev Inv Vet*, 15(2), 92-99.
3. Argel, P., Miles, J., Guiot, J., & Lascano, C. (2002). *Bracharia Cultivar Mulato Híbrido CIAT 36061: Gramínea de alta producción y calidad forrajera para los trópicos*. Cali: CIAT.
4. Arias, A., & Hernández, H. (2002). Composición química del pasto aguja (*Brachiaria humidicola*) sometida a pastoreo en una finca del municipio Guanare Estado Portuguesa. *Revista Científica*, 12(2), 562-565.
5. Avellaneda, J., Cabezas, F., Quintana, G., Luna, R., MontañezOziel, Espinoza, I., Pinargote, E. (2008). Comportamiento agronómico y composición química de tres variedades de *Brachiaria* en diferentes edades de cosecha. *Ciencia y Tecnología*, 1, 87-94.
6. Bernal, J. (1994). *Pastos y forrajes tropicales. Producción y manejo* (Tercera ed.). Bogota, Colombia: Banco Ganadero.
7. Bernal, J. (2008). *Actualidad y tendencia en la fertilización de pastos*. Paper presented at the Actualización en Fertilización de Cultivos y uso de Fertilizantes, Colombia.
8. Bernal, J., & Espinosa, J. (2003). *Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos*. Quito, Ecuador: INPOFOS.

9. Cardona, C., Sotelo, G., & Milles, J. (2000). Avances en investigaciones sobre resistencia de *Brachiaria* a salivazo. Circular. Gramíneas y Leguminosas Tropicales *Proyecto IP-5 del CIAT*. Cali, Colombia: CIAT.
10. Cassman, K. G., Dobermann, A., & Walters, D. T. (2002). Agroecosystems, Nitrogen-use efficiency and nitrogen management. *Ambio*, 31(2)(2), 132-140.
11. Castro, E., Mojica, J., Leon, J., Pabón, M., Carulla, J., & Cardenas, E. (2009). Balance de nitrógeno en pastura de gramíneas y pastura de gramínea más *Lotus uliginosus* en la sabana de Bogota, Colombia. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1), 91-101.
12. Cerdas, R., & Valejos, E. (2012). Comportamiento productivo de varios pastos tropicales a diferentes edades de cosecha en Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 13(26), 6/22.
13. Combatt, E., Jarma, A., & Maza, L. (2008). Crecimiento de *Brachiaria decumbens* Stapf y *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst en suelos sulfatados ácidos de córdoba. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 12(2), 1380-1392.
14. Cuadrado, H., Torregroza, L., & Garcés, J. (2005). Producción de carne con machos de ceba en pastoreo de pasto híbrido mulato y *brachiaria decumbens* en el Valle del Sinú. *MVZ*, 10(1)(1), 573-580.
15. Dirección de Aviación Civil Aeropuerto de Santo Domingo (2013). [Anuario de datos meteorológicos].
16. ESPAC. (2013). Procesador de estadísticas agropecuarias. Retrieved 10 noviembre, 2013, from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/procesador-de-estadisticas-agropecuarias-3/>

17. Espinosa, J., & García, J. (2009). *Herramientas para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz*. Paper presented at the Memorias del Simposio "Uso eficiente de Nutrientes" presentado por el IPNI en el XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Costa Rica.
18. Evans, L. T. (1993). *Crop evolution, adaptation, and yield*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
19. Fairhurst, T., & Witt, C. (2002). *Arroz: guía práctica para el manejo de nutrientes*: PPI, PPIC, IRRI.
20. Garay, J. (2013). *Comportamiento forrajero en variedades del género Brachiaria*. (Maestro en Ciencias), Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.
21. García, J. P., & Espinosa, J. (2010). Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz. *Informaciones Agronómicas*, 94(2), 9-14.
22. García, R., Andrés, S., Alvarenga, J., & Calleja, A. (2002). Efecto de la fertilización NPK y del fraccionamiento del nitrógeno en la producción de tréboles. *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural (Vol. II)*, 2, 549-556.
23. Gómez-Carabalí, A., Madhusudana, R. I., & Ricaute, J. (2010). Differences in root distribution, nutrient acquisition and nutrient utilization by tropical forage species grown in degraded hillside soil conditions. *Acta Agronómica*, 59(2), 197-210.
24. González, R., Anzúlez, A., Vera, A., & Riera, L. (2000). *Manual de Pastos tropicales de la Amazonía Ecuatoriana*: INIAP.

25. Guiot, G., & Meléndez, N. (2002). *Comparación Morfológica de brachiarias híbrido mulato y B. brizantha*. Paper presented at the XV Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Tabasco, México., Tabasco, México.
26. Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & W.L., N. (2014). *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management* (Eight ed.): Pearson Prentice Hall.
27. Holmann, F., Argel, P., & Pérez, E. (2008). Impacto de la adopción de forrajes mejorados en fincas de pequeños productores en Centroamérica: Análisis Expost. Cali: CIAT-ELRI.
28. Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Rivera, B., Giraldo, L., Guzmán, S., . . . Farrow, A. (2004). Producción de leche y su relación con los mercados: Caso Colombiano. Documento de trabajo N° 193. Cali: CIAT.
29. Jácome, L., & Suquilanda, M. (2010). *Fertilización organo-mineral del pasto Mulato (Brachiaria híbrido) y Xaraes (Brachiaria brizantha Xaraés)*. Paper presented at the XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
30. Lascano, C., Plaza, C., & Pérez, O. (2002). *Pasto Toledo (Brachiaria brizantha CIAT 26110): gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería Colombiana*. Cali, Colombia: ICA-CIAT.
31. Llerena, L. (2008). *Llerena, H. 2008. Efecto de tres niveles de fertilización de praderas establecidas de Brachiaria decumbens a base de N, P, K en la producción de forraje verde en el Cantón Orellana. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.*
32. Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Christopher, B. F. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 4.1-4.26. doi: 10.1146/annurev.environ.041008.093740

33. Marschner, P. (Ed.). (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (Third ed.). London: Academic Press.
34. Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (4ta. ed.). Basilea, Suiza: IPNI.
35. Mosquera, P., & Lascano, C. (1992). Producción de leche de vacas en pasturas de *brachiaria decumbens* solo y con acceso controlado a bancos de proteína. *Pasturas tropicales*, 14(1)(1), 2-10.
36. Olivera, Y., Machado, R., & del Pozo, P. (2006). Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, 29(1), 1-23.
37. Oliverira, J., Gomes, A., Nascimento, R., Carvalho, R., & Silva, A. (2012). *Características biométricas de mudas de sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia Benth) micorrizadas sob doses de fósforo*. Paper presented at the XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo "Latinoamérica unida protegiendo sus suelos", Mar de Plata, Argentina.
38. Otoy, V. (1986). Efecto de la época del año y días de ocupación en la calidad nutritiva de *brachiaria decumbens*. *Pasturas tropicales*, 8(1)(1), 1-5.
39. Pinzón, B., & Santamaría, E. (2005). Valoración del comportamiento agronómico de nuevos híbridos y variedades de *Brachiaria*. *Informes de Trabajo*. Panamá: IDIAP.
40. Pirela, G., Romero, M., & Araujo, O. (1996). Alimentación estratégica con bloques multinutricionales. II. Suplementación de mautas a pastoreo. *Revista Científica LUZ*, 6(2), 95-99.
41. Pizarro, E. A., do Valle, C., Keller, G., Schultze Kraft, R., & Zimmer, A. (1998). Experiencia regional con *Brachiaria*: región de América Tropical - Sabanas. In

- J. W. Miles, F. Maass, & C. do Valle (Eds.), *Brachiaria: Biología, Agronomía y Mejoramiento*. Cali, Colombia: CIAT-EMBRAPA.
42. Quintero, C., & Boschetti, N. (2010). Manejo del Fósforo en Pasturas. Retrieved 12 noviembre, 2014, from <http://www.fertilizando.com/articulos/>
43. Rincón, Á. (2011). Efecto de alturas de corte sobre la producción de forraje de *Brachiaria sp.* en el piedemonte Llanero de Colombia. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 107-112.
44. Román, D. (2013). *Asociación entre la absorción de nutrientes y la acumulación y distribución de biomasa en las hojas y tallos de cinco variedades del género Brachiaria*. (Ing. Agrónomo), Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador.
45. Snyder, C. (2009). *Eficiencia de uso del nitrógeno: Desafíos mundiales, tendencias futuras*. Paper presented at the Uso eficiente de nutrientes, San José, Costa Rica.
46. Snyder, C., Bruulsema, T., & Jensen, T. (2007). Best management practices to minimize greenhouse gas emissions associated with fertilizer use. *Better Crops*, 91(4)(4), 16-18.
47. Sotelo, G., & Cardona, C. (2010). Manejo integrado del salivazo de los pastos con énfasis en resistencia varietal. Cali, Colombia: CIAT.
48. Vega, M., Ramírez, J., Loeonard, I., & Igarza, A. (2006). Rendimiento, caracterización química y digestibilidad del pasto *Brachiaria decumbens* en las actuales condiciones edafoclimáticas del valle del Caucho. Retrieved 15 de noviembre, 2014, from <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>
49. Witt, C., Pasuquin, J., & Dobermann, A. (2006). Toward a site specific nutrient management approach for maize in Asia. *Better Crops*, 90(2), 28-31.

50. Yang, H. S., Dobermann, A., Lindquist, J. L., Walters, D. T., Arkebauer, T. J., & Cassman, K. G. (2004). Hybrid-maize-a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. *Field Crops Research*, *87*, 131–154. doi: 10.1016/j.fcr.2003.10.003

ANEXOS

Anexo 1. Descripción fotográfica de la conducción del proyecto de investigación.



Anexo 2. Las fotos superiores son potreros de pasto *B. decumbens* sin manejo nutricional. Las intermedias representan los mismos pastos luego de una fertilización adecuada. Las inferiores muestran un perfil de suelo, de adecuadas condiciones físicas y químicas, donde se cultivan pastos en la zona del trópico húmedo de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

