

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO**



Balance Iónico Calcio, Magnesio y Potasio En Un Andisol y La Nutrición Del Pasto  
Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

Por:

**CESAR RODRÍGUEZ ANRRUBIO**

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2016

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO



Balance Iónico Calcio, Magnesio y Potasio En Un Andisol y La Nutrición Del Pasto  
Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

Por:

CESAR RODRÍGUEZ ANRRUBIO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2016

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE INGENIERIA

Balance Iónico Calcio, Magnesio y Potasio en un Andisol y La Nutrición Del Pasto  
Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

POR:

**CESAR RODRIGUEZ ANRRUBIO**

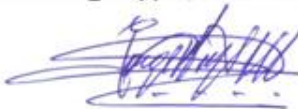
TESIS


**QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**


Aprobado por:


  
Dr. Ruben López Cervantes

  
Dr. Edmundo Peña Cervantes  
Coasesor

  
Ing. Jorge Arturo Trejos Madrigal  
Coasesor

  
MC. Alberto Rodríguez Hernández  
Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO" Suplente

  
Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coordinador de la División de Ingeniería de  
Ingeniería



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio 2016

## DEDICATORIAS

A *Dios*, por las bendiciones que me da y me seguirá dando, por todos los momentos de felicidad que me regala día con día, pero sobre todo por ser mi fortaleza en los momentos difíciles, de incertidumbre y de oscuridad. A él todo el honor y la gloria.

A mis padres

*Alejandro Rodríguez Rojas y Marcelina Anrubio Barreto*

Quienes han sacrificado mucho para que yo pueda concluir esta meta. Dos personas que han sido mis pilares para salir adelante, y que siempre me han dado su amor, cariño y apoyo incondicional. Mi más eterno agradecimiento por su enorme sacrificio y por cada una de los consejos que me han dado. Les dedico con todo mi amor este proyecto que es un paso importante en nuestras vidas y del cual espero se sientan orgullosos. (Los amo)

A mis abuelitas:

*María Barreto Leana*

Quien se convirtió en una mamá para mí, una persona luchadora y trabajadora, quien tantas veces se desveló por mí. Quien siempre me guio por el buen camino y a quien le debo gran parte de lo que soy ahora.

*Ángela Rojas Gandanosa †*

Quien siempre me recibía con una sonrisa y un abrazo lleno de amor y cariño, ella quien siempre me decía: “mi nieto el más flaquito”. Sé que desde el cielo se sentirá orgullosa de mí.

A mis hermanos:

*Adilene Rodríguez Anrubio*

Con quien siempre he compartido momentos buenos y malos. Siempre ha estado a mi lado dándome su apoyo y cariño incondicional, a pesar de las discusiones y peleas. Te amo hermana.

*Alejandro Rodríguez Anrubio*

A pesar de que la distancia nos separa, siempre te llevo presente en mi corazón y para el cual espero ser un ejemplo. Te amo hermano.

A mis primos:

*José Armando Anrubio Ferrada y Antonio Rodríguez †*

Quienes formaron y seguirán formando parte importante en mi vida, con los cuales tuve la dicha de convivir y pasar bellos momentos, quienes lamentablemente se adelantaron antes de tiempo. Pero estoy seguro que desde el cielo estarán compartiendo conmigo esta felicidad.

*A mis tíos, tías y primos*, por brindarme su apoyo en todo momento, gracias por formar parte de mi familia.

## AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Terra Mater* por abrirme sus puertas y acogerme entre su seno, por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente y por las muchas oportunidades que me seguirá dando siempre. Siempre me enorgulleceré de decir que soy un “Buitre de corazón”.

Al *Ing. Jorge Arturo Trejos Madrigal*, por el apoyo que me brindo para la realización de este proyecto, por todos los consejos tan valiosos que me dio, pero sobre todo por enseñarme que las metas siempre se cumplen de una mejor manera llevando a Dios en el corazón.

Al *Ing. Oscar Viquez*, por todos sus consejos y enseñanzas brindadas, por su apoyo y amistad sincera.

Al *Dr. Rubén López Cervantes*, por su amistad que me ofreció y su apoyo para la culminación de este proyecto.

Al *Dr. Edmundo Peña Cervantes*, por compartir conmigo sus conocimientos, por todo el apoyo que me dio durante mi estancia en la narro y por cada una de sus clases que me dio, las cuales son parte importante en mi formación.

Al *M.C. Alberto Rodríguez Hernández*, quien me ofreció su amistad y apoyo en todo momento, por esas pláticas tan amenas que tuvimos, por formar parte de este proyecto y de la culminación de un logro más alcanzado en mi vida.

A la *M.C. Alejandra Escobar Sánchez*, por su amistad y apoyo que siempre me dio durante mi estancia en la Universidad, a quien siempre admirare por su constancia, compromiso y trabajo que siempre da día con día.

A todos los maestros y laboratoristas del Departamento de Suelos, quienes compartieron conmigo sus conocimientos y amistad.

A mis amigos *Esteban, Claudio, Miguel, Darwin, Luis y Alberto*, con los cuales compartí hermosos momentos, quienes me dieron la oportunidad de formar parte de su vida y quienes siempre me apoyaron en los momentos difíciles.

A mis amigos del TEC de Costa Rica *Jesús Jiménez, Odette y Daniel Mora*, quienes me dieron la oportunidad de compartir con ellos bellos momentos, quienes me brindaron su valiosa amistad y siempre me estuvieron apoyando en mi estancia en Costa Rica y en la realización de este proyecto.

A la *Familia Balbuena Jaime*, quienes siempre se han preocupado por mí y a quienes les tengo un gran cariño. Gracias por apoyarme en los momentos difíciles y por siempre recibirme con los brazos abiertos en su hogar.

A la *Familia Quirós Toto* por recibirme con los brazos abiertos en su hogar y por permitirme formar parte de su familia, por todos esos momentos que compartieron conmigo y por motivarme siempre.

A la empresa *Dos Pinos* por creer en el proyecto y por el apoyo ofrecido para la realización del trabajo de investigación.

A *Loiret, Alonso y Mauricio* quienes también me apoyaron en este proyecto, y quienes me ofrecieron su amistad incondicional.

Y a todas aquellas personas que aun que no mencione, formaron parte importante en cada una de mis etapas, para que pudiera culminar este logro de una manera muy satisfactoria.

Siempre tendré un eterno agradecimiento a cada uno de ustedes y de quienes siempre aprendí lecciones de vida. Dios los bendiga siempre.

**César Rodríguez Anrrubio**



# INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCION .....	2
Objetivos .....	3
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Pasto Kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ).....	5
Clasificación Taxonómica.....	5
Características botánicas .....	6
Manejo.....	6
Importancia de los pastos .....	6
Valor nutricional de los forrajes tropicales.....	8
Problemas de salud en hatos lecheros.....	9
Suelo.....	10
Andisoles.....	10
Distribución, extensión y uso.....	11
Propiedades mineralógicas.....	12
Características Andisoles.....	12
Capacidad de intercambio de cationes (CIC).....	12
Acidez.....	13
pH de los suelos Volcánicos.....	13
Fijación de fosforo.....	15
Materia Orgánica .....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
Localización del Área Experimental.....	17
Metodología .....	17
Modelo estadístico.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	22
Concentración de Ca, Mg y K a nivel foliar .....	22

<b>Calcio</b> .....	25
<b>Magnesio</b> .....	26
<b>Potasio</b> .....	27
<b>Concentración de micronutrientes a nivel foliar</b> .....	28
<b>Zinc</b> .....	30
<b>Hierro</b> .....	31
<b>Cobre</b> .....	31
<b>Manganeso</b> .....	32
<b>Boro</b> .....	32
<b>Concentración de macroelementos en Andisol</b> .....	33
<b>Biomasa (materia verde y seca)</b> .....	36
<b>Valor nutricional</b> .....	39
<b>Proteína</b> .....	42
<b>Fibra en detergente neutro</b> .....	44
<b>Extracto etéreo</b> .....	44
<b>Cenizas</b> .....	45
<b>Lignina</b> .....	45
<b>IV. CONCLUSIONES</b> .....	46
<b>V. RECOMENDACIONES</b> .....	47
<b>VI. REVISION DE LITERATURA</b> .....	48
<b>VII. ANEXOS</b> .....	56

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Descripción de los tratamientos.....	20
<b>Cuadro 2.</b> ANVA ( $p < 0.05$ ) para la concentración de los macroelementos a nivel foliar.....	22
<b>Cuadro 3.</b> ANVA ( $p < 0.05$ ), para la respuesta a la aplicación de zinc y boro a nivel foliar.....	28
<b>Cuadro 4.</b> ANVA ( $p < 0.05$ ), respuesta a la aplicación de enmienda.....	33
<b>Cuadro 5.</b> ANVA ( $p < 0.05$ ), para monitoreo de biomasa (materia verde y seca).....	36
<b>Cuadro 6.</b> ANVA ( $p < 0.05$ ) valor nutricional del pasto kikuyo.....	40
<b>Cuadro 7.</b> Composición nutricional (base seca) del pasto kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ) de acuerdo a cada tratamiento.....	42

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Establecimiento del experimento, distribución e identificación de los tratamientos.....	18
<b>Figura2.</b> Toma de las muestras de suelo.....	18
<b>Figura3.</b> Aplicación de drench.....	19
<b>Figura4.</b> Muestra de pasto para la medición de biomasa.....	19
<b>Figura 5.</b> Porcentaje de macronutrientes a nivel foliar en pasto kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ) en los diferentes tratamientos y en los meses de muestreo.....	23
<b>Figura 6.</b> Valores en porcentaje de los macroelementos presentes en el pasto en los mese de muestreo y en los tratamientos.....	25
<b>Figura 7.</b> Respuesta del pasto kikuyo a la aplicación de zinc y boro a nivel foliar.....	29
<b>Figura 8.</b> Concentración de microelementos en los diferentes meses de muestreo en cada uno de los tatamientos.....	30
<b>Figura 9.</b> Comportamiento de los macroelementos en los diferentes meses de muestreo y en los tratamientos.....	34
<b>Figura 10.</b> Concentración de los macroelementos en los diferentes meses de muestreo y tratamientos.....	35
<b>Figura 11.</b> Comportamiento de la biomasa del pasto kikuyo tanto en materia verde como seca en los diferentes meses de muestreo y tratamientos.....	37

<b>Figura 12.</b> Comportamiento de los rendimientos de materia verde y seca en los diferentes meses de muestreos y tratamientos.....	38
<b>Figura 13.</b> Valor nutricional promedio del pasto kikuyo en los diferentes meses de muestreo y tratamientos.....	40
<b>Figura 14.</b> Comportamiento del valor nutricional del pasto kikuyo en los diferentes tratamientos y en las fechas de muestreo.....	41

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Finca de la Señora “Olga Cozza” ubicada en Santa Bárbara de Santo Domingo, Heredia, Costa Rica. El cual tiene como objetivo balancear los cationes Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K) en un Andisol mediante la aplicación de una enmienda completa, para así mejorar la calidad nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). El experimento se estableció con un arreglo factorial en un diseño de bloques al azar, se utilizaron 7 tratamientos, cada tratamiento tuvo 4 repeticiones, teniendo un total de 28 unidades experimentales. Al inicio del experimento se realizó la aplicación de una enmienda con diferentes dosis para cada tratamiento, complementando con cuatro aplicaciones líquidas, dos en drench y dos foliares aplicadas de manera intercalada. Las variables a evaluar fueron la concentración de Ca, Mg y K a nivel foliar, % de materia seca, peso en fresco, contenido nutricional del pasto y concentración de Ca, Mg y K en el suelo. A nivel de tratamientos no se presentó significancia, más sin embargo, en las fechas de muestreo si se encontraron efectos significativos. Lo cual indica que es importante hacer un manejo integral de suelo, aplicaciones correctas de nutrientes y la edad del pasto, permitirá tener un mejor aprovechamiento del forraje.

**Palabras Clave:** Andisol, enmienda, drench, foliares y contenido nutricional.

Correo electrónico; Cesar Rodríguez Anrrubio, [cranrrubio@gmail.com](mailto:cranrrubio@gmail.com)

## I. INTRODUCCION

En la mayoría de las regiones productoras de leche de Costa Rica se cuenta con un buen nivel tecnológico y disponibilidad de forrajes durante todo el año. Los lecheros cuentan con una adecuada capacitación y un nivel de organización aceptable. La agroindustria tiene procesos integrados y con diversificación de productos para el consumo interno y de exportación, así como experiencia en la comercialización y mercados estables para la entrega de leche fluida. Para el 2012, la producción de leche (sector primario) generó el 11.8% del valor agregado, constituyéndose como la tercera actividad agropecuaria en importancia, únicamente superada por el Banano y Café (González, 2013).

Según la Cámara Nacional de Productores de Leche (CNPL, 2012) “Tradicionalmente en Costa Rica entre los pastos más utilizados para la producción de leche sobresalen el kikuyo, estrella africana, brachiarias y ratana entre otros” debido a que éstos pueden producir a bajo costo una parte sustancial de los nutrimentos requeridos por los hatos de ganado bovino. La importancia de los forrajes antes mencionados radica en su capacidad para producir materia seca, lo que los hace idóneos para el suministro de proteína, energía, minerales, vitaminas y fibra al ganado bovino especializado en la producción de leche, así como al doble propósito y de carne. En la actualidad los ganaderos se enfrentan a una serie de retos que les permitan mantener la rentabilidad de tal actividad y a su vez satisfacer la demanda de consumo.

En los últimos años, en la mayoría de los países de la América Tropical, se presentan problemas de baja productividad en el ganado lechero. Dentro de las causas que motivan esta disminución se encuentran la baja disponibilidad y calidad de los forrajes y el alto nivel de degradación de estos y de los suelos (Salas y Cabalceta, 2009).

Aunado a lo anterior, otro de los factores que causan problemas en las calidad y disponibilidad de los forrajes, son las deficiencias que prevalecen en los suelos, donde se encuentran establecidas la mayoría de las fincas lecheras del país, las cuales traen impactos negativos tanto en la salud de los bovinos, como también en la reproducción y producción de leche de los mismos. En el presente trabajo se pretende corregir algunas de las deficiencias presentes en el suelo, mediante la aplicación de una enmienda completa complementando con aplicaciones foliares que le suministren al pasto y al suelo aquellos elementos que se encuentran deficientes y que son importantes para tener un pasto de calidad y a su vez incrementar la disponibilidad de estos forrajes.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Balancear los cationes Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K) en un Andisol mediante la aplicación de una enmienda completa, para así mejorar la calidad nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

### **Objetivos específicos**

- Incrementar los niveles de Ca y Mg en el suelo, para lograr desplazar los iones de K y así obtener una mayor extracción de los elementos mencionados anteriormente.
- Disminuir la concentración de K a nivel foliar e incrementar los niveles de Ca y Mg.
- Lograr un incremento en la biomasa (forraje verde) para ofrecer una cantidad mayor de forraje al ganado.
- Mejorar el valor nutricional del pasto kikuyo a nivel bromatológico.



## **Hipótesis**

Mediante la aplicación de una enmienda y complementado con aplicaciones líquidas se lograra una disminución de K y un incremento de Ca y Mg a nivel foliar, logrando obtener un pasto de mejor calidad.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)**

Originario de los Lagos de la Provincia de Kikuyo, Kenya, África. Es una planta que forma una especie de colchón vegetal denso, debido a la gran proliferación de estolones. Dichos estolones se enraízan en los internudos y forman abundantes hojas que pueden tener una longitud de 60 cm. La planta alcanza una altura de 40 cm (Lobo y Díaz, 2001).

Se adapta bien desde los 1800 m hasta los 2800 msnm. No es exigente en cuanto a la humedad, siempre y cuando supere los 1000 mm anuales. Sus raíces pueden alcanzar más de 2m de longitud, prefieren suelos de textura liviana, buena profundidad, buen drenaje y alta fertilidad (Lobo, *et al.*, 2001).

El contenido promedio de proteína de esta gramínea es aproximadamente de un 14%; la digestibilidad *in vitro* promedio de la materia seca es de un 66%. La producción diaria del pasto kikuyo es de 40 kg MS/ha sin fertilización (Lobo, *et al.* 2001).

### **Clasificación Taxonómica**

Según Osorio y Roldan (2006), el kikuyo está clasificado de la siguiente manera:

Reino..... Vegetal  
Clase..... Angiosperma  
Subclase..... Monocotiledónea  
Familia..... Gramínea  
Género..... *Pennisetum*

Especie..... *clandestinum*

### **Características botánicas**

Este pasto es rizomatoso, forma una masa de follaje baja y compacta. Los rizomas hasta de cinco metros de largo, llevan dos clases de tallos: estériles, de entrenudos cortos y hojas largas, y fértiles, las inflorescencias crecen en las axilas de las hojas. Las espiguillas tienen dos flores: una inferior y estéril, la superior fértil, en la cual se destacan los filamentos de los estambres, que miden hasta cinco centímetros de largo y sobresalen del follaje. El kikuyo forma semillas, probablemente apomícticas, pero se propagan vegetativamente (León, 2000).

### **Manejo**

Franco *et al.* (2006), sostienen que el Kikuyo se debe manejar adecuadamente si se quiere obtener una buena producción y una capacidad de carga alta. En ocasiones, cuando ha sido mal manejado, se acolchona y la producción disminuye significativamente.

El adecuado manejo del kikuyo consiste en el pastoreo rotacional cada 40-80 días, de 5 a 10 por año, cantidad de agua y fertilizante correcto (Hernández, 2004).

### **Importancia de los pastos**

En Costa Rica, Andrade (2006) menciona que durante el año 2002, el área dedicada a la producción de forraje en sistemas de producción láctea era de 85 016 ha, lo que equivale al 1.66% del territorio nacional. El pasto estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) y el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), son las especies forrajeras de mayor preferencia por los productores de leche, con un área total de 22 024 ha y de 12 718 ha, respectivamente. Con relación al pasto kikuyo,

este se distribuye en los distritos de Ciudad Quesada, Zarcerro, Alajuela, Cartago y Coronado, a razón de 3.93%, 17.37%, 22.03%, 32.81% y 23.82%, respectivamente. Estos forrajes toleran una acidez moderadamente alta, pero si esta condición se mejora, aumentará la producción (Cabalceta, 1999).

La importancia de los forrajes en la alimentación de los bovinos es fácil de destacar por el simple hecho de estar refiriéndonos a un animal herbívoro con un sistema digestivo bastante especializado para el aprovechamiento de tejidos vegetales. Tenemos la oportunidad de aprovechar todos los atributos del sistema digestivo de una animal rumiante para la utilización de la fuente de energía más abundante en la tierra, como es la celulosa y hemicelulosa presente en los forrajes. Nos corresponde definir cuán importante son los forrajes en el programa de alimentación dándole o no la atención que se merece en términos de manejo agronómico y zootécnico y definiendo adecuadamente la genética del animal (Ventura, 2008).

La ganadería tropical debe basar su alimentación en la utilización de pastos y forrajes debido a que esto permite producir a bajo costo parte sustancial de los nutrimentos requeridos por el ganado bovino. Los pastos constituyen la principal fuente de nutrimentos para la alimentación bovina, el principal de los atributos de los pastos tropicales es la alta capacidad para producir materia seca, lo que los hace ideales para suministrar proteína, energía, minerales, vitaminas y fibra tanto al ganado especializado en la producción de leche como al de doble propósito (Sánchez, 2007).

Según Ortiz (2015), el pasto kikuyo pertenece al grupo de las plantas  $C_4$  (Sowerby, *et al.*, 2000). Estas plantas se caracterizan por las altas tasas de fotosíntesis neta, bajos puntos de compensación de dióxido de carbono, bajas tasas de fotorrespiración, mayor eficiencia en el uso de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y en el uso del agua comparada con plantas del grupo  $C_3$  (Lira, 2007). La fotosíntesis realizada en las plantas  $C_4$  no se ve afectada por las altas o bajas concentraciones

de CO<sub>2</sub> en el medio ambiente, diferente a lo que ocurre con las plantas C<sub>3</sub> en las cuales los procesos fotosintéticos disminuyen por las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico y aumenta con las bajas concentraciones de este (Giraldo, 2010). Esta característica le permite tener gran capacidad para producir biomasa. Producciones de biomasa de 15 a 30 toneladas de materia seca (t MS)/ha/año son comunes en pastos como kikuyo, estrella, brachiarias y guineas (Sánchez, 2007).

### **Valor nutricional de los forrajes tropicales**

Los forrajes que crecen en el trópico tienen alrededor de 15 unidades de digestibilidad menos que aquellos que se desarrollan en clima templado. Esto se debe a que tienen una cantidad mayor de pared celular y un contenido menor de carbohidratos no fibrosos (CNF). Así mismo, esa pared celular es más lignificada y por lo tanto menos digestible (Sánchez, 2009).

La composición mineral del forraje es afectada por la disponibilidad de elementos nutritivos y por las prácticas de fertilización. En los suelos con acidez natural, la aplicación periódica de cal y de fertilizantes aumenta la calidad de los forrajes. Sin embargo, las condiciones climatológicas del medio pueden tener tanta influencia sobre la composición, en ciertas condiciones, como el efecto del tratamiento del suelo (Hughes, Herath y Metcalfe, 1970).

Correa, *et al.* (2008 a; b) consideran que el pasto kikuyo posee varias limitantes nutricionales, las cuales no sólo afectan la producción de vacas lecheras, sino la calidad composicional de la leche producida. Las temperaturas altas a que crecen los forrajes tropicales, así como su exposición mayor a enfermedades y depredadores, son responsables de sus niveles altos de lignina y bajos de nitratos, proteína y carbohidratos no fibrosos, cualidades que hacen que sus valores nutricionales sean medios a bajos (Sánchez, 2002).

## **Problemas de salud en hatos lecheros**

En el mundo actual todos los productores necesitan mejorar continuamente sus prácticas de manejo de la finca para elevar su eficiencia en la producción. En los últimos años, en la mayoría de los países de la América Tropical, se presentan problemas de baja productividad en el ganado lechero (Salas, *et al.*, 2009).

La problemática actual para los productores de leche, y que deben de atender de forma inmediata es la calidad de los forrajes, Elizondo y Sánchez (2011) mencionan que “es importante aclarar que los forrajes tropicales suelen contener niveles elevados de cationes principalmente potasio (K). Lo cual puede provocar impactos negativos en la salud de los hatos lecheros del país, promoviendo que la actividad lechera sea cada vez menos rentable.

Trabajos realizados por la Universidad de Costa Rica y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (s.f.) reportan que el pasto kikuyo cultivado en la zona Central de Costa Rica, no satisface las necesidades de calcio, fósforo, magnesio, zinc y cobre del ganado lechero de dichas zonas. Los niveles altos de K en nuestros pastos (2.85% y 2.68% en los pastos Kikuyo y Estrella) pueden interferir con la absorción del magnesio y causar una deficiencia metabólica, que a su vez provoca hipomagnesemia o fiebre de leche (Sánchez, 2002).

En primera instancia se puede especular que las deficiencias, en cuanto a minerales, que presentan los pastos tropicales se debe al tipo de suelo en el que se encuentran establecidas las fincas lecheras aunado a un mal manejo integral del mismo. Cabalceta (1999) menciona que “los suelos en los cuales se produce forraje para ganadería de leche en Costa Rica, son principalmente los Andisoles, Inceptisoles y Ultisoles”. Los cuales generalmente tienen pH ácido y baja fertilidad.

## **Suelo**

Al suelo se le considera como un ecosistema vivo y complejo compuesto por agua, aire, sustancias sólidas e infinidad de seres vivos que interactúan activamente y que esta interacción es determinante para la disponibilidad de los nutrimentos, los cuales a su vez definen la condición del suelo y la permanencia de las actividades agropecuarias en un sistema productivo. Por esta razón, el análisis de la fertilidad del suelo debe hacerse en términos más amplios que incluyan además de las variables químicas, las físicas, biológicas y ambientales (Altieri y Yurjevic, 1991).

En Costa Rica existen 10 de los 12 órdenes del sistema de clasificación de suelos de los Estados Unidos de América (Soil Survey Staff, 1999), de los cuales solo 6 son de importancia agrícola y forestal: Inceptisoles (38.6%), Ultisoles (21%), Andisoles (14.4%), Entisoles (12.4%), Alfisoles (9.6%) y Vertisoles (1.6%), los valores en paréntesis corresponden al porcentaje de cobertura del país (Bertsch *et al.* 2000; Alvarado y Forsythe, 2005).

En el caso de los suelos del trópico, Arias (2001) menciona que “no pueden ser uniformes debido a la gran variedad de climas, vegetación, material madre, geomorfología y edad. La única propiedad común en todos los suelos tropicales es su régimen uniforme de temperatura”. Los andisoles no son los más abundantes a nivel nacional, pero son frecuentes a lo largo de las cordilleras volcánicas de Costa Rica (Vargas, Solís, Sáenz y León, 2013), siendo muy utilizados para la ganadería de leche en zonas altas y para la agricultura en general (Bertsch, *et al.*, 2000).

## **Andisoles**

América Central y Sur América atesoran la mayor superficie de Andisoles del mundo. Este tipos de suelos de referencia de la WRB de 1998, cubre aproximadamente entre 35 y 40 millones de hectáreas en Latinoamérica. Se

localizan principalmente hacia el pacífico, en el sur de México, Centroamérica, Ecuador, Colombia, Perú, Chile y Argentina (Ibáñez y Manríquez, 2012).

Estos suelos, se forman sobre cenizas y vidrios volcánicos, así como a partir de otros minerales piroclásticos. Se trata de suelos muy aptos para la agricultura si las condiciones del relieve lo permiten (Ibáñez y Manríquez, 2011). El origen de estos suelos se debe al rápido enfriamiento de los materiales expulsados, que no permite la cristalización de los minerales con un alto grado de ordenación, resultando así un material vítreo o vidrio volcánico amorfo (Moreno, *et al.*, 2011).

Las propiedades de los Andisoles están fuertemente determinadas por la naturaleza de su fracción coloidal. Se ha observado que, en ambientes templados fríos y húmedos, la fracción coloidal de estos suelos está constituida por complejaciones de humus-aluminio o por alófana/imogolita (Parfitt *et al.*, 1983, 1984; Wada *et al.*, 1987; Wada 1989; Shoji *et al.*, 1993). Las complejaciones de humus-aluminio se forman principalmente en ambientes ricos en carbono orgánico y que presentan pH ácido (Shoji y Fujiwara, 1984) (Campos, *et al.*, 2001).

### **Distribución, extensión y uso**

Los suelos de cenizas volcánicas representan aproximadamente el 0.84% de los suelos a nivel global y se localizan predominantemente en regiones tropicales (Quantin, 1986; Shoji *et al.*, 1993; Lizcano *et al.*, 2006). Los suelos derivados de materiales volcánicos en Costa Rica ocupan el 14 % del territorio nacional y comprenden: a) las zonas centrales del país: el Valle central y las faldas de sus volcanes en todos los flancos; b) las faldas de las cordilleras de Guanacaste, c) la región entre Coto Brus y la frontera con Panamá por acción de las cenizas del Volcán Brus, y d) algunas regiones de la zona norte y Atlántica donde se encuentran deposiciones fluviovolcánicas sobre las cuales se han desarrollado Andisoles. Constituyen el eje central de la producción cafetalera, la más importante actividad



agrícola del país, y además sostiene una gran parte de la producción de caña de azúcar, hortalizas (...) y la ganadería de leche de altura (Bertsch *et al.*, 1993).

### **Propiedades mineralógicas**

La fracción arcilla que predomina en los Andisoles son la alófana, imogolotita y halloisita (minerales amorfos de rango corto) que provienen de la meteorización de los materiales piroclásticos producto de deposiciones volcánicas (Espinosa, 2004). Bertsch, *et al.* (1993) mencionan que la alófana es una arcilla inestable lo cual le imprime comportamientos peculiares a estos suelos, además de que la alófana se hidrata, ligándose a la materia orgánica formando complejos organominerales difíciles de descomponer y fija aniones. En posiciones de relieve intermedio, donde el verano es marcado, la alófana llega a formar una arcilla cristalina llamada haloisita, típica de los suelos pardo rojizos como los de Alajuela, Heredia y Palmares.

### **Características Andisoles**

El origen de estos suelos les permite tener características únicas tales como presentar una fertilidad de baja a moderada, alta capacidad de intercambio de cationes, alta fijación de aniones (fósforo, azufre, boro y molibdeno), saturación de acidez de moderada a alta, baja densidad aparente, alta retención de humedad y deficiencias de boro, zinc, azufre, calcio y magnesio (Cabalceta, 2012).

### **Capacidad de intercambio de cationes (CIC)**

Una de las características que hacen distintos a los suelos volcánicos de otros suelos, es el complejo de intercambio iónico, por que presenta propiedades anfotéricas, es decir cargas positivas y negativas, que en gran medida son dependientes del pH (Egawa, 1980; López, 1986).

La CIC se expresa como una medida de la cantidad de moles de carga positiva por unidad de masa. Esta puede expresarse en unidades SI en términos de centimoles de carga positiva por kg de suelo (cmol/kg). Si un suelo tiene una CIC de 20 cmol/kg significa que puede adsorber o intercambiar 20 cmoles de  $H^+$  por cualquier otro catión univalente ( $K^+$  o  $Na^+$ ) (Mengel y Kirkby, 1987).

Los cationes cambiabiles influyen en la estructura, la actividad biológica, el régimen hídrico y gaseoso, la reacción, los procesos genéticos del suelo y en su formación. Como cationes cambiabiles en el suelo se presentan principalmente  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  e  $H^+$  (Fassbender, 1980).

### **Acidez**

La acidez de los suelos está asociada con la presencia de hidrogeno y aluminio en forma intercambiable y, por esta razón, la acidez y las bases intercambiables podrían clasificarse con el título común de cationes intercambiables. Sin embargo, si se consideran los muchos efectos indirectos de orden químico, mineralógico y biológico que se relacionan con aquélla, se justifica su estudio por separado (Black, 1975).

Los suelos son ácidos por una o más de las razones siguientes: lixiviación a causa de lluvia intensa, origen del suelo de material ácido, empleo de fertilizantes formadores de ácido y acción microbiológica. Siendo la lixiviación el principal factor involucrado al determinar si el suelo formado será, o no, ácido (Tamhane *et al.*, 1978).

### **pH de los suelos Volcánicos**

En los suelos, el pH es usado como un indicador de la acidez o alcalinidad de éstos y es medido en unidades de pH. El pH es una de las propiedades más importantes del suelo que afectan la disponibilidad de los nutrimentos, controla

muchas de las actividades químicas y biológicas que ocurren y tienen una influencia indirecta en el desarrollo de las plantas.

Shoji, et al. (1982), Citado por López (1986), menciona que en forma general se puede indicar, que los suelos del grupo de los Ando, presentan una reacción ácida de los horizontes superficiales y el pH tiende a incrementarse en los horizontes más bajos, ya que la acidez de estos suelos se puede deber a la estrecha relación que hay entre la composición mineralógica y el contenido de aluminio.

Martini (1969), en una caracterización de suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica, indica que en estos suelos el valor del pH varía entre 4.5 y 6.5 cuando se mide con agua, relación suelo-solución 1:1; según las observaciones de Schenkel (1969), obtenidas estudiando los suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas concluyo que la acidez de los suelos no implica la carencia de calcio, por el contrario, esta acidez debe tenerse muy presente por las complicaciones que surgen con la presencia de formas activas del Al y probablemente de otros sesquióxidos que interfieren en la adsorción del fósforo.

Martini (1969), señala que el pH de los suelos depende grandemente de las precipitación pluvial ( $r = -0.57$ ) de allí que a medida que la elevación del terreno aumenta, el pH tiende a disminuir. La abundancia de las lluvias en las áreas con andosoles contribuye, sin duda, a la alta acidez de estos suelos.

El pH del suelo también influye sobre la presencia y la actividad de los microorganismos de suelo. Generalmente, a pHs bajos, ( $< 5.5$ ), los hongos predominan en el suelo y en la rizósfera, mientras que a niveles más altos las bacterias son más abundantes (Trolldenier, 1971). La nitrificación del  $N-NH_4$  y del  $HNO_2$ , realizada por *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, depende considerablemente del pH del suelo, dado que estas bacterias prefieren condiciones más bien neutras. En suelos muy ácidos el contenido natural de nitratos es extremadamente bajo (Mengel, et al., 1987).

## **Fijación de fosforo**

Espinosa (2004), menciona que una de las características más importantes de los Andisoles es su capacidad para inmovilizar (fijar) fósforo (P) en la superficie de los minerales amorfos. Esta es la principal limitante química de los Andisoles. Aparentemente, la capacidad de fijación de P de los Andisoles varía con el tipo de arcillas presentes y esto a su vez cambia el efecto residual de las aplicaciones de fosfato.

Inicialmente se consideró que la fijación de P en los Andisoles ocurría solamente en las superficies activas de la alófana y la imogolita. Los mecanismos de fijación de P en la alófana e imogolita incluyen procesos como desplazamiento de silicio (Si) estructural y precipitación. Sin embargo, se ha reconocido la importancia de los complejos humus-Al en este proceso. La acumulación de humus es mayor en suelos volcánicos localizados a mayor altitud (> 2500 metros sobre el nivel del mar). Evidencia indirecta obtenida en Andisoles de Ecuador y Colombia permite concluir que la fijación de P está estrechamente relacionada con el contenido de C en el suelo (complejos humus-Al), (Espinosa, 2004).

Un efecto directo de este mecanismo es la precipitación del aluminio intercambiable con fósforo. De acuerdo con cálculos de Coleman y colaboradores, 1 meq de aluminio intercambiable puede fijar alrededor de 70 ppm de P por que el aluminio se precipita de esta manera (Sánchez, 1981).

Existe un consenso general (Soil Taxonomi, 1975; FAO/UNESCO, 1974; Smith, 1978; Leamy, 1979) que la cantidad de fósforo fijado debe ser del 85% o más para poder clasificar los suelos de origen volcánico como Andepts, Andosoles o Andisoles (López, 1986).

## **Materia Orgánica**

Según la recomendación de la Soil Science Society of America, la materia orgánica del suelo debe definirse como: la fracción orgánica del suelo que incluye vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del mismo (Cepeda, 1991).

Los suelos del grupo de los ando, están caracterizados por una gran acumulación de la materia orgánica en los horizontes superficiales. Kanno (1961) encontró que el contenido de materia orgánica en 23 muestras de horizonte A y A<sub>1</sub> de los suelos ando de Japón, variaba de 7.6 a 40% con un promedio de 18.1%. Este valor coincide con el reportado por Kosaka (1961), quien señala que el promedio del contenido de M.O. en los horizontes superficiales de los suelos de Japón es de 20.9%, los suelos derivados de cenizas volcánicas generalmente contienen más del 10% de carbono orgánico, sin embargo suelos de otros orígenes contienen menos del 5% (López, 1986).

La estabilidad de la materia orgánica está fuertemente asociada con la presencia de arcillas y minerales amorfos, los cuales forman complejos órgano-minerales en los suelos de Nueva Zelanda (Broadbent *et al.*, 1963; López, 1986).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Localización del Área Experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en la Finca de la Señora “Olga Cozza” ubicada en Santa Bárbara de Santo Domingo, Heredia, Costa Rica. Esta área se encuentra ubicada geográficamente arriba de los 1500 msnm a 10° 06´ 08.1” latitud norte y 84°08´ 35.0” longitud este. El trabajo se realizó de septiembre del 2015 a enero del 2016. Los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero presentan precipitaciones de 422, 439.6, 187.8, 53.9 y 17.3 mm respectivamente, con temperaturas medias de 20.1, 19.4, 20, 19.7 y 19.5°C respectivamente.

#### Metodología

El material vegetativo utilizado en este trabajo, consistió en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), el cual se encuentra establecido en los potreros de la finca, se delimitaron, con estacas, 216 m<sup>2</sup>, la cual se sub-dividió en pequeñas parcelas de 3m x 3m, en donde se colocó, en el centro de éstas, una estaca pintada con un color asignado de acuerdo al tratamiento correspondiente, esto con la finalidad de poder identificar los tratamientos (Figura 1). Para obtener las primeras muestras de suelo se tuvo que cortar el pasto con una cortadora, una vez realizado esto, se tomaron dos muestras de suelo por cada tratamiento y repetición, para posteriormente sacar una sola muestra por cada tratamiento, dichas muestras fueron depositadas en bolsas de plástico previamente identificadas (Figura 2). Las muestras de suelo se tomaron mediante una barrena la cual se introducía a 20 cm de profundidad. Ya obtenidas todas las muestras de suelo se aplicaron las fuentes de Ca, Mg, Si y S directamente al suelo, la cual fue la única aplicación realizada durante todo el experimento. Después de haber hecho la aplicación al suelo se dejó pasar 10 días para realizar una aplicación en drench, consiste en disolver los productos líquidos en agua para posteriormente aplicarlo a la base de la planta, con una regadera de capacidad de 15 litros (Figura 3). Pasados 20 días se realizó la medición

de biomasa en fresco, para dicha actividad se utilizó un aro de acero de 0.25 m<sup>2</sup> de área el cual se tiro cuatro veces dentro de cada sub-parcela en donde todo el pasto que estuviera dentro del aro se cortó, a 5 cm de altura del suelo, con un cuchillo y se colocó en un saco para posteriormente pesar en una báscula (Figura 4). Del pasto contenido en el saco se sacaron las muestras foliares y bromatológicas, las cuales fueron depositadas en bolsas de plástico previamente identificadas.



**Figura 1.** Establecimiento del experimento, distribución e identificación de los tratamientos



**Figura 2.** Toma de las muestras de suelo



**Figura 3.** Aplicación de drench



**Figura 4.** Muestra de pasto para medición de biomasa

Durante el tiempo que duro el trabajo se realizaron dos aplicaciones en drench y dos más de manera foliar, cuyas aplicaciones se realizaron cada mes y de manera intercalada. Los muestreos de suelo se realizaron cada dos meses y los bromatológicos, foliares y de biomasa fueron cada mes. Las muestras de suelo y



foliares fueron llevadas para su análisis a los laboratorios de Agroanálisis S.A. y los análisis bromatológicos se realizaron en las instalaciones de la empresa Dos Pinos.

El experimento se estableció con un arreglo factorial en un diseño de bloques al azar, se utilizaron 7 tratamientos (Cuadro 1), cada tratamiento tuvo 4 repeticiones, teniendo un total de 28 unidades experimentales. Las variables a evaluar fueron la concentración de Ca, Mg y K a nivel foliar, % de materia seca, peso en fresco, contenido nutricional del pasto y concentración de Ca, Mg y K en el suelo. Cuando en los resultados de los análisis, tanto de suelo como foliares, se tenía un valor anormal con respecto a los demás se solicitó que se repitiera el análisis del tratamiento correspondiente.

**Cuadro 1. Descripción de los tratamientos**

Tratamientos	Ca	Mg	S	Si	Cal-Si-Mag		Zinc-Boro		N-Proteico		Ácidos Húmicos	
	Suelo				Drench*	Foliar**	Drench*	Foliar**	Drench*	Foliar**	Drench*	Foliar**
<b>T0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>T1</b>	206	42	33	34	90	10	45	5	45	5	90	10
<b>T2</b>	290	59	47	48	90	10	45	5	45	5	90	10
<b>T3</b>	372	76	60	62	90	10	45	5	45	5	90	10
<b>T4</b>	456	93	74	76	90	10	45	5	45	5	90	10
<b>T5</b>	456	93	74	76	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>T6</b>	0	0	0	0	90	10	45	5	45	5	90	10

\* ml/ 9 litros agua

\*\* ml/ 2 litros agua

Es importante aclarar que tanto los productos, que se aplicaron al suelo, en drench y foliar, son elaborados en la empresa ECOINSUMOS S.A.

## Modelo estadístico

El modelo estadístico a emplear es el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1, 2, 3, \dots, a. \\ j = 1, 2, 3, \dots, b. \\ k = 1, 2, 3, \dots, c. \\ l = 1, 2, 3, \dots, n. \end{cases}$$

Dónde:

$\mu$  = la media general.

$\tau_i$  = efecto del  $i$  –ésimo nivel del factor A.

$\beta_j$  = efecto del  $j$  –ésimo nivel del factor B.

$\gamma_k$  = efecto del  $k$  –ésimo nivel del factor C.

$(\tau\beta)_{ij}$  = es el efecto de interacción entre  $\tau_i$  y  $\beta_j$ .

$(\tau\gamma)_{ik}$  = es el efecto de interacción entre  $\tau_i$  y  $\gamma_k$ .

$(\beta\gamma)_{jk}$  = es el efecto de interacción entre  $\beta_j$  y  $\gamma_k$ .

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$  = es el efecto de interacción entre  $\tau_i$  y  $\beta_j$  y  $\gamma_k$ .

$\varepsilon_{ijkl}$  = error aleatorio

Los datos recabados se analizaron con la ayuda del software estadístico Minitab v16.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con las variables observadas en la investigación, se presentan a continuación los resultados y discusiones en cada una de las variables.

##### **Concentración de Ca, Mg y K a nivel foliar**

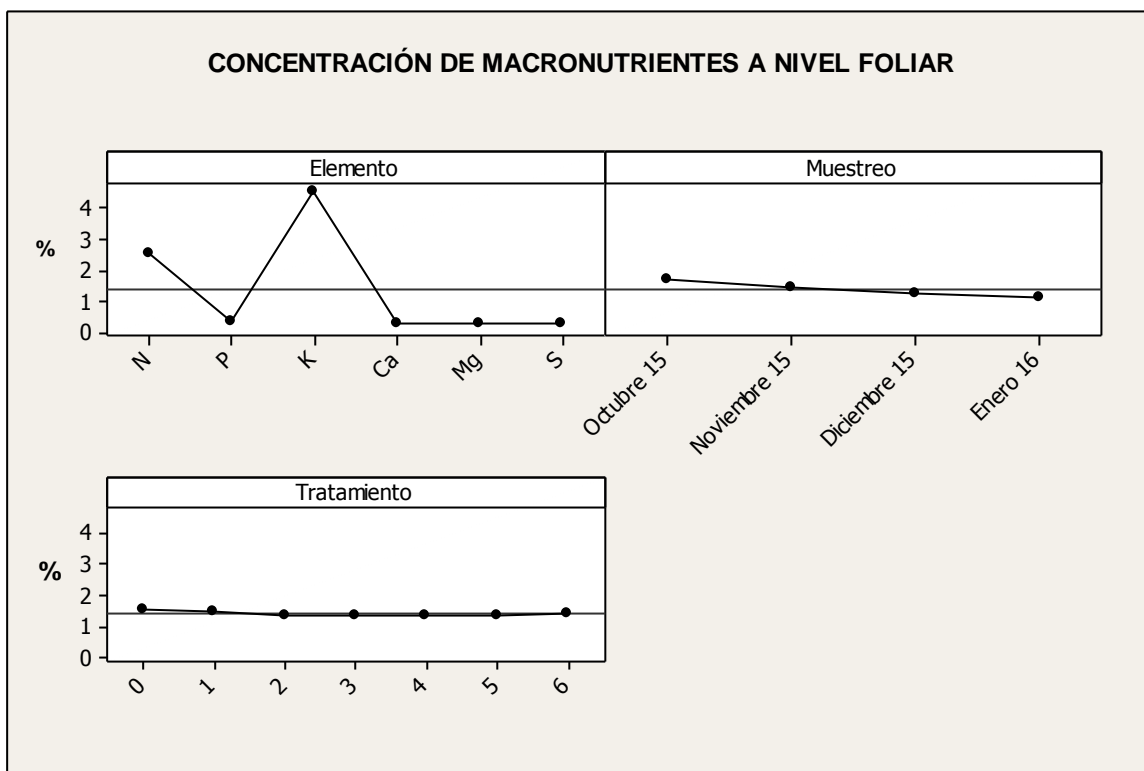
Durante los meses correspondientes a la duración del trabajo experimental, se observó diferencia en alguno de los elementos y en los muestreos, en donde estos últimos fueron realizados cada mes.

**Cuadro 2. ANVA ( $p < 0.05$ ) para la concentración de los macroelementos a nivel foliar**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>P</b>
Elemento	5	448.454	89.691	460.18	0.000*
Muestreo	3	9.589	3.196	16.40	0.000*
Tratamiento	6	0.621	0.103	0.53	0.784
Error	153	29.820	0.195		
Total	167	488.484			

\* Significativo

El análisis de varianza muestra significancia puesto que el valor de  $P < 0.05$ , lo cual indica que en alguno de los elementos evaluados y en alguna de las fechas de muestreo se produjeron efectos diferentes sobre la concentración de nutrientes a nivel foliar.



**Figura 5.** Porcentaje de macronutrientes a nivel foliar en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en los diferentes tratamientos y en los meses de muestreo.

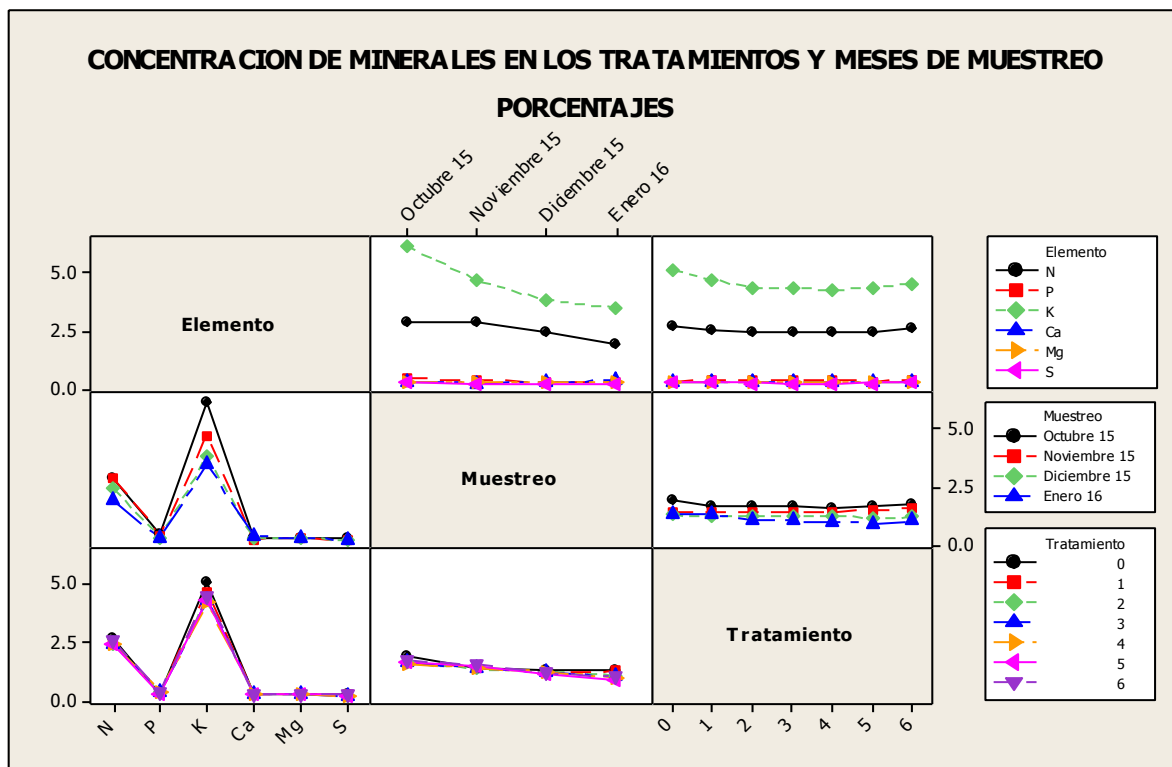
Como se muestra en la figura 5, los elementos que se encuentran por encima de la línea promedio son el nitrógeno y potasio, siendo este último el que presenta el valor más alto, ya que se encuentran por encima de 4%. Caso contrario ocurre con el fósforo, calcio, magnesio y azufre los cuales se encuentran muy por debajo de la línea promedio. Los meses en donde las concentraciones de estos nutrientes, de manera general, se encontraron por encima de la línea promedio fueron octubre y noviembre, disminuyendo las concentraciones en diciembre y enero.

En los diferentes tratamientos no se presentaron diferencias significativas ya que de forma general todos se mantuvieron en la media promedio. Los resultados obtenidos en el presente trabajo son parecidos a los reportados por Correa (2006) en pasto maralfalfa, quien reporta que la concentración de Ca, P y K fue más alta a los 56 días en comparación a los valores hallados a los 105 días, en tanto que la del Mg

fue menor a los 56 días. En general, la concentración de los minerales en los forrajes se reduce a medida que estos maduran (McDowell y Valle, 2000). Gomide et al. (1969) sin embargo, reportaron un incremento en las concentraciones de Ca y Mg en pasto elefante (*Pennisetum purpurem*) entre los 84 y 140 días de rebrote, en tanto que el K y el P, se redujeron.

Altas concentraciones de K tienen repercusiones negativas sobre otros minerales, particularmente Ca y Mg. Es así como se ha señalado que cuando la relación K/ (Ca + Mg) es superior a 2.2 (sobre una base iónica equivalente), la posibilidad de presencia de hipocalcemia se incrementa (Dugmore, 1998). En este trabajo la relación fue de 7.3 en las muestras recolectadas a 30 días, lo que implica que el suministro de este pasto a edades tempranas tendría mayor riesgo de poner en peligro el equilibrio de estos minerales en los animales que lo consuman, particularmente, en vacas periparturientas susceptibles a hipocalcemia (Horst *et al.*, 1997). Correa (2006) reportó que esta relación es de 3.0 y de 2.91 para el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a los 32 y 58 días de rebrote, respectivamente.

De acuerdo a la tabla de interpretación de análisis foliares para pastos de la CIA-UCR, es evidente que los niveles de K están altos, el N, P y Mg se encuentran en un rango óptimo y caso contrario con el Ca el cual se encuentra deficiente. Es importante aumentar los niveles de P, Mg y Ca y disminuir los del K, debido a que solo se consume un 60% del total del pasto (Cabalceta, 1999).



**Figura 6.** Valores en porcentaje de los macroelementos presentes en el pasto en los meses de muestreo y en los tratamientos.

En la figura 6 se observa que los niveles más altos de K se presentaron en el tratamiento 0 al cual no se le aplicó absolutamente nada, siendo el tratamiento 5 el que presentó el valor más bajo de K, este tratamiento corresponde a las dosis más altas de Ca, Mg, S y Si. Los valores de N, P, Ca, Mg y S no presentaron diferencias a nivel de tratamientos y muestreos. De igual manera podemos observar que la disminución del K se presentó de manera descendente de octubre a enero.

### Calcio

El valor promedio del calcio obtenido en el presente trabajo (0.3%) es ligeramente superior al encontrado por autores en la provincia de Cartago (Vargas *et*

al. 1980). Dicho valor es inferior al recomendado por la NRC (1987), de 0.43% para el ganado lechero en producción, lo que indica que el calcio es limitante para la producción lechera a base de forrajes en esta región (Cabalceta, 1999).

Los problemas de absorción de este elemento de puede deber ha:

- Generalmente la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  de la solución de suelo es cerca de 10 veces mayor que la de  $\text{K}^+$ . La tasa de absorción de  $\text{Ca}^{2+}$ , sin embargo, es generalmente menor que la del  $\text{K}^+$ . Este bajo potencial de absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  se debe a que el  $\text{Ca}^{2+}$  puede ser absorbido sólo por los ápices más jóvenes de la raíz, donde las paredes celulares de la endodermis están aún sin suberizar (Clarkson y Sanderson, 1978; Mengel, *et al.*, 1987).
- El calcio parece solo transportarse desde la solución de suelo a las partes superiores de las plantas a través de los ápices radiculares (Russell y Clarkson, 1976). Cualquier factor que evite el crecimiento de raíces nuevas (mala aireación, bajas temperaturas, etc.) puede, por lo tanto, limitar la absorción de Ca, induciendo así una deficiencia (Mengel, *et al.*, 1987).
- Los suelos de las explotaciones de ganado lechero están expuestos a diversos tipos de interacciones entre los animales, las plantas y el suelo. El pisoteo animal, tienen como resultado final su efecto en la compactación del suelo, lo cual termina afectando el hábitat de las raíces, microorganismos y la productividad de los pastos, ya que el suelo reduce su capacidad para retener agua y suministro de oxígeno (Salas, *et al.*, 2009).

## **Magnesio**

El contenido promedio del magnesio en el pasto analizado (0.30%) está por encima de los requerimientos del ganado de leche en producción (0.20%) (NRC,

1978) es importante mantener estos niveles, ya que por lo regular la absorción de magnesio es frecuentemente baja en suelos ácidos. Esto resulta no sólo de la baja disponibilidad del Mg asociada a condiciones ácidas, sino que también está relacionado directamente con el bajo pH. Según los experimentos de Grimme (1983), no es tanto la concentración de H<sup>+</sup> sino más bien el mayor nivel de Al lo que deprime la absorción de Mg<sup>2+</sup> (Mengel, *et al.*, 1987).

Las aplicaciones de magnesio son importantes para los pastos en relación a la nutrición animal. El manejo intensivo de praderas resulta con frecuencia en pastos con contenidos bajos de Mg disponible, que no satisfacen las necesidades de las vacas de leche, lo que en los animales puede provocar la tetania de la hierba (hipomagnesemia) (Mengel, *et al.*, 1987).

De acuerdo a lo mencionado por Cabalceta (1999) en la época seca es cuando se puede obtener mayores valores de Mg. Este comportamiento del mineral ha sido informado previamente por Andreasí, *et al.*, (1969) y puede deberse a la mayor producción de biomasa durante la época lluviosa y por lo tanto una mayor dilución del elemento.

## **Potasio**

Los valores de potasio que se obtuvieron en el pasto estudiado son similares a los encontrados por Correa (2008) en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia. Es de señalar que los altos contenidos de K en estas gramíneas se han resaltado como una causa potencial de hipomagnesemia (Correa 2006b, Meeske, *et al.*, 2006).

Cabe recalcar que a ninguno de los tratamientos se le aplicó alguna fuente de K, por lo tanto estos niveles altos de potasio se pueden deber a:



- En los suelos jóvenes derivados de materiales volcánicos presentan generalmente contenidos de arcilla y K altos (Mengel, *et al.*, 1987).
- En el sistema de pastoreo, una gran parte de los nutrimentos que consume el animal regresa al suelo en las heces y la orina. Se estima que más de 80% del nitrógeno, fósforo y potasio consumidos por el animal son excretados nuevamente (Cabalceta, 1999).
- Mengel, *et al.* (1987) menciona que el potasio se libera inicialmente por el agua y los ácidos débiles a una mayor velocidad que los otros constituyentes. A medida que progresa la meteorización, sin embargo, un residuo envolvente de Si-Al-O se forma alrededor del núcleo sin meteorizar. Esta capa reduce la velocidad de pérdida de K<sup>+</sup> del mineral y, por lo tanto, lo protege de una degradación intensiva posterior (Rich, 1972).

### Concentración de micronutrientes a nivel foliar

Se observó un incremento en el Zinc y Boro, elementos que se encuentran deficientes en el tipo de suelo en donde se estableció el trabajo experimental, en la concentración foliar a medida en que fueron pasando los meses y las lluvias fueron disminuyendo.

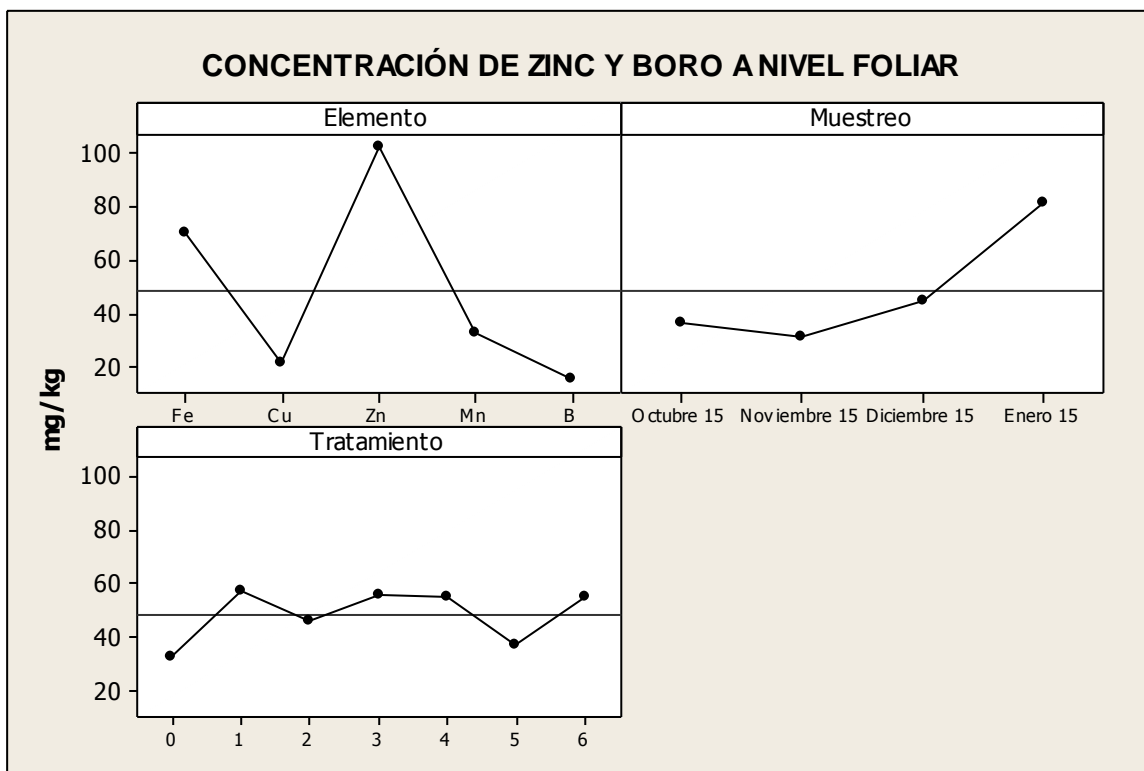
**Cuadro 3. ANVA (p<0.05), para la respuesta a la aplicación de zinc y boro a nivel foliar**

Fuente	GL	SC	CM	Fc	P
Elemento	4	149736	37434	27.51	0.000*
Muestreo	3	52994	17665	12.98	0.000*
Tratamiento	6	11832	1972	1.45	0.201
Error	126	171477	1361		

\*Significativo

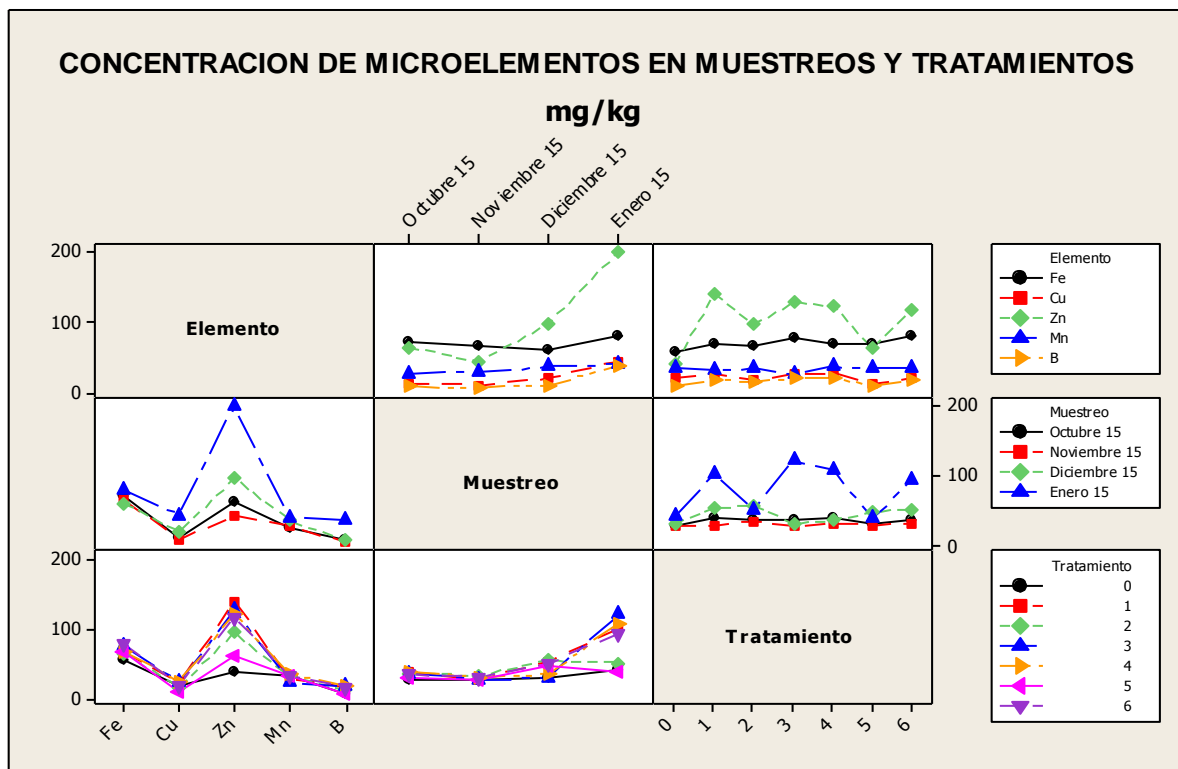
El análisis de varianza muestra significancia puesto que el valor de P<0.05 indica que al menos en alguno de los elementos y en uno de los muestreos se

produjo una respuesta positiva a la aplicación de microelementos (zinc y boro) deficientes en Andisoles.



**Figura 7.** Respuesta del pasto kikuyo a la aplicación de zinc y boro a nivel foliar

En la figura 7 se observa que los elementos que se encuentran por encima de la media promedio son el Fe y Zn, cuyas concentraciones son de 60 a 80 mg/kg y 100 mg/kg respectivamente. El Cu, Mn y B se encuentran por debajo de la media promedio. En cuanto a los meses en los que se realizaron los muestreos, se ve un incremento ascendente en la concentración de algunos de los microelementos, zinc específicamente, cabe destacar que en diciembre y enero las precipitaciones disminuyeron bastante con respecto a octubre y noviembre. Los tratamientos 1, 3, 4 y 6 son los que muestran valores por encima de la media promedio, siendo los tratamientos 0 y 5 los que están por debajo de esta, a este primero no se le realizó ninguna aplicación al suelo ni líquida y al segundo solo se le realizó la aplicación a nivel de suelo. Es evidente que hubo una mejor respuesta por la absorción del zinc que del boro.



**Figura 8.** Concentración de microelementos en los diferentes meses de muestreo y en cada uno de los tratamientos.

En la figura 8 se observa que en el mes de enero, en donde la precipitación disminuyó drásticamente, se dio la mayor absorción de zinc, cobre, manganeso y boro. Esta absorción se presentó más en los tratamientos 1, 3, 4 y 6.

## Zinc

Los valores del zinc son mayores a los presentados por el MAG-UCR en la Comunidad Internet para la Nutrición Animal Costarricense (s.f) en donde mencionan que los requerimientos de zinc del ganado lechero en producción oscilan de 43 a 55 mg/kg de materia seca. Los animales que se encuentran en periparto o sometidos a estrés pueden beneficiarse con niveles de 60 a 80 mg/kg de materia seca. Además sugieren que dietas con niveles de hasta 100 mg/kg de materia seca pueden ser beneficiosas para los animales. La relación zinc: cobre puede afectar la

biodisponibilidad del elemento, por lo que se recomiendan relaciones de 5:1 (Zn: Cu) (Weiss, 2000b). La relación recomendada anteriormente se logra cumplir en este trabajo con los valores que se obtuvieron.

## **Hierro**

En la figura 8 se observa que el valor del hierro sufrió una disminución de septiembre a noviembre, logrando su recuperación en el mes de enero con respecto al mes de septiembre. Los valores obtenidos en este trabajo se encuentran por debajo de los reportados por Sánchez (2002) en pasto kikuyo de la zona alta de Costa Rica cuyo valor promedio es de 249 mg/kg.

Los valores de hierro obtenidos en el presente trabajo se encuentran ligeramente por encima de los 50 mg/kg de MS establecido por la NRC (1978) como requerimiento del ganado lechero. Lo cual es bueno, debido a que según Standish y Ammerman (1971), niveles de 200 y 400 mg de Fe/kg en la dieta reducen la ganancia de peso y el consumo en rumiantes (Sánchez *et al.* 1986).

## **Cobre**

McDowell, *et al.*, (1984) han informado que después del fósforo, el cobre es el mineral más limitante para la producción del ganado bovino en pastoreo en zonas tropicales. Los valores de cobre encontrados (figura 8), son mayores a los reportados por Navajas (2011), en pasto *Brachiaria decumbens*, Sánchez (2002) y Sánchez, *et al.* (1986) en pasto kikuyo, cuyos valores son de 6.61 mg/kg, 11 mg/kg y 9 mg/kg respectivamente. Las recomendaciones de la NRC (2001) para vacas en producción y secas oscilan de 12 a 18 mg/kg de materia seca. Sin embargo, información reciente basada en estudios en que se ha evaluado la respuesta inmune y la resistencia a la mastitis han encontrado que niveles de 15 a 20 mg/kg en la materia seca de la dieta total son mejores, por lo que este es un mineral a suplementar en nuestros hatos de

ganado lechero (Weiss, 2000b). En la figura 7 se observa que este elemento tienen niveles de 21 mg/ kg.

## **Manganeso**

El valor del manganeso obtenido, en el pasto evaluado, en promedio fue de 31 mg/kg, como se observa en la figura 7, este valor es inferior a los encontrados por Sánchez, *et al.* (1987), Sánchez (2002) y Navajas (2011). En la figura 8 se observa un ligero incremento en la absorción de este elemento en el mes de enero, cuando la época seca comienza, lo cual concuerda con Sánchez, *et al.* (1987), que menciona que los niveles de Mn son mayores durante la época seca. Las concentraciones encontradas se pueden considerar adecuadas para la especie evaluada si se considera que para algunas gramíneas el Mn puede estar entre 20 y 200 mg/kg (Barker y Pilbeam, 2007).

## **Boro**

Aunque no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), en la figura 8 se puede observar un incremento a nivel foliar en el mes de enero, en los tratamientos 1, 3, 4 y 6, presentando, en promedio, valores de 18, 19, 20 y 18 mg/kg respectivamente. Estos valores se encuentran por debajo de los reportados por Navajas (2011) para *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* Mulato.

El boro es de interés en la producción de cultivos, tanto por los efectos que provoca su deficiencia como su exceso. Según Reisenauer *et al.* (1973) la deficiencia de B se da en un rango más amplio en cultivos y condiciones climáticas que las deficiencias de cualquier otro micronutriente. El boro es también de suma importancia para obtener cultivos de calidad y altos rendimientos (Mengel, *et al.*, 1987).

## Concentración de macroelementos en Andisol

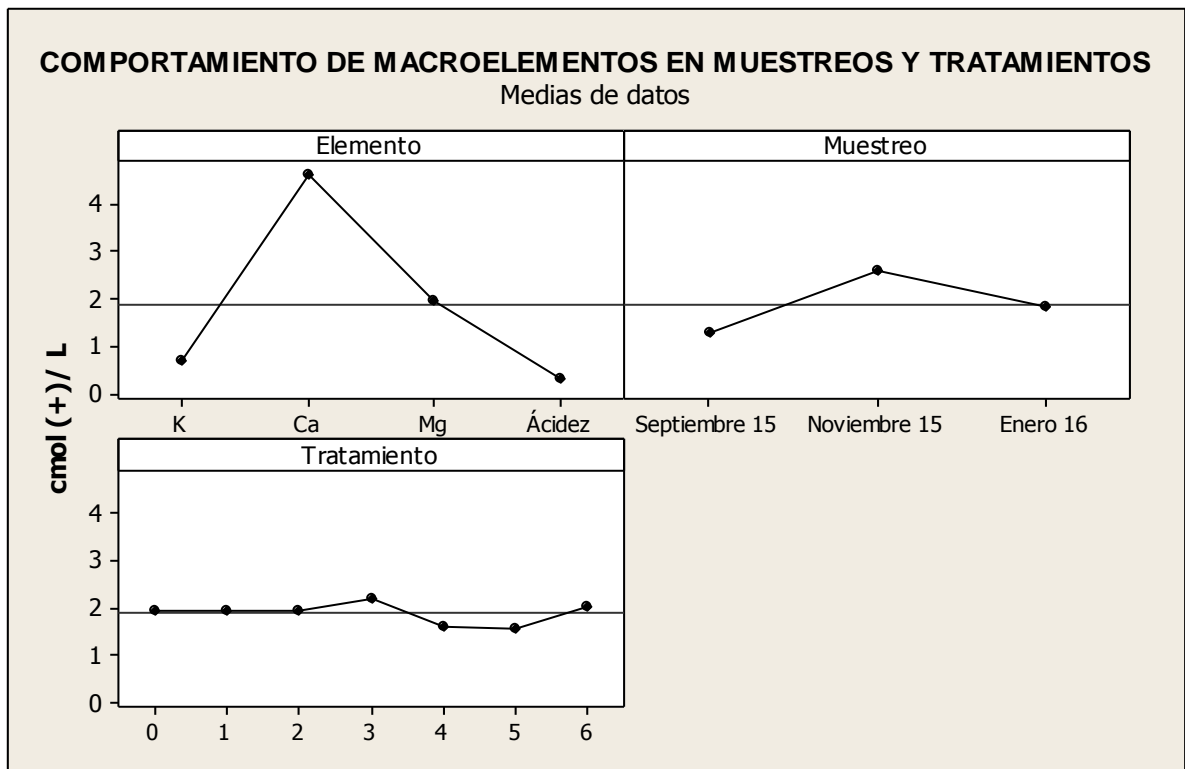
El comportamiento de las concentraciones de los macroelementos a nivel de suelo, de acuerdo a las dosis aplicadas de la enmienda y al complemento con aplicaciones líquidas al suelo, mostraron efectos significativos ( $P < 0.05$ ).

**Cuadro 4. ANVA ( $p < 0.05$ ), respuesta a la aplicación de enmienda**

Fuente	GL	SC	CM	Fc	P
Elemento	3	242.572	80.857	157.84	0.000*
Muestreo	2	23.777	11.888	23.21	0.000*
Tratamiento	6	3.654	0.609	1.19	0.322
Error	72	36.883	0.512		
Total	83	306.887			

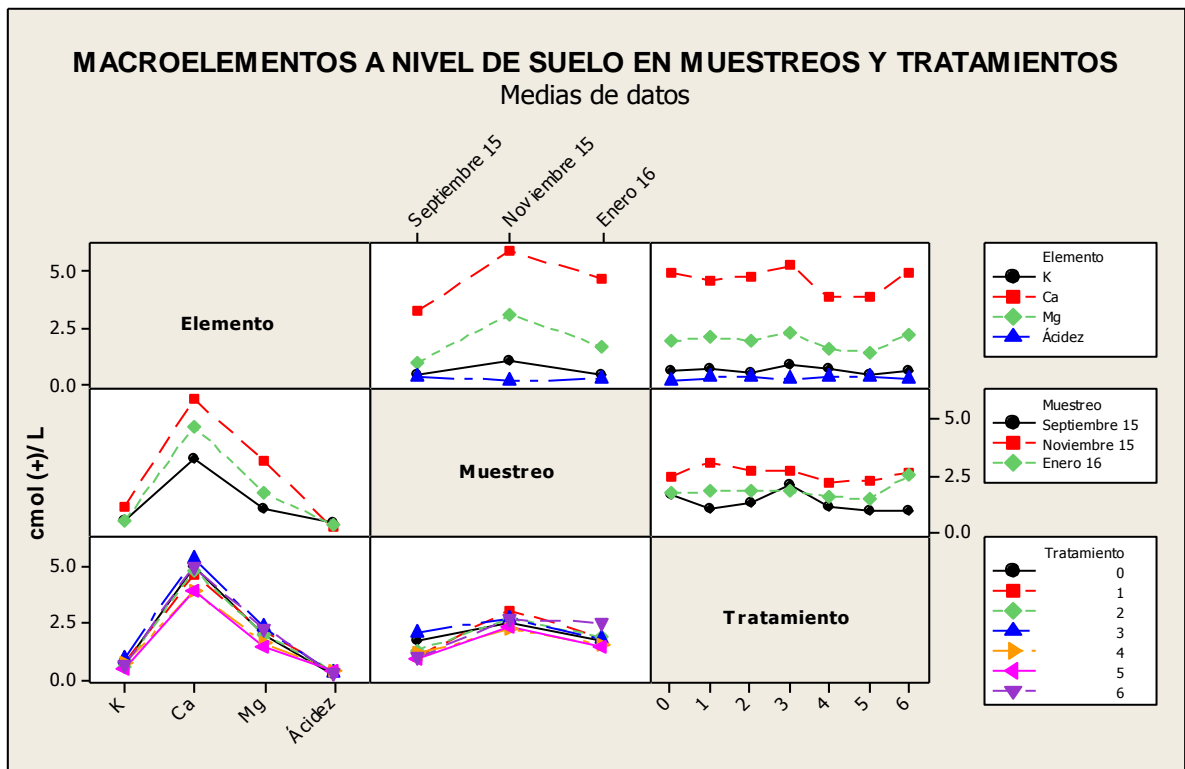
\*Significativo

El análisis de varianza muestra significancia puesto que el valor de  $P < 0.05$  indica que al menos en alguno de los elementos y fechas de muestreo se produjeron diferencias sobre la concentración de macroelementos en el suelo durante el tiempo que duro el experimento.



**Figura 9.** Comportamiento de los macroelementos en los diferentes meses de muestreo y en los tratamientos.

Como se puede observar en la figura 9, el Ca es el único elemento que se encuentra por encima de la media promedio, alcanzando valores mayores a 4 cmol/L, podemos ver que el Mg se encuentra sobre la media promedio, siendo el K y la acidez quienes se encuentran con valores inferiores. Se evidencia que las mayores concentraciones de los macroelementos se dieron en el mes de noviembre, por encima de la media promedio. En cuanto a los tratamientos no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), ya que presentaron un comportamiento similar, destacándose un poco el tratamiento 3 y posiblemente el 6.



**Figura 10.** Concentración de los macroelementos en los diferentes meses de muestreo y tratamientos.

En la figura 10 se observa una respuesta positiva a la aplicación de la enmienda compuesta por yeso agrícola, óxido de calcio y magnesio, carbonatos de calcio e hidróxido de calcio. La mayor concentración de Ca y Mg se presentó en el mes de noviembre, disminuyendo un poco en enero, pero aun así las concentraciones fueron mayores que en septiembre, esto nos hace suponer que la mezcla de las fuentes mencionadas anteriormente provoca una reacción rápida en el suelo.

Los valores encontrados en la concentración de Ca en este trabajo son parecidos a los encontrados por Campillo (1994), quien muestra en una tabla, que al aplicar 1.7 ton/ha de yeso obtuvo una concentración de 4.21 cmol (+)/ kg de Ca, esta cantidad es superior a la dosis más alta utilizada en este trabajo, la cual fue de 1.1 ton/h, la cual está compuesta por las fuentes mencionadas anteriormente.



La combinación de estos materiales son de gran importancia debido a que en el caso de los óxidos e hidróxidos neutralizan con mayor rapidez la acidez en el suelo, en el caso del yeso, aunque no es un alcalinizante, incrementa el calcio de intercambio y es más efectivo en reducir el aluminio intercambiable en el suelo que el carbonato de calcio, al ser más soluble, desciende más rápidamente en el perfil, luego los iones  $\text{Ca}^{2+}$  reemplazan a los iones  $\text{Al}^{3+}$  del complejo de intercambio, los cuales reaccionan con los iones  $\text{SO}_4^{-2}$  formando iones  $\text{AlSO}_4^+$  que no son fitotóxicos (Tanaka, *et al.*, 1987).

### **Biomasa (materia verde y seca)**

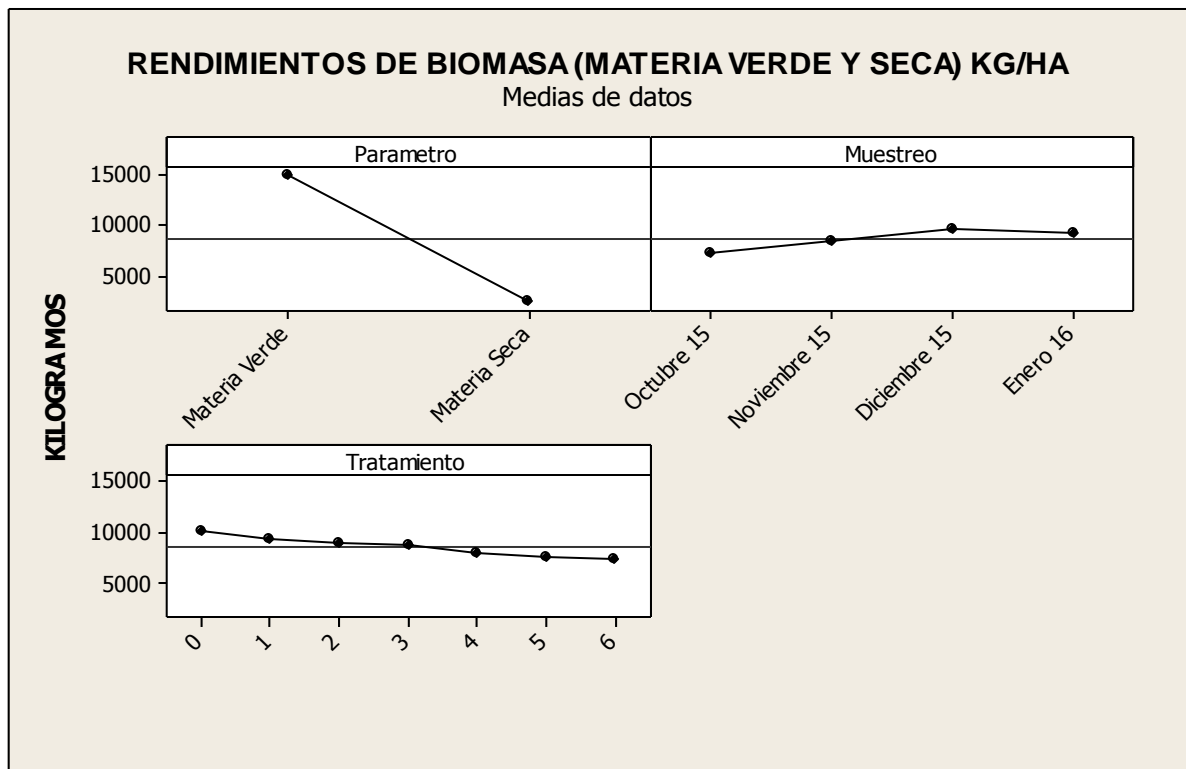
Un incremento en la producción de biomasa, se traduce en una mayor disponibilidad de forraje para los animales, y más aún en le época seca en donde los rendimientos de este se ven notablemente disminuidos debido a la escasez de lluvias. En el trabajo se logra ver un incremento en la producción tanto de materia verde como seca de manera ascendente de octubre a enero, tiempo que duro el monitoreo del trabajo experimental.

**Cuadro 5. ANVA ( $p < 0.05$ ), para monitoreo de biomasa (materia verde y seca)**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>P</b>
Elemento	1	2176105627	2176105627	563.97	0.000*
Muestreo	3	44563389	14854463	3.85	0.016*
Tratamiento	6	47759563	7959927	2.06	0.077
Error	45	173633481	3858522		
total	55	2442062059			

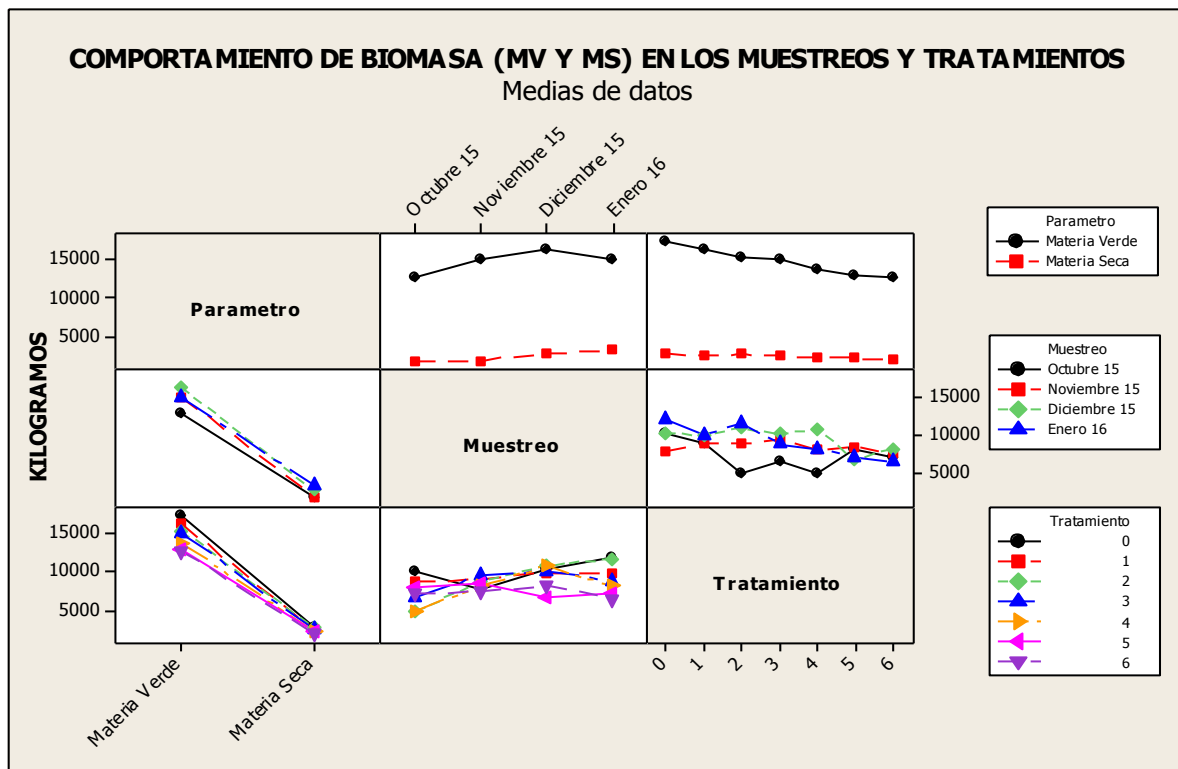
\*Significativo

El análisis de varianza muestra significancia puesto que el valor de  $P < 0.05$  indica que en alguno de los elementos y de los muestreos se produjo una respuesta positiva en el incremento de materia verde y materia seca.



**Figura 11.** Comportamiento de la biomasa del pasto kikuyo tanto en materia verde como seca en los diferentes meses de muestreo y tratamientos.

En la figura 11 se observa que los rendimientos de materia verde del pasto evaluado son superiores a la media promedio, alcanzando niveles cercanos a los 15000 kg/ha de materia verde y niveles inferiores a los 5000 kg/ha de materia seca. Es evidente que el incremento en el rendimiento del pasto kikuyo, conforme pasaron los meses, fue en aumento. Aunque no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los tratamientos, se puede ver que los tratamientos 0, 1 y 2 se encuentran ligeramente por encima de la media promedio, caso contrario con los tratamientos 4, 5 y 6 que se mantuvieron ligeramente por debajo de la media promedio.



**Figura 12.** Comportamiento de los rendimientos de materia verde y seca en los diferentes meses de muestreos y tratamientos.

Los resultados obtenidos (figura 12) muestran un incremento ascendente de octubre a enero, en materia verde y seca. El tratamiento 0 presentó el mejor rendimiento en biomasa y el tratamiento 2 presentó un mayor rendimiento en materia seca. De manera muy general los muestreos realizados en diciembre y enero mostraron un mejor rendimiento, destacando que fueron los meses en que la precipitación fue poca.

Esta mejora en los rendimientos en los tratamientos 1, 2 y 3 se puede deber a la respuesta positiva a la aplicación de zinc y boro a nivel foliar, como se observó en la gráfica 3. Mengel, *et al.* (1987) menciona que De (1974) encontró significativos

aumentos de rendimiento en grano en mijo perlado por una aplicación de  $ZnSO_4$  en suelos arenosos de la India. Aplicaciones de zinc y yeso han demostrado ser, con frecuencia, especialmente beneficiosas (Takkar y Singh, 1978). El boro es también más importante que cualquier otro micronutriente para obtener cultivo de calidad y altos rendimientos.

Pérez, *et al.* (2015) reportó que la aplicación de B en forma foliar, en caña establecida en suelos derivados de cenizas volcánicas en Guatemala, produce un incremento del 20% de peso en caña e incrementos del orden del 15% con las aplicaciones al suelo. Al igual en las aplicaciones de zinc se obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en suelos del orden Vertisol y Entisol, en donde se tuvo un incremento medio de 15% de caña con la aplicación de 10 kg de Zn  $ha^{-1}$ . Esto indica que las aplicaciones foliares de B nos ayudan a corregir la deficiencia de B presentes en los Andisoles al igual que las aplicaciones de Zn.

Los rendimientos en la producción de materia seca obtenidos en el presente trabajo difieren un poco con respecto a los rendimientos obtenidos por Villalobos, *et al.* (2013), en la producción por ciclo ( $kg \cdot ha^{-1}$  de MS) en estrella africana, kikuyo y ryegrass, cuyos valores fueron de 3185, 3517 y 3360, respectivamente.

### **Valor nutricional**

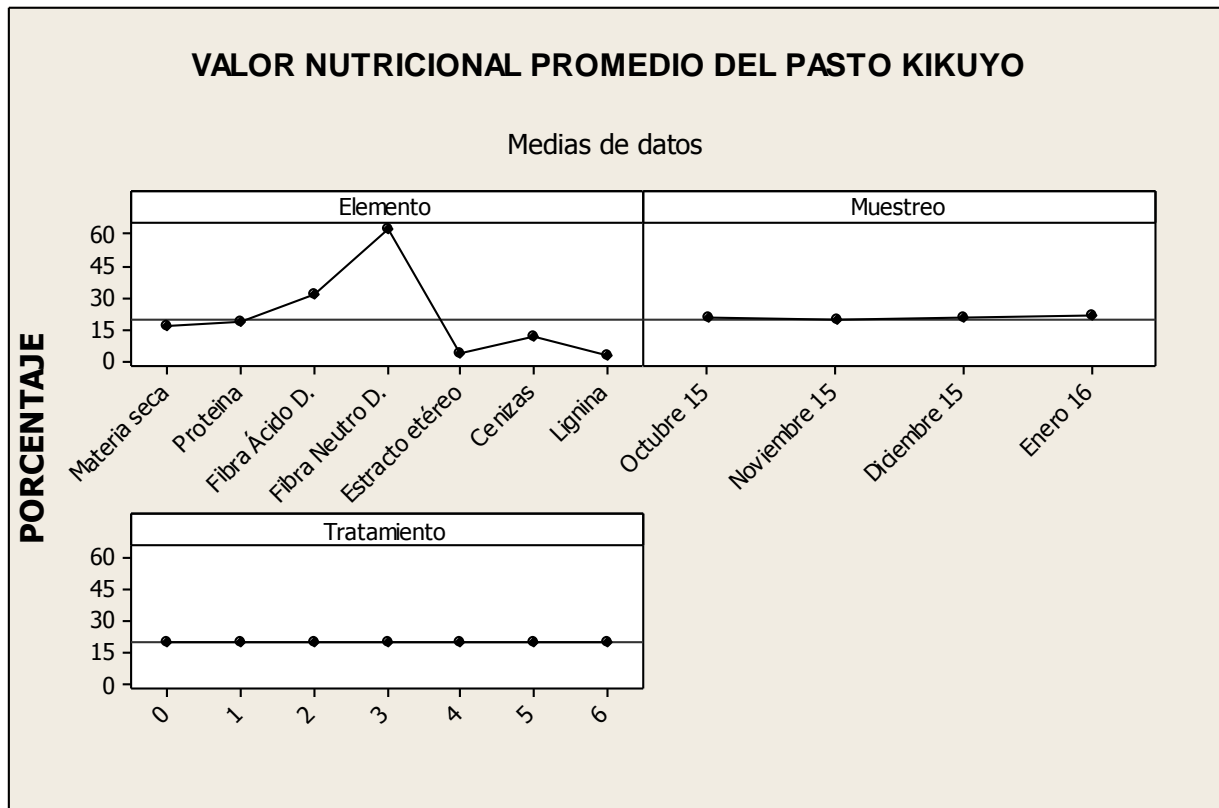
Con respecto al valor nutricional de los pastos y forrajes tropicales, la relación entre la composición química y biológica de los mismos y los requerimientos nutricionales de los hatos de ganado bovino, indican que los pastos y forrajes son de mediano a bajo valor nutricional (Sánchez, 2007).

**Cuadro 6. ANVA ( $p < 0.05$ ) valor nutricional del pasto kikuyo**

Fuente	GL	SC	CM	Fc	P
Elemento	6	73060.4	12176.7	2590.4	0.000*
Muestreo	3	82.3	27.4	5.83	0.001*
Tratamiento	6	2.8	0.5	0.10	0.996
Error	180	846.1	4.7		
Total	195	73991.7			

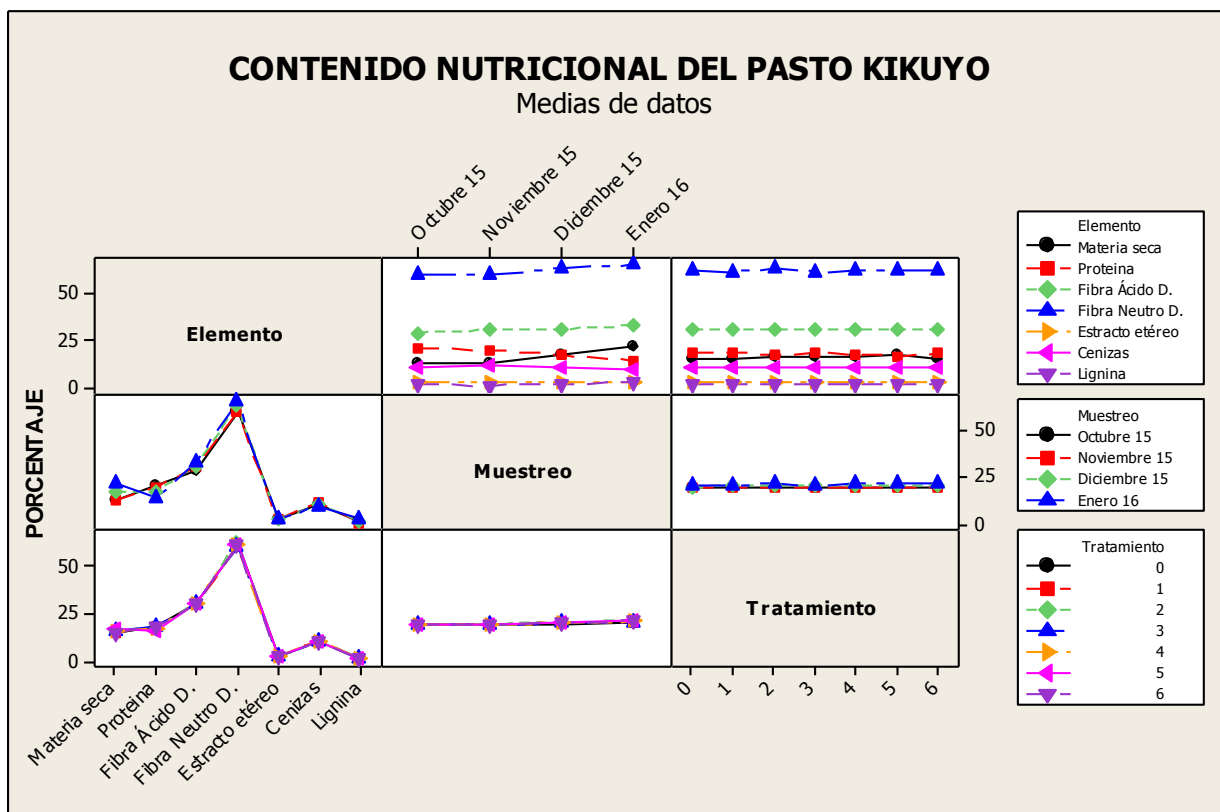
\*Significativo

El análisis de varianza muestra significancia puesto que el valor de  $P < 0.05$  lo cual indica que al menos en alguno de los elementos evaluados y en las fechas de muestreo se produjeron efectos diferentes sobre el valor nutricional del pasto.



**Figura 13.** Valor nutricional promedio del pasto kikuyo en los diferentes meses de muestreo y tratamientos.

En la figura 13 se observa que los valores de las determinaciones de fibra ácido detergente y neutro detergente se encuentran por arriba de la media promedio, con valores de 60 y 30 % respectivamente, siendo la materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas y lignina los que están por debajo de la media promedio. En cuanto a las fechas de muestreo se observa que se presentó un ligero incremento ascendente en la concentración de los parámetros evaluados en los análisis bromatológicos. Los tratamientos mostraron el mismo comportamiento.



**Figura 14.** Comportamiento del valor nutricional del pasto kikuyo en los diferentes tratamientos y en las fechas de muestreo.

En la figura 14 se observa que la fibra ácido detergente y neutro detergente tuvieron un incremento ascendente de octubre a enero, dándose la mayor concentración en los meses de diciembre y enero, meses en los cuales la precipitación fue escasa. Los valores de la proteína presentaron una disminución en la concentración de octubre a

enero. Los tratamientos mostraron el mismo comportamiento, no habiendo así diferencia significativa ( $p>0.05$ ).

**Cuadro 7. Composición nutricional (base seca) del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) de acuerdo a cada tratamiento.**

Tratamiento	PC	FDA	FDN	EE	Cen.	Lign.
<b>T0</b>	15.1	30.8	61.6	2.9	10.8	1.8
<b>T1</b>	15.4	30.9	61.3	2.9	10.9	1.8
<b>T2</b>	16.8	31.2	63.1	2.8	10.8	1.9
<b>T3</b>	15.9	30.7	61.2	2.9	10.9	1.7
<b>T4</b>	16.4	30.8	62.2	2.8	11.0	1.7
<b>T5</b>	17.1	31.0	62.6	2.8	10.6	2.0
<b>T6</b>	15.7	31.2	61.9	2.7	10.9	2.1
<b>Promedio</b>	<b>16.05</b>	<b>30.9</b>	<b>61.9</b>	<b>2.8</b>	<b>10.8</b>	<b>1.8</b>

PC= proteína cruda, MS= materia seca, FDA= fibra detergente ácido, FDN= fibra detergente neutro, EE= extracto etéreo, Cen= cenizas, Lign= lignina.

## Proteína

En el cuadro 7 se observa que el contenido promedio de PC en este pasto (16.05%) es inferior a lo reportado por Correa (2008a) y Sossa, *et al.* (2015) con 20.5 y 20.6% respectivamente, en pasto kikuyo. Los promedios hallados de PC en este pasto son más bajos que el requerimiento para vacas Holstein de alta producción al inicio de la lactancia de acuerdo a la NRC (2001) (20.3%). El alto contenido de proteína en este pasto se debe a que normalmente es sometido a intensos programas de fertilización nitrogenada (Carulla, 1999, Rodríguez, 1999) y es pastoreado a edades más cortas (Laredo y Mendoza, 1982).

Los niveles de PC encontrados en el presente trabajo se debe a las dosis bajas de N aplicadas, debido a que la fertilización nitrogenada, sin embargo, conlleva a modificaciones en la calidad nutricional de las pasturas, que no son visibles a los

productores, pero que generan muchos efectos negativos a nivel productivo (Van Horn *et al.* 1994), reproductivo (Butler 1998), económico (Vandehaar 1998, Hanigan 2005) y ambiental (Knowlton 1998, Lapierre *et al.* 2005) que ponen en riesgo la sostenibilidad y competitividad de los sistemas de producción basados en esta gramínea. Una de estas modificaciones es precisamente el incremento en el contenido de proteína cruda (Orozco 1992, Rodríguez 1999, Soto *et al.* 1980, Urbano 1997).

En la figura 14 se observa que el valor de la PC, en cada uno de los tratamientos, fue casi el mismo. Por lo que, no es necesario aplicar fertilización nitrogenada después de cada pastoreo. Soto *et al.* (2005) encontraron, sin embargo, que no es necesario fertilizar después de cada pastoreo cuando se trata de conservar la calidad nutricional del pasto kikuyo. En su trabajo, estos autores dejaron de aplicar N durante cuatro cortes cada 30 días o dos cortes cada 60 días a parcelas de pasto kikuyo sin que se observaran diferencias significativas en la calidad nutricional de este pasto, incluida la proteína, cuyo promedio permaneció en 19.04%. Los autores argumentaron que esto podría ser debido a la presencia de nutrientes remanentes en el suelo, que serían suficientes para conservar la composición química de esta gramínea.

La edad a la cual son pastoreados los potreros de kikuyo, por su parte, también ha alterado la calidad nutricional de este pasto. Es bien sabido que en la medida en la que se incrementa la edad de rebrote, menor es la digestibilidad y, por ende, el valor nutricional de los pastos (Lyons *et al.* 1997), incluyendo el kikuyo (Caro y Correa 2006, Fukumoto y Lee 2003, Kamstra *et al.* 1966, Rodríguez 1999). Es por esta razón que el pastoreo a edades cada vez menores, es la alternativa que encuentran los productores para compensar las mayores demandas nutricionales y energéticas del ganado lechero, a medida que se ha incrementado su valor genético para la producción de leche.



## **Fibra en detergente neutro**

Los contenidos de FDN encontrados en este trabajo (Cuadro 7) son superiores a los valores encontrados por Correa (2006) de 54.7% en pasto maralfalfa cosechado a los 56 días de rebrote, Sossa (2015) reporta valores de 57.1%, lo cual hace deducir que la edad en que se coseche influye directamente en la concentración de FDN.

Miles *et al.* (2000), por su parte, señalan que el contenido de FDN en este pasto se encuentra en un rango que va desde 42.3 hasta 84% de la MS. El pasto kikuyo presenta, sin embargo, valores más altos de FDN que los rye grasses (Lee *et al.* 2002, Smit, *et al.* 2005, Taweel *et al.* 2005). Para Marais (2001) el alto contenido de FDN del pasto kikuyo es uno de los factores más limitantes para la producción de leche por su relación negativa con la digestibilidad de la MS y, por lo tanto, con la energía disponible.

## **Extracto etéreo**

Los valores de EE encontrado en este trabajo (Cuadro 7) son mayores a los reportados por Correa (2006) en pasto maralfalfa, pero inferiores a los reportados por Correa (2008 a) en pasto kikuyo, cuyos valores son de 2.51 y 3.63 % respectivamente. Miles *et al.* (2000) reportan valores que oscilan entre 0.56 y 5.81% de la MS.

El contenido de EE, sin embargo, no es un parámetro suficiente para establecer el valor nutricional de los alimentos para rumiantes, debido a la relación que se ha evidenciado entre el contenido de ácido grasos saturados en la leche y la carne bovina y la salud de los consumidores (Bauman *et al.* 1999). En el caso particular del ganado lechero, se ha establecido una relación directa entre su contenido de ácidos grasos saturados e insaturados en la leche y la cantidad de

forraje consumido por las vacas (Dhiman *et al.* 1999). Esto se debe, en buena medida, a la composición de ácidos grasos en los forrajes (Correa, 2008a).

## **Cenizas**

El contenido de cenizas del pasto kikuyo presentado en el cuadro 7 se encuentra ligeramente superior a lo reportado por Correa *et al.* (2008a) y Correa (2006) en pasto kikuyo y maralfalfa respectivamente. Pero inferior a lo reportado por Sossa (2015) para pasto kikuyo.

El contenido de cenizas totales no solo es importante por su relación directa con la concentración de ciertos minerales en particular, si no, por su relación con el contenido de energía de los forrajes. Dado que los minerales no aportan energía, en la medida en que su concentración se incrementa, en esa medida se reduce la cantidad de energía disponible en los alimentos (NRC, 2001).

## **Lignina**

El contenido de lignina en promedio, en las muestras de pasto kikuyo recolectadas en el presente trabajo, es de 1.8%, valor inferior al que reporta Correa *et al.* (2008a) que es de 5.88% de lignina en muestras recolectadas en Antioquia. Sossa (2015) reportó valores de 3.65% de lignina en muestras de pasto kikuyo. Correa (2006), por su parte, reporta valores de 7.05 % de lignina en pasto maralfalfa cosechado a los 56 días.

Aunque ha sido reportado que el contenido de lignina en el pasto kikuyo se incrementa con la edad de rebrote (Kamstra *et al.* 1966), trabajos recientes indican que esta fracción no se modifica significativamente (Caro y Correa 2006, Soto *et al.* 2005) o, por el contrario, se reduce con la edad de rebrote (Soto *et al.* 1980). Esto podría deberse a que el hábito de crecimiento de esta forrajera favorece la relación hoja: tallo, y esta no se modifica substancialmente con la edad impidiendo, así, que

la composición química del pasto cambie marcadamente (Caro y Correa 2006, Zapata 2000).

#### **IV. CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados expuestos anteriormente, se concluye lo siguiente:

A nivel de suelo se logró incrementar los niveles de Ca y Mg, así como también un ligero incremento del K. Esto lleva a revisar las relaciones de Ca/ Mg, Ca/K, Ca+Mg/K y Mg/K, debido a que el exceso de alguno de estos elementos interfiere con la absorción de los demás.

A nivel foliar no se logró una disminución significativa del K ni tampoco se logró incrementar los niveles de Ca y Mg a pesar de que se lograra un incremento de estos elementos a nivel del suelo.

Las aplicaciones de 6.3 kg de Zn y 3 kg de B, realizadas en drench (aplicación a la base de la planta) produjeron un incremento en la biomasa ofertada al ganado, esto complementado con aplicaciones foliares de 0.7 y 0.3 kg de Zn y B respectivamente.

El pasto kikuyo cortado a los 33 días presentó el mejor contenido nutricional, lo cual permite que el ganado que lo consuma, pueda aprovechar de una mejor manera este forrajes.

## V. RECOMENDACIONES

- ✓ Tomar en cuenta el grado de compactación del suelo y realizar el cálculo de la capacidad de carga que pueden soportar los potreros, debido a que cuando se excede la capacidad de carga el grado de compactación aumenta y por ende disminuye la aireación en el suelo, lo cual influye directamente en la producción de raíces nuevas, las cuales se encargan de la absorción de los nutrientes presentes en la solución del suelo.
- ✓ Utilizar hongos micorrizales, experimentos de Sanders y Tinker (1973) han demostrado que la infección de las raíces por hongos micorrizales endotróficos puede estimular el crecimiento de la planta, incrementando la tasa de absorción de fosfatos.
- ✓ Seguir trabajando con enmiendas que estén compuestas por óxidos, hidróxidos, sulfatos y carbonatos, debido a que cada uno realiza funciones diferentes en el suelo, lo que ayuda a mejorar sus características físico-químicas.

## VI. REVISION DE LITERATURA

- Andrade, M.** (2006). Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 226 p.
- Arias, A.** (2001). Suelos tropicales. San José, Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia.
- Altieri, M.** y Yurjevic, A. (1919). La agroecología y el Desarrollo Rural Sostenible en América Latina. Agroecología y Desarrollo. CLADES. Año2. No. 1: 25-36 p.
- Barker, A., D. Pilbeam.** (2007). Handbook of plant nutrition. CRC press Taylor & Francis group. New York. 613p.
- Bauman, D E.;** Baumgard, L H.; Corl, B A. y Griinari, J M. (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants; Proceedings of the American Society of Animal Science. Indianapolis, Indiana. 15 p.
- Bertsch, F.** (1995). La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bertsch, F.;** Alvarado, A.; Henríquez, C. y Mata, R. (2000). Properties, geographic, distribution, and management of major soil orders of Costa Rica. In Hall, Ch. A. S. ed. Quantifying sustainable development: the future of tropical economies. San Diego, California, USA, Academic Press. p. 265-294.
- Bertsch, F.;** Mata, R. y Henríquez, C. (1993). Características de los principales ordenes de suelos presentes en Costa Rica. IX Congreso Agropecuario y de

Recursos Naturales. San José, Costa Rica. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_ix/A01-1277-15.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_ix/A01-1277-15.pdf)

**Black, C.** (1975). Relaciones Suelo-Planta (Tomo I). 2<sup>nd</sup> ed. Buenos Aires, Argentina. Editorial Hemisferio Sur, S.R.L.

**Cabalceta, G.** (2012). Caracterización de los principales suelos utilizados en Costa Rica para la producción de forrajes. Memorias Congreso Nacional Lechero. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.proleche.com/index.php/component/content/article?id=76>.

**Cabalceta, G.** (1999). Fertilización y Nutrición de Forrajes de Altura. XI Congreso Agronómico Nacional y de Recursos Naturales, III Congreso Nacional de Suelos, San José, Costa Rica. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_239.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_239.pdf)

**Campillo, R.** (1994). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la Décima Región. En: Campillo y Bortolameolli (ed.). Corrección de la fertilidad y uso de enmiendas en praderas y cultivos forrajeros. Serie Remehue, N°53. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Remehue, Osorno, Chile. 135p.

**Campos, A., Oleschko, K., Cruz, L., Etchevers, J. e Hidalgo, C.** (2001). Estimación de Alofano y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del Volcán Cofre de Perote. Revista Terra, 19: 105-116.

**Caro, F. y Correa, H J.** (2006). Digestibilidad posruminal aparente de la materia seca, la proteína cruda y cuatro macrominerales en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. Livestock Research for Rural Development. Volumen 18, Article # 10.

**Carrera, I.** (2011). Fertilización del kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) con tres fuentes nitrogenadas, dos sólidas y una líquida en tres niveles y dos frecuencias (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4815/1/T-ESPE-IASA%20I-004575.pdf>.

**Cepeda, J.** (1991). Química de suelos. México: Trillas: UAAAN.

**Correa, HJ.; Pabón, ML. y Carulla, JE.** (2008a). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Lives. Res. Rural Develop.* 20(4): Article # 59.

**Correa, HJ.; Pabón ML. y Carulla, JE.** (2008b). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. *Lives. Res. Rural Develop.* 20(4): Article # 61.

**Correa, HJ.** (2006). Calidad nutricional del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp*) cosechado a dos edades de rebrote. *Livestock Research for Rural Developmen* 18(6). Obtenido de <http://www.lrrd.org/lrrd18/6/corr18084.htm>

**Cortés, G.** (1994). Atlas Agropecuario de Costa Rica. San José, Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia.

**Elizondo, J.; Sánchez, J.** (2011). El balance catión-anión y su relación con la incidencia de fiebre de leche y otras enfermedades. *Revista Universidad Técnica Nacional*, N° 57, 70-73.

- Espinosa, J.** (2004). Fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Revista Informaciones Agronómicas*, N° 55, 5-8. Consultado en [http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/0/CEC4BFDD2064C828852579A30074A96C/\\$FILE/Inf-Agro.55.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/0/CEC4BFDD2064C828852579A30074A96C/$FILE/Inf-Agro.55.pdf)
- Fassbender, H.** (1980). *Química de Suelos: con énfasis en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Hughes, H.; Heath, M. y Metcalfe, D.** (1970). *Forrajes: La Ciencia de la Agricultura basada en la Producción de Pastos*. Compañía Editorial Continental, S. A. pp. 65-66.
- Ibáñez, J.; Manríquez, F.** (2012). Andosoles en Latinoamérica (WRB, 1998). Consultado de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/01/17/140659>.
- Ibáñez, J.; Manríquez, F.** (2011). Los Andosoles (WRB 1998): Suelos Volcánicos. Consultado de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/11/23/140258>.
- Kamstra L D.; Stanley R W. y Ishizaki S M.** (1966). Seasonal and Growth Period Changes of Some Nutritive Components of Kikuyu Grass. *The Journal of Range Management* 19: 288 – 291.
- León, J.** (2000). *Botánica de los cultivos tropicales*. (3ª ed.). San José, Costa Rica.: Editorial Agroamérica.
- Lizcano, A.; Herrera M. y Santamarina, J.** (2006). Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6(2), 167-198. Consultado en <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/116/115>.



**Lobo, M.;** Díaz, O. (2001). Agrostología. San José, Costa Rica.: Universidad Estatal a Distancia.

**López, R.** (1986). Relación del pH en NaF con las propiedades útiles en la caracterización de los Andisoles de la Sierra Nevada. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. Pp. 9-15.

**McDowell, L.;** Conrad, J.; Ellis, G. y Loosli, J. (1984). Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Gainesville, Universidad de Florida, Departamento de Ciencia Animal. 91 p.

**Méndez, V.;** Monge J. (2003). Costa Rica: Historia Natural. San José, Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia.

**Mengel, K. y Kirkby, E.** (1987). Principios de nutrición vegetal. 4ª edición. Brinkman, Mulhouse, Francia. Ed. International Potash Institute.

**Miles N.;** Thurtell L. y Riekert S. (2000). Quality of Kikuyu herbage from pastures in the Eastern Cape coastal belt of South Africa. South African Journal of Animal Science 30 (Supplement 1): 85 – 86

**Moreno, H.;** Ibañez, S. y Gisbert, J. (2011). Andisoles. Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13676/Andisoles.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

**Navajas, V.** (2011). Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* Mulato. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. Pp 42-47. Consultado de

<http://www.bdigital.unal.edu.co/5276/1/victormanuelnavajasmartinez.2011.pdf>

**NRC** (National Research Council) 2001. The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.

**Ortiz, A.** (2015). Respuesta del pasto kikuyo a la inocuidad: con hongos micorrícicos y a diferentes niveles de nitrógeno y fósforo. Tesis de Maestría. Universidad de Antioquia. Obtenido de [http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/3528/1/OrtizAcevedoA\\_2015\\_Respuestaspastokikuyo.pdf](http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/3528/1/OrtizAcevedoA_2015_Respuestaspastokikuyo.pdf)

**Pérez, O.;** Hernández, F.; Velasquez, A.; Ramírez, C.; Tayun, J.; San Juan, L.; Duarte, R.; Azañon, V.; Martínez, C.; Melgar, M.; Sacbaja, A. y Merino, A. (2013). Avances en las evaluaciones de boro y zinc en el cultivo de caña de azúcar en suelos derivados de ceniza volcánica de Guatemala. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 20. Pp 30-33.

**Salas, R. y Cabalceta, G.** (Noviembre, 2009). Manejo del sistema suelo-planta: Partida para la producción de forrajes. Bloque 4. Producción de forrajes: clave para el éxito de la lechería. Congreso Nacional Lechero. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.proleche.com/recursos/documentos/congreso2009/Manejo-del-sistema-suelo-pasto.pdf>.

**Sánchez, J.** (2007). Utilización eficiente de las pasturas en la alimentación del ganado lechero. XI Seminario de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. Barquisimetro, Venezuela, pp. 14-28. Recuperado de [http://www.avpa.ula.ve/eventos/xi\\_seminario/Conferencias/Articulo-2.pdf](http://www.avpa.ula.ve/eventos/xi_seminario/Conferencias/Articulo-2.pdf).

- Sánchez, J.** (2002). Uso de Recursos Tropicales en la Alimentación del Ganado Lechero. Curso “Actualización en la Nutrición del Ganado Lechero”. Balsa, Atenas, Costa Rica, 24 p. Recuperado de <http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/Alimentos%20tropicales.pdf>
- Sánchez, J.;** Vargas, E.; Campabadal, C. y Fonseca, H. (1986). Contenido proteico y minerales en los forrajes de la zona montañosa central de Costa Rica. Efecto de la época climática y el estado vegetativo. *Agronomía Costarricense*, 10 (1/2): 179-190. Consultado de [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v10n01-2\\_179.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v10n01-2_179.pdf)
- Sánchez, P.** (1981). Suelos del Trópico: características y manejo. Traducido del inglés por Adilberto Camacho (1ed). San José, Costa Rica: IICA.
- Soto, C.;** Valencia, A.; Galvis, R D y Correa, H J (2005). Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Volumen 18 (1): 17 - 26.
- Soto, L.;** Laredo, M A. y Alarcón, E. (1980). Digestibilidad y consumo voluntario del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) en ovinos bajo fertilización nitrógenada. *Revista ICA*, 15 (2): 79 – 90.
- Tamhane, R.;** Motiramani, D. y Bali, Y. (1978). Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. México, D.F. Editorial Diana.
- Tanaka, A.;** Tadano, T.; Yamamoto, K. y Kamamura, N. (1987). Comparison of toxicity to plants among  $Al^{+3}$ ,  $AlSO_4^+$ , and Al-F complex ions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 33(1): 43-55.

**Universidad de Costa Rica;** Ministerio de Agricultura y Ganadería (s.f.). Minerales en los Pastos Tropicales. Comunidad Internacional para la Nutrición Animal Costarricense. Consultado en <http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/minpt.htm>.

**Vargas, B.;** Solís, O.; Sáenz, F. y León, H. (2013). Caracterización y clasificación de hatos lecheros en Costa Rica mediante análisis multivariado. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 257-275.

**Ventura, M.** (2008). Alimentación: rol en la sostenibilidad del sistema de producción de ganadería bovina Doble Propósito. *Desarrollo Sostenible de la Ganadería de Doble Propósito*. Obtenido de [http://www.avpa.ula.ve/libro\\_desarrollosost/pdf/capitulo\\_35.pdf](http://www.avpa.ula.ve/libro_desarrollosost/pdf/capitulo_35.pdf).

**Villalobos, L.;** Arce, J. y WingChing, R. (2013). Producción de biomasa y costos de producción de pastos Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), Kikuyo (*Kikuyuoclos clandestina*) y Ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 37 (2): 91-103.

**Weiss, W.** (2000b). Update on Mineral Requirements for Dairy Cattle. IN: *Curso de Nutrición de Ganado Lechero*. Balsa, Atenas. Costa Rica. 1-10p.

**Zapata, F. (2000).** Kikuyo; *Especies Forrajeras Versión 1.0*. Colombia: Agrosoft Ltda.

## VII. ANEXOS



### CONSTANCIA DE TRABAJO UNIVERSITARIO

AGROANÁLISIS DE COSTA RICA – LABORATORIO QUÍMICO  
Grecia, Alajuela, Costa Rica.  
Cédula Jurídica 3-101-248437  
Teléfonos: Lab: 2494-0592/ Fax: 2444-2046 / Cel: 8891-4181  
Correo Electrónico: [edugonz@ice.co.cr](mailto:edugonz@ice.co.cr)

CÓDIGO AG-R01 Versión 01  
Pág. 1 de 1

Grecia, 5 de mayo del 2016

Señores:  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Los análisis de suelo y foliares fueron realizados en el laboratorio Agroanálisis de Costa Rica, bajo la supervisión del químico Eduardo González Rojas código profesional 975, dichos análisis corresponden al trabajo de tesis titulado: Balance iónico Ca, Mg, K en un suelo Andisol y calidad nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), el cual fue realizado por César Rodríguez Anrrubio.

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

  
Eduardo González Rojas  
Químico





09/05/2016

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Mediante el presente documento hago constar que los análisis bromatológicos fueron realizados en los laboratorios de la Cooperativa Productores de Leche Dos Pinos, bajo la supervisión del Ing. Danny Fallas, dichos análisis corresponden al trabajo de tesis titulado: Balance iónico Ca, Mg, K en un suelo Andisol y calidad nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), el cual fue realizado por Cesar Rodríguez Anrrubio.

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Ing. Danny Fallas Corrales.

Coordinador Proyectos de Investigación.

CEBS-DOS PINOS.



# Mapa de Ordenes de Suelos de Costa Rica

