

**RESPUESTA DEL PASTO RAIGRÁS AUBADE (*Lolium sp*) A DOSIS DE SILICIO
EN INTERACCION CON DIFERENTES DOSIS DE NPK.**

DIANA LEGARDA

EDUARDO BENAVIDES

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO – NARIÑO
2012**

**RESPUESTA DEL PASTO RAIGRÁS AUBADE (*Lolium sp*) A DOSIS DE SILICIO
EN INTERACCION CON DIFERENTES DOSIS DE NPK.**

DIANA LEGARDA

EDUARDO BENAVIDES

**Tesis de grado presentada como requisito parcial
para optar al título de**

INGENIERO AGRÓNOMO

Presidente

Hugo Ruiz Erazo I.A., Ph. D.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO – NARIÑO
2012**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1º del Acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

ORLANDO BENAVIDES
Jurado Delegado

JAIRO MOSQUERA
Jurado Acompañante

HUGO RUIZ ERASO
Presidente

San Juan de Pasto, 2012

AGRADECIMIENTOS

Los Autores expresan los más sinceros agradecimientos a:

La Universidad de Nariño y sus directivos

Al Doctor Hugo Ruiz Eraso I.A., Ph. D.
Presidente de Tesis, Universidad de Nariño

Por el tiempo dedicado a la orientación y corrección del presente estudio, hasta la culminación del mismo.

A los Ingenieros Orlando Benavides y Jairo Mosquera, Jurados, por el apoyo y la comprensión manifestada a lo largo de la etapa de estudiantes, sin ellos no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

A la Ingeniera Inés Fajardo, por su colaboración con el terreno y herramientas para la realización del proyecto.

A la Tecnóloga María del Rosario Carreño, por su apoyo en el área de laboratorios especializados de suelos.

Al Químico Juan Carlos Delgado, por su asesoría en el área de laboratorio de suelos.

Y demás personas, que de una u otra manera contribuyeron a la realización del presente Trabajo de Grado.

A Dios arquitecto precioso de mis sueños, gracias por tu amor y por la fortaleza que me diste para cumplir este anhelo, te debo todo lo que soy y todo lo que tengo, te amo con todo el corazón.

A mis padres Carlos y Elena por su amor incondicional, su comprensión y por su continuo apoyo; gracias por creer en mi.

A mi abuelo Carlos por su amor y compañía, gracias por ser como un padre para mi.

A mis hermanas Nancy y Mónica por su constante apoyo y por enseñarme a ser una mejor persona cada día, son ustedes mi ejemplo a seguir.

A mi sobrina Danna, mi pequeño ángel, por que tu sonrisa ha llenado de alegría mi vida.

A Iván por su amor, comprensión y motivación para seguir adelante, gracias por estar a mi lado cuando más lo necesite.

A mis amigos, por su colaboración y consejos.

A Dios por brindarme la oportunidad de culminar mis estudios con éxito.

A mi Madre Ana Benavides por su amor y ayuda en todo momento.

A mi novia Jenny por su motivación y comprensión

A mis amigos, por su colaboración y consejos

GALO EDUARDO BENAVIDES

DIANA CAROLINA LEGARDA LOPEZ

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la vereda Santa María, del corregimiento de Catambuco, municipio de Pasto, localizado a 01°06'33" N y 77°19'07.8" WO, a altura de 3350 msnm, temperatura de 11°C; con el objeto de conocer el efecto del silicio en la absorción de NPK en el pasto Raigras aubade (*Lolium sp*), en un suelo Tipyc humitropepts.

Se empleo diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y 10 tratamientos distribuidos en dosis altas, medias y bajas de NPK (Altas: 529 kg/ha de urea, 72 kg/ha de SFT, 160 kg/ha de KCl. Medias: 397kg/ha de urea, 54 kg/ha de SFT, 120 kg/ha de KCl. Bajas: 265 kg/ha de urea, 36 kg/ha de SFT, 80 kg/ha de KCl) contrastadas con dosis altas, medias y bajas de silicio (Alta 100 kg/ha, media 75 kg/ha, baja 50 kg/ha de SiO₂) y un testigo sin fertilización con silicio.

El silicio en dosis alta y NPK alto, presentó mejores resultados en altura de planta (101cm), producción de forraje verde (167.2 t/ha/año), materia seca (27.44 t/ha/año), concentraciones de P (parte aérea 0.53% y raíz 0.42%), de K (parte aérea 3.11% y raíz 2.27%). Al aplicar dosis altas y medias en el suelo, la concentración de P y K disminuyó. El tratamiento dosis alta de NPK y alta de silicio presentó el mayor beneficio económico, seguido del tratamiento dosis media de NPK y alta de silicio.

ABSTRACT

The present work was made in the sidewalk Santa Maria, corregimiento of Catambuco, municipality from Pasto, located at 01°06'33" N and 77°19'07.8" WO, height of 3350 msnm, temperature of 11°C; in order to knowing the effect of the silicon in about the absorption of NPK in the grass Raigras aubade (*Lolium sp*), in a soil Tipyc humitropepts.

It employment design of complete blocks at random with three repetitions and 10 treatments distributed in high dose, medium and low of NPK (High: 529 kg/ha of urea, 72 kg/ha of SFT, 160 kg/ha of KCl. Medium: 397 kg/ha of urea, 54 kg/ha of SFT, 120 kg/ha of KCl. Low: 265 kg/ha of urea, 36 kg/ha of SFT, 80 kg/ha of KCl) contrasted with high dose, medium and silicon low (High 100 kg/ha, medium 75 kg/ha, low 50 kg/ha of SiO₂) and a witness without fertilization with silicon.

The silicon in high dose and high NPK, presented better results in plant height (101cm), production of green forage (167.2 t/ha/año), dry matter (27.44 t/ha/año), concentrations of P (leaves 0.53% and root 0.42%), of K (leaves 3.11% and root 2.27%). When applying dose high and médium in the soil, the concentration of P and K diminish. The treatment high dose of NPK and high of silicon it presented the biggest economic benefit, followed by the treatment half dose of NPK and high of silicon.

CONTENIDO.

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN	
2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	15
3 ESTDOA ACTUAL DEL PROBLEMA.....	16
4 OBJETIVOS.....	17
5 MARCO TEÓRICO.....	18
5.1 FERTILIZACION EN PRADERAS.....	18
5.1.1 Aspectos generales de la fertilización en praderas.....	18
5.1.2 Nitrógeno en praderas.....	18
5.1.3 Fósforo en praderas.....	19
5.1.4 Potasio en praderas.....	19
5.1.5 Calcio en praderas.....	20
5.1.6 Magnesio en praderas.....	20
5.1.7 Fertilización del pasto Raigrás aubade (<i>Lolium sp</i>).....	20
5.1.8 Fertilización con Silicio en praderas.....	20
5.1.9 Encalamiento.....	22
5.2 PASTO RAIGRÁS (<i>Lolium sp</i>).....	23
5.2.1 Generalidades.....	23
5.2.2 Clasificación taxonómica.....	24
5.2.3 Manejo del cultivo.....	24
5.2.4 Exigencias del cultivo.....	24
6 DISEÑO METODOLÓGICO.....	26
6.1 Localización del proyecto.....	26
6.2 Características del suelo.....	26
6.3 Área experimental.....	27
6.4 Labores culturales.....	27
6.4.1 Preparación del suelo, siembra y control de malezas.....	27
6.4.2 Fertilización.....	28
6.4.3 Encalamiento.....	28
6.4.3 Cosecha.....	28
6.5 Equipos.....	28
6.6 Tratamientos.....	28
6.7 Diseño experimental y análisis estadístico.....	29
6.8 Variables evaluadas.....	30
6.8.1 Altura de planta.....	30
6.8.2 Producción forraje verde.....	30
6.8.3 Producción materia seca.....	30
6.8.4 Contenido de fosforo en la parte aérea y raíz.....	30
6.8.5 Contenido de fosforo en el suelo.....	31
6.8.6 Contenido de potasio en la parte aérea y raíz.....	31
6.8.7 Contenido de potasio en el suelo.....	31

6.8.8 Contenido de calcio en la parte aérea y raíz.....	31
6.8.9 Contenido de calcio en el suelo.....	31
6.8.10 Contenido de Magnesio en la parte aérea y raíz.....	32
6.8.11 Contenido de Magnesio en el suelo.....	32
6.8.12 Análisis económico.....	32
7 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	33
7.1 Altura de planta.....	33
7.2 Producción forraje verde.....	34
7.3 Producción materia seca.....	35
7.4 Contenido de fosforo en la parte aérea.....	37
7.5 Contenido de fosforo en raíz.....	39
7.6 Contenido de fosforo en el suelo.....	40
7.7 Contenido de potasio en la parte aérea.....	42
7.8 Contenido de potasio en raíz.....	42
7.9 Contenido de potasio en el suelo.....	43
7.10 Contenido de calcio en la parte aérea	45
7.11 Contenido de calcio en raíz.....	47
7.12 Contenido de calcio en el suelo.....	48
7.13 Contenido de Magnesio en la parte aérea	48
7.14 Contenido de Magnesio en raíz.....	49
7.15 Contenido de Magnesio en el suelo.....	50
7.16 Análisis económico.....	51
8 CONCLUSIONES.....	53
9 RECOMENDACIONES.....	54
10 BIBLIOGRAFIA.....	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Requerimientos Nutricionales del pasto aubade (Lolium sp).....	25
Tabla 2. Análisis de muestra de suelo.....	26
Tabla 3: Análisis económico.....	52

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 1: Plano de campo.....	27
Grafico 2: Altura de plantas cm.....	33
Grafico 3: Producción forraje verde Ton/Ha/Año.....	35
Grafico 4: Producción de Materia seca Ton/Ha/Año.....	36
Grafico 5: Concentración de fosforo parte aérea %.....	38
Grafico 6: Concentración de fosforo en Raíz %.....	40
Grafico 7: Concentración de fosforo en el suelo mg/kg.....	41
Grafico 8: Concentración de potasio parte aérea %.....	42
Grafico 9: Concentración de Potasio en Raíz %.....	43
Grafico 10: Concentración Potasio en el suelo cmol/carga.....	44
Grafico 11: Concentración de Calcio parte aérea %.....	46
Grafico 12: Concentración de Calcio en raíz %.....	47
Grafico 13: Concentración de Calcio en suelo cmol/carga.....	48
Grafico 14: Concentración de Magnesio parte aérea %.....	49
Grafico 15: Concentración de Magnesio en raíz %.....	50
Grafico 16: Concentración de Magnesio en el suelo cmol/carga.....	51

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: ANDEVA y Contrastes Altura de plantas.....	61
Anexo 2: ANDEVA y Contrastes Forraje verde	62
Anexo 3: ANDEVA y Contrastes Materia seca al año.....	63
Anexo 4: ANDEVA y Contrastes Fósforo parte aérea	64
Anexo 5: ANDEVA y Contrastes Fósforo en Raíz.....	65
Anexo 6: ANDEVA y Contrastes Fósforo en suelo.....	66
Anexo 7: ANDEVA y Contrastes Potasio en la parte aérea.....	67
Anexo 8: ANDEVA y Contrastes de Potasio en Raíz.....	68
Anexo 9: ANDEVA y Contrastes Potasio en suelo.....	69
Anexo 10: ANDEVA y Contrastes Calcio en la parte aérea.....	70
Anexo 11: ANDEVA y Contrastes Calcio en Raíz.....	71
Anexo 12: ANDEVA y Contrastes Calcio en suelo.....	72
Anexo 13: ANDEVA y Contrastes Magnesio en la parte aérea.....	73
Anexo 14: ANDEVA y Contrastes Magnesio en Raíz.....	74
Anexo 15: ANDEVA y Contrastes Magnesio en suelo.....	75

INTRODUCCION

A nivel mundial las praderas son la principal fuente de alimentación para el ganado, se destaca la utilización de pastos como el Raigrás aubade (*Lolium sp*), el cual es uno de los mas sembrados, debido principalmente a su gran desarrollo, su elevada productividad, su precocidad y su calidad nutritiva. En la actualidad este cultivo representa un renglón importante en la alimentación bovina en varias regiones de Colombia, una de ellas es la zona andina del departamento de Nariño.

El Raigrás aubade (*Lolium sp*), requiere una adecuada fertilización la cual debe ser completa y equilibrada, para conseguir una buena alimentación para el ganado, y eficiencia económica para el ganadero.

Dentro de los elementos necesarios para un adecuado desarrollo del pasto esta el silicio. Se ha comprobado en diferentes estudios que este elemento ha llevado a mejorar la cantidad y calidad de producción, por lo tanto, es importante obtener una mayor información acerca de los efectos del Silicio en este tipo de plantas, ya que existe la posibilidad de que las dosis de silicio sean de gran influencia dentro de la producción de materia seca, composición química y calidad del pasto cosechado.

Por todo lo anterior esta investigación buscó determinar la eficacia de la fertilización con Si, empleando para este objeto la aplicación de dosis crecientes de Si, en interacción con diferentes dosis de N, P y K, en el pasto Raigrás aubade (*Lolium sp*), en la finca Santa María, vereda Santa María, corregimiento de Catambuco.

2. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.

El cultivo de pasto en Colombia, tiene importancia fundamental, dados los elevados costos de los insumos para la alimentación ganadera y productividad de los hatos. Es así como es de extrema importancia lograr la disminución de los costos y lograr el mejoramiento productivo de la pradera; buscando la alimentación adecuada del ganado a través de un manejo sistemático y eficiente de la pradera.

Dentro de ese manejo adecuado, un papel importante lo cumple la fertilización con silicio, la cual se encarga de proteger las hojas de las plantaciones de los agentes infecciosos y con su aplicación se logra un aumento gradual de los rendimientos; ya que el Silicio ayuda mucho al desarrollo de los tallos y las hojas, provocando que ambas partes de las plantas sean más fuertes.

Además es necesario estudiar la influencia de nutrientes como el fosforo en los tipos de suelo como el evaluado, ya que teóricamente el silicio ayudaría a absorber mejor ese elemento, por lo cual se comprueba que tan eficaz puede ser el proceso en este suelo con altos contenidos de aluminio en los cuales hay retención de fosforo.

A fin de comprender mejor la influencia del silicio es fundamental determinar el efecto de este elemento dentro del cultivo de pasto; por lo cual la presente investigación está encaminada a determinar la capacidad del Silicio como elemento modificador de los factores que afectan dicho cultivo. Además la realización de este estudio permitirá conocer la dosis óptima de Si en relación a la dosis aplicada de N, P y K; logrando obtener una mejor producción de pastos que beneficie la producción de leche a nivel regional, contribuyendo con el desarrollo del sector lechero dentro del Departamento.

3. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA.

En el departamento de Nariño, uno de los sistemas de producción más importantes en la economía es el sector ganadero; este se basa en una adecuada alimentación del ganado, para lo cual se hace indispensable un buen manejo del cultivo de pasto.

Aunque se han realizado muchas investigaciones dentro del cultivo de pastos, estas no se han adoptado por el agricultor. Esto se debe principalmente a que dichas investigaciones no han sido socializadas, creando una falta de información en los agricultores, que por mucho tiempo se han visto en la necesidad de emplear técnicas de cultivo utilizados por sus ancestros y que no poseen fundamento científico; enfocadas principalmente a la implementación de fertilizantes compuestos a base de nitrógeno fósforo y potasio, los cuales no aportan otro tipo de elementos que son indispensables para el buen desarrollo del cultivo de pastos.

Es decir son pocos los cultivos de pasto dentro de la región que presenten un manejo tecnificado, en los cuales se implemente una fertilización adecuada; de tal manera que la fertilización pueda potenciar la productividad de la pradera, reduciendo los costos de producción de la leche y carne, incrementando la productividad y competitividad de este sector productivo.

De la misma manera no se han realizado investigaciones suficientes sobre el efecto del Si en la productividad del pasto, que permitan tener claridad sobre el efecto de este elemento en la productividad final de la pradera.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL.

Evaluar el efecto de dosis de silicio, en interacción con diferentes dosis de N, P y K, en el pasto Raigrás aubade (*Lolium sp*)

4.2 ESPECIFICOS.

- Evaluar la altura de planta, producción de forraje verde y materia seca; entre los tratamientos experimentales.
- Determinar los contenidos de P, K, Ca y Mg en el follaje, raíz y en el suelo, relacionándolos con las diferentes dosis de silicio.
- Realizar análisis económico de la dosificación de silicio en interacción con la dosificación de NPK y la producción de forraje verde.

5. MARCO TEORICO

5.1 FERTILIZACION EN PRADERAS

5.1.1 Aspectos generales de la fertilización en praderas.

En general el N, P y K, son los elementos a los que se les ha dado mayor importancia en cuanto al requerimiento nutricional en diferentes suelos y especies de pasto. Debido a la falta de investigación el Silicio no ha sido considerado como elemento esencial en el cultivo de pasto. Los requerimientos para el mantenimiento de pasturas pueden variar de acuerdo al estado nutricional del suelo que puede cambiar con el tiempo, debido a la remoción del sistema, reciclaje y/o a pérdidas tales como lixiviación y fijación.¹

5.1.2 Nitrógeno en praderas.

Los pastos al igual que otras plantas, pueden asimilar el nitrógeno del suelo en forma de nitratos, nitritos, amonio o aminoácidos. De éstos, los nitratos y el amonio se consideran como las mejores fuentes desde el punto de vista de crecimiento. La deficiencia de nitrógeno provoca un descenso en el contenido de clorofila de las hojas, de modo que las hojas más viejas toman una coloración amarilla y se caen, lo que se asocia con una severa proteólisis debido a la disminución en la magnitud de síntesis proteica a causa de la limitación en el suministro de nitrógeno. Esto limita la división y expansión celular y provoca una falta de ahijamiento con la disminución en la actividad meristemática.²

El nitrógeno afecta el crecimiento de los pastos e influye en los diferentes procesos fisiológicos y morfológicos, tales como la estimulación y producción de rebrotes, incremento en el área foliar y en la longitud de los tallos y el número de entrenudos por tallo.³

Este elemento se considera como uno de los elementos más limitantes para la obtención de una buena producción y calidad de forraje, sin embargo las fuertes dosis y frecuencia de aplicación debe ser adecuada ya que las altas aplicaciones son costosas y puede perjudicar a la planta y al suelo afectando la producción y calidad del pasto.⁴

¹ PIRELA, M. 2005. Valor nutritivo de los pastos tropicales. En: Manual de ganadería de doble propósito. Instituto Nacional de Investigaciones agrícolas - INIA. Venezuela. 176-181p

²AGRODYNE SYSTEMS ©. 2009. Los nutrientes más importantes del cultivo. En: <http://tarklivestrong.wordpress.com/2009/11/agrodyne>. Consulta: Noviembre 2009.

³RODRIGUEZ, P. 2004. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. En: Producción bovina de carne. Universidad Agraria de La Habana. Cuba.

⁴HURTADO, G. y REALPE, C. 1998. Respuesta del pasto aubade (*Lolium* sp.) a la aplicación de diferentes niveles de abono orgánico en vereda Cabrera. Trabajo de grado Zootecnista. Facultad de ciencias pecuarias. Universidad de Nariño. Pasto. 30p.

5.1.3 Fósforo en praderas.

Es extraído por los pastos en menor cantidad que el nitrógeno, potasio y calcio. Es un constituyente principal de los ácidos nucleicos, fosfolípidos y vitaminas, además es un elemento indispensable para todos los procesos que requieren energía en la planta. Como función en la planta interviene en la producción de raíces y en la formación de estructuras de reproducción.⁵

Los síntomas de deficiencia de fósforo no son pronunciados ni específicos por lo que es difícil de diagnosticarlos por examen visual. Puede producirse amarillamiento de las hojas; el indicio más común es un color verde azulado el cual puede estar acompañado por tintes púrpura debido a los pigmentos de antocianina en gramíneas.⁶

El fósforo absorbido por las plantas se encuentra fundamentalmente en forma de ortofosfato orgánico y puede existir en solución como H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} y PO_4^{3-} . La forma H_3PO_4 domina en soluciones ácidas y la PO_4^{3-} en soluciones alcalinas.⁷

5.1.4 Potasio en praderas.

Hace parte del protoplasma, las grasas y la celulosa; al igual que el nitrógeno es extraído en grandes cantidades por las gramíneas. Las plantas pueden tomar un consumo en exceso cuando éste es abundante en el suelo, lo que significa que la planta es capaz de absorber un exceso que no utilizará eficientemente. El potasio no está en combinaciones iónicas con las sustancias orgánicas en la planta. Se incrementa con la tasa de metabolismo y se sabe que es esencial en ciertas reacciones catalizadoras enzimáticas donde intervienen los fosfatos de adenosina.⁸

Los síntomas de deficiencia son: crecimiento lento, clorosis, tallos débiles, las plantas deficientes de potasio no pueden usar eficientemente el agua y otros nutrientes del suelo, y son menos tolerantes al ataque de plagas y enfermedades.⁹

⁵ ESTRADA, J. 2001. Pastos y forrajes para el trópico Colombiano. Manizales: Universidad de Caldas. Facultad de ciencias Agropecuarias. 320p.

⁶ INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI). 2010. Identificación de los Problemas Nutricionales en Arroz. En: Síntomas de deficiencia de Nutrientes. 1-56p.

⁷ NAVARRO, B. 1984. El suelo y los elementos esenciales para la vida vegetal. Editorial Academia S.A. León. España. 1-4p.

⁸ CONTI, M. 2000. El potasio en los suelos y su rol en la producción agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 1-14p.

⁹ GUERRERO, R. 1983. Los fertilizantes químicos, propiedades y comportamiento agronómico. Monómeros Colombo Venezolanos. Bogotá. 46 p.

5.1.5 Calcio en praderas.

Su función está relacionada con la formación de las paredes y membranas celulares; activa los sistemas enzimáticos y transformación de carbohidratos y aminoácidos, y en la reducción de NO_3^- . En los cultivos su deficiencia se deriva de los bajos contenidos de Ca en el suelo que se correlacionan con problemas de toxicidad del aluminio.¹⁰

5.1.6 Magnesio en praderas.

Es un nutriente esencial para las plantas, constituye el núcleo de la molécula de clorofila, además, es importante porque fomenta la absorción y transporte de fósforo, ayuda en el almacenamiento de los azúcares dentro de la planta, este es el activador más común de enzimas asociadas con el metabolismo energético, participa en el proceso fisiológico, la absorción de CO_2 . Su deficiencia produce hojas pequeñas, las más jóvenes, débiles y propensas al ataque de hongos, suele haber caída permanente de hojas; en algunas plantas hay puntos cloróticos entre las venas.¹¹

5.1.7 Fertilización del pasto Raigrás aubade (*Lolium sp*)

Los raigrases son exigentes en fertilización, especialmente en N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn y B. Se debe hacer una fertilización de establecimiento que incluya todos los nutrimentos que se encuentren deficientes, según el análisis de suelos, y repetirla cada seis meses o cada año, según las condiciones de suelo, clima o desarrollo del cultivo. Entre pastoreos se debe hacer una fertilización de mantenimiento que incluya N y, si es necesario, P, S y Mg; se pueden utilizar fertilizantes como 30-6-0, urea, 25-15-0-2-3, y otros, en cantidades que varían con las condiciones del suelo.¹²

5.1.8 Fertilización con Silicio en praderas.

El elemento silicio (Si) es considerado por muchos científicos como un nutriente "benéfico", aunque no está permitido en la mayoría de los casos como un elemento esencial para el cultivo de pasto. Sin embargo para muchas familias de plantas, especialmente monocotiledóneas gramíneas; el aporte de silicio al suelo incide en lograr cosechas de mejores rendimientos y calidad¹³

¹⁰ ZAMORANO, F. Citado por DELGADO, Y. y MIPAZ, M. 2005. Determinación del efecto de tres sistemas de fertilización utilizando riego localizado por exudación en la producción y calidad nutricional del pasto Aubade (*Lolium sp.*), en la vereda Cruz de Amarillo, Corregimiento de Catambuco. 27p.

¹¹ ALTAMIRANO, S. Citado por DELGADO, Y. y MIPAZ, M. 2005. Determinación del efecto de tres sistemas de fertilización utilizando riego localizado por exudación en la producción y calidad nutricional del pasto Aubade (*Lolium sp.*), en la vereda Cruz de Amarillo, Corregimiento de Catambuco. 27p.

¹² BERNAL, E. 1987. Los raigrases, pastos para producción de leche. Despertar Lechero. Colanta. Pasto. 7 – 15p.

¹³ ALVAREZ, A. y ANDRADE, L. 2006. Evaluación de cinco dosis de aplicación de ceniza de cascarilla de arroz como fuente de silicio y complemento a la fertilización con fósforo y potasio en el cultivo de arroz (*oryza sativa l.*) variedad f-50. ESPOL. 3p.

La primera evidencia de que este nutriente es necesario en gramíneas fue dado por Sommer en 1926, quien encontró que el arroz requiere grandes cantidades de silicio, cuando este llega a producir 10 t/ha de grano, las plantas absorbieron hasta 1 t/ha de silicio¹⁴.

El uso agrícola intensivo y extensivo del suelo, provoca el desequilibrio de nutrientes contenidos en el, dado que una parte significativa es removida por la cosecha, el desarrollo vegetativo del cultivo y de la maleza, la lixiviación y la erosión eólica e hídrica. El silicio, así como otros nutrientes, es extraído del suelo. La extracción de silicio activo de los suelos agrícolas por cada cosecha es en promedio de 40 a 300 kg/ha. Esto trae como consecuencia una disminución de silicio y un aumento del aluminio, causando un incremento en la acidez del suelo. El cultivo que extrae silicio con mayor intensidad del suelo es el cultivo de pasto, por su alta eficiencia fotosintética¹⁵.

El silicio se absorbe en el suelo en cantidades tan grandes que pueden superar los macronutrientes en ciertas especies de plantas. Sus efectos benéficos se han demostrado en varios trabajos científicos, especialmente cuando las plantas fueron sometidas a condiciones de estrés biótico y abiótico. El silicio juega un papel importante en la planta. Este elemento controla el desarrollo del sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales, incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico (alta y baja temperatura, viento, alta concentración de sales y metales pesados, hidrocarburos, Aluminio (Al), etc.) y biótico (insectos, hongos, enfermedades).¹⁶

El silicio es absorbido en un rango de pH de 2 hasta 9 en forma energéticamente pasiva, siendo tomado por la raíces en la solución como ácido monosilícico Si(OH)_4 ¹⁷ para ser acumulado en las células epidermales que las impregna en una fina capa (2,5 μm) y al asociarse con pectinas y polifenoles en la pared celular pueden ser barreras efectivas a la pérdida de agua, transpiración cuticular e infecciones fungosas¹⁸; sin embargo, a medida que se acumula este ácido en forma de sílice de 87 a 99%, aun cuando el efecto es casi netamente físico, se ha sugerido que la asociación del silicio con los constituyentes de la pared celular los hace menos susceptibles a la degradación enzimática que acompaña la penetración de la pared celular por las hifas de los hongos¹⁹.

¹⁴ SURAJIT, K. 1986. Producción de arroz Fundamentos y Prácticas. 1era Ed. México, Editorial Limusa. 395 p.

¹⁵ QUERO, E. 2006. Silicio en la producción agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 4p.

¹⁶ QUERO, E. 2006. Silicio en la producción agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 4p.

¹⁷ YOSHIDA, S. Citado por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 273-277p

¹⁸ EPSTEIN. Citado por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 277p

¹⁹ SALVANT, N. y DANOFF, L. Citado por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 273-277p

Se ha probado que el Si suprime muchas enfermedades y ataques de plagas en las plantas; este efecto de resistencia a plagas y enfermedades se debe al reforzamiento de las cutículas, que efectúa el Si al acumularse inmediatamente debajo de la cutícula; después de ser absorbido por la planta. Asimismo el Si depositado en las paredes de las células del xilema, previene la compresión de los vasos bajo condiciones de alta transpiración, causada por exceso de sequía o calor, protegiendo a la planta contra las excesivas pérdidas de agua por transpiración. La optimización en la nutrición con Si resulta en una mayor masa y volumen de raíces, lo cual representa una mayor superficie de absorción de nutrientes y agua, además de un aumento de la respiración de las raíces.²⁰

Adicionalmente, con la acción de agentes abióticos, temperatura, lluvia (agua) y el CO₂ disuelto en el agua en la forma de ácido carbónico (H₂CO₃/CO₂), actúan sobre los minerales arcillosos y liberan el ácido silícico a una concentración de 1 a 50 mg/kg, al mismo tiempo liberan elementos minerales, formándose silicatos de calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro, incrementando grandemente la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y el pH del suelo se torna básico, en niveles de 7.5 a 8.5. En estas condiciones de pH y capacidad de intercambio catiónico los suelos son altamente productivos.²¹

En condiciones de campo, el silicio puede estimular el crecimiento (entendido como la acumulación irreversible de materia seca, que se asocia a procesos de elongación y crecimiento celular)²² y la productividad por aumentar la disponibilidad de elementos como el P, Ca, Mg, K y B, al contrarrestar el antagonismo generado en suelos con alta saturación de aluminio y hierro.²³

El Silicio es un elemento de vital importancia cuando se pretende realizar una explotación agrícola rentable debido a las funciones que este cumple tanto en el suelo como en la planta²⁴

5.1.9 Encalamiento.

Incrementa los contenidos de Ca, Mg y P del forraje, especialmente cuando se hace con cal dolomita. Mejora los contenidos de micronutrientes en el forraje debido a que estos se encuentran como impurezas en las cales, especialmente Mn, Zn, Co, Cu y Mo; pero más importante aun es el efecto de la cal sobre el pH, que modifica la disponibilidad de algunos nutrimentos. La sobredosis de cal agrícola puede traer como consecuencia una

²⁰ SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS DEL SUELO. 2001. Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el Silicio en la agricultura. Bogotá: Prolabo Ltda.

²¹ QUERO E. 2008. Silicio en la producción de chile. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 4 P

²² LOTERO, C. 1976. Fertilización de pastos. En: Curso de Pastos y Forrajes. ICA. Compendio No. 11. 97. – 128p.

²³ GARCIA, O. 2009. Curso de producción de soya. ICA. Santafé de Bogotá. 153-163 p.

²⁴ AGROMIL. 2009. Importancia del Silicio en la nutrición vegetal. En: www.silicioagromil.com. Consulta: noviembre 2009.

disminución en la concentración de Mg en el forraje, especialmente en especies como los raigrases que se caracterizan por absorber bajas cantidades de este nutrimento²⁵.

En pastos establecidos pueden con el tiempo desarrollarse problemas de acidez, particularmente por el uso de fertilizantes nitrogenados que requieren controlarse a través del encalado. Cuando el pasto está establecido no es posible incorporar la cal como se lo hace a la siembra. Sin embargo se pueden corregir problemas de acidez en pasto establecidos aplicando cal a la superficie. La cal puede penetrar en el primer estrato superficial (0 -5 cm) controlando la acidez en la zona de mayor actividad radicular²⁶.

5.2 PASTO RAIGRÁS AUBADE (*Lolium sp*)

5.2.1 Generalidades.

Los raigrases se establecen rápidamente en las zonas de clima frío moderado, situadas entre 1.800 y 2.200 msnm, que presentan temperaturas promedias entre 15 y 18 °C, y donde las temperaturas máximas pueden llegar a 25 °C o aún más, y tienen buena producción inicial.²⁷

Los raigrases se pueden utilizar en pastoreo, corte para suministrar verde, para producir heno o para ensilar. El pastoreo debe ser rotacional con cerca eléctrica. Tanto el corte como el pastoreo no se deben hacer por debajo de 5 a 7 cm, para evitar la remoción de los alimentos de reserva que se localizan en la base de los tallos.²⁸

Cuando se aplica fertilización de mantenimiento y riego, la recuperación es muy rápida y se pueden obtener cortes entre 28 y 35 días, para los raigrases anuales, y entre 30 y 40 para los perennes.²⁹

²⁵ BERNAL, E. Citado por DELGADO, Y. y MIPAZ, M. 2005. Determinación del efecto de tres sistemas de fertilización utilizando riego localizado por exudación en la producción y calidad nutricional del pasto Aubade (*Lolium sp.*), en la vereda Cruz de Amarillo, Corregimiento de Catambuco. 27p.

²⁶ BERNAL, E. 2002. Encalado y uso de correctivos del suelo en pastos. En: Servicio Nacional de Aprendizaje: Asociación Nacional de Productores de Leche y Sociedad de Agricultores de Colombia. Curso Manejo de pastos y conservación de forrajes: memorias técnicas. Bogotá: produmedios, 24p.

²⁷ BERNAL, E. 1986. Manual Pastos y Forrajes. CONFAGAN - FADEGAN - JUNAC. 235 p.

²⁸ BERNAL, E. 1987. Los raigrases, pastos para producción de leche. Despertar Lechero. Colanta. Pasto. 7 – 15p.

²⁹ CÁRDENAS, A. y RUEDA, V. 1983. Adaptabilidad y niveles óptimos de fertilización en las variedades de raigrases tetraploides Tetrablend 30, Tetrablend 120 y raigrás italiano. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 68 p.

5.2.2 Clasificación taxonómica.

Raygrass: *Lolium sp*
Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Subclase: Commelinidae
Orden: Cyperales
Familia: Poaceae
Género: Lolium

5.2.3 Manejo del cultivo

En el manejo de los raigrases existen dos grandes tendencias, manejarlos como cultivo puro o manejarlos mezclados con otras especies de gramíneas y/o leguminosas. Cuando se siembra puro, se hace una preparación tradicional del suelo y se siembran 100 lb/ha, equivalentes a unas 70 lb por fanegada o cuadra.³⁰

5.2.4 Exigencias del cultivo.

Desde el punto de vista de suelos, los raigrases presentan un amplio rango de adaptación. Sin embargo, para una buena producción se requieren suelos de mediana a alta fertilidad, o aplicar una fertilización bien balanceada de acuerdo con el diagnóstico de su fertilidad.³¹

En suelos muy pesados o encharcables tienden a desaparecer en un período relativamente corto, para estas zonas se recomiendan raigrases anuales. En suelos livianos se desarrollan bien, pero son fácilmente arrancados por los animales. Las mejores producciones se obtienen en suelos francos o franco arcillosos.³²

Desde el punto de vista químico, se adaptan bien a suelos ácidos, siempre y cuando que el pH no sea demasiado bajo y el aluminio demasiado alto. Con frecuencia es necesario encalar. En condiciones naturales, los raigrases no son muy eficientes para extraer magnesio (Mg), azufre (S), cobre (Cu), zinc (Zn) y boro (B), cuyos contenidos generalmente fluctúan entre medianos y bajos; por lo regular presentan buenos contenidos de proteína cruda (PC), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y sodio (Na), especialmente si se fertilizan periódicamente.²⁶

³⁰ BERNAL, E. 1987. Los raigrases, pastos para producción de leche. Despertar Lechero. Colanta. Pasto. 7 – 15p.

³¹ BUITRAGO, A. y CRUZ, G. 1983. Niveles óptimos de fertilización compuesta en tres variedades de raigrases tetraploides. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 75 p.

³² CÁRDENAS, A. y RUEDA, V. 1983. Adaptabilidad y niveles óptimos de fertilización en las variedades de raigrases tetraploides Tetrablend 30, Tetrablend 120 y raigrás italiano. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 68 p.

Las concentraciones relativas de la mayor parte de los elementos menores se disminuyen durante la época de lluvia, debido a un mayor desarrollo del pasto, con la consiguiente dilución de los elementos en una mayor cantidad de materia seca. Todos los raigrases presentan altos requerimientos de N, elemento que normalmente representa el factor limitante para su desarrollo. En suelos salinos las plantas tienden a florecer desde muy pequeñas y mueren en forma temprana.³³

Los raigrases son muy exigentes en humedad. Para un normal desarrollo se requieren entre 12 y 25 mm. de precipitación o riego por semana. En casi todas las zonas de clima frío es necesario aplicar riego, por lo menos durante algunos períodos del año.³⁴

Los raigrases no soportan el nivel freático demasiado alto, el encharcamiento prolongado ni el exceso de humedad en el suelo. En suelos muy húmedos se restringe el desarrollo de las raíces y las plantas mueren tempranamente.²⁹ Cuando se hacen fuertes aplicaciones de fertilizantes completos, se aumenta ligeramente el contenido de proteína, N, P, y K, pero el contenido de Mg desciende dramáticamente en los tetraploides, indicando que se puede presentar un problema a nivel de la nutrición de los animales.³⁵

Tabla 1. Requerimientos Nutricionales del pasto aubade (*Lolium sp*)

Elemento	Requerimiento Kg/ha/año
N	432
P ₂ O ₅	110
K ₂ O	480
Mg	22
Ca	110

Fuente: Fried y Broeshart, Mendoza; citados por Bernal, J. (1996).

Si se considera que el forraje producido es de alta digestibilidad y buena calidad, la producción de leche será alta y, por lo tanto, las necesidades de Mg del animal elevadas. En consecuencia una fertilización alta, sin incluir Mg, es un riesgo potencial grande para los animales que inician lactancia, pues fácilmente se puede presentar una hipomagnesemia, especialmente en los animales de mayor producción. La fertilización debe ser balanceada, incluir todos los elementos deficientes en una zona y se debe programar en dosis y frecuencias de aplicación que cubran los requerimientos de la planta.³⁶

³³ BUITRAGO, A. y CRUZ, G. 1983. Niveles óptimos de fertilización compuesta en tres variedades de raigrases tetraploides. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 75 p.

³⁴ CÁRDENAS, A. y RUEDA, V. 1983. Adaptabilidad y niveles óptimos de fertilización en las variedades de raigrases tetraploides Tetrablend 30, Tetrablend 120 y raigrás italiano. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 68 p.

³⁵ BERNAL, E. 1987. Los raigrases, pastos para producción de leche. Despertar Lechero. Colanta. Pasto. 7 – 15p.

³⁶ LOTERO, C. 1976. Fertilización de pastos. En: Curso de Pastos y Forrajes. ICA. Compendio No. 11. 97. – 128p.

6. DISEÑO METODOLOGICO

6.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El trabajo de investigación se llevo a cabo en suelos de la finca Santa María, de la vereda Santa María, ubicada, en el corregimiento de Catambuco; a 14 km de la ciudad de Pasto, localizado a 01°06'33" N, 77°19'07.8"WO; temperatura promedio de 11°C, precipitación anual de 800 mm, humedad relativa del 75%³⁷ y altura de 3350 msnm. Esta zona está clasificada según Holdridge (1979)³⁸ como montano (M); el suelo corresponde a un Tipyc humitropepts (IGAC, 2004)³⁹.

6.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Previo al estudio se tomo la muestra de suelo, representativa del lote para realizar el respectivo análisis físico – químico; el cual presento las siguientes características:

Tabla 2. Análisis de muestra de suelo

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO				
ELEMENTOS ANALIZADOS	METODO	TECNICA	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS
Densidad aparente	Probeta graduada	Gravimétrica	g/cc	0.78
pH, potenciómetro suelo: Agua (1:1)	NTC5264	Potenciometrica		4.3
Materia orgánica	Walkley-Black(colorimétrico)NT C5403	Espectrofotométrica uv-vis	%	36.7
Fosforo disponible	Bray II y Kurtz NTC 5350	Espectrofotométrica uv-vis	Mg/Kg	41.92
Capacidad de intercambio catiónico(CIC)	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC5268	Volumétrica		61.5
Calcio de cambio	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC5349	Espectrofotométrica de absorción atómica	cmolcarga/kg	4.09
Magnesio de cambio				1.519
Potasio de cambio				1.815

³⁷ INSTITUTO DE ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES Y METEOROLICOS. IDEAM. 2003. Pasto.

³⁸ HOLDRIDGE, L. 1979. Ecología. San José, Costa Rica. IICA. 216p.

³⁹ IGAC. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. IGAC. Tomo III. 73 p.

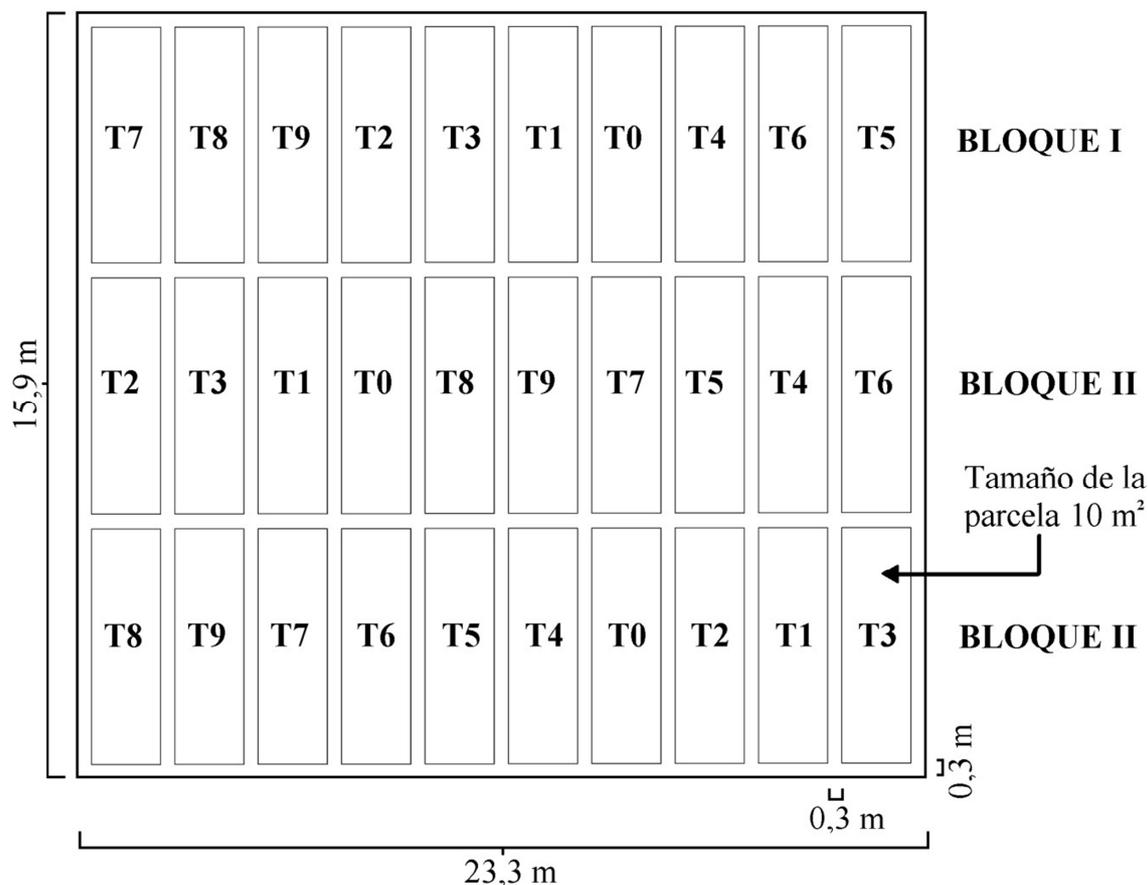
Aluminio de cambio	Extracción KCl 1N	Volumétrica		2.54
--------------------	-------------------	-------------	--	------

Fuente: Universidad de Nariño, laboratorio de suelos 2010

6.3 ÁREA EXPERIMENTAL

Se utilizó un lote de 300m², el cual se distribuyó en 3 bloques de 5 m x 10 m cada uno. Cada bloque se dividió en 10 parcelas de 10m² que corresponden a los tratamientos. Entre bloques y parcelas se dejaron calles de 0,3m.

Gráfico 1: Plano de campo



6.4 LABORES CULTURALES

6.4.1 Preparación del suelo, siembra y control de malezas

El suelo se preparó con arado de cincel a 20cm de profundidad, posteriormente se niveló con rastrillo. Luego se realizó la delimitación del terreno y división de las parcelas principales y secundarias. Se utilizó pasto raygras Aubade *Lolium sp* sembrado al voleo con una densidad de 35 kg/ha empleando semilla certificada. El control de malezas se hizo de forma manual.

6.4.2 Fertilización

La fertilización corresponde a los tratamientos que se describen más adelante

6.4.3 Encalamiento

Con base en los cmol Al/kg suelo a neutralizar de acuerdo al análisis de suelo, se utilizaron 2.54 ton/Ha de material encalante Dolomita; para reducir la acidez del suelo y además aplicar Ca y Mg. El encalamiento se realizó 30 días antes de la siembra

6.4.4 Cosecha

Este experimento tuvo una duración de 150 días, divididos en tres cortes, el primero se hizo a los 60 días de haber sembrado el pasto y los dos restantes cada 45 días. Para el corte se utilizó un aforo de 0,25 m² el cual se lanzó al azar en cada una de las parcelas y se hicieron tres aforos por parcela dejando un borde de 10 cm, luego se cortó el pasto y posteriormente se pesó.

6.5 EQUIPOS

Se utilizó una balanza de precisión para el pesaje de la semilla, fertilizante y del forraje fresco al momento de la cosecha, estacas, nylon, marco de madera de 0,5 m x 0,5 m, bolsas de plástico, cinta y papel, hoz, pala, y rastrillo

6.6 TRATAMIENTOS

Los tratamientos aplicados en el ensayo fueron los siguientes:

EL T0: Testigo = Dosis alta de NPK, sin aplicación de Silicio. Que corresponde a la aplicación de 264,5 kg/ha de urea (50%), 72 kg/ha de SFT, 160 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplicaron 264,5 kg/ha de urea (50% restante). Sin aplicación de Silicio.

EL T1: Dosis alta de NPK con Dosis alta de Silicio. Fertilización con 264,5 kg/ha de urea (50%), 72 kg/ha de SFT, 160 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplicaron 264,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 100 kg/ha de SiO₂.

T₂: Dosis alta de NPK con Dosis media de Silicio. Fertilización con 264,5 kg/ha de urea (50%), 72 kg/ha de SFT, 160 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplicaron 264,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 75 kg/ha de SiO₂.

T₃: Dosis alta de NPK con Dosis baja de Silicio. Fertilización con 264,5 kg/ha de urea (50%), 72 kg/ha de SFT, 160 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplico 264,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 50 kg/ha de SiO₂.

T₄: Dosis media de NPK con Dosis alta de Silicio. Fertilización con 198,5 kg/ha de urea (50%), 54 kg/ha de SFT, 120 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplico 198,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 100 kg/ha de SiO₂.

T₅: Dosis media de NPK con Dosis media de Silicio. Fertilización con 198,5 kg/ha de urea (50%), 54 kg/ha de SFT, 120 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplico 198,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 75 kg/ha de SiO₂.

T₆: Dosis media de NPK con Dosis baja de Silicio. Fertilización con 198,5 kg/ha de urea (50%), 54 kg/ha de SFT, 120 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplico 198,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 75 kg/ha de SiO₂.

T₇: Dosis baja de NPK con Dosis alta de Silicio. Fertilización con 132,5 kg/ha de urea (50%), 36 kg/ha de SFT, 80 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplico 132,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 100 kg/ha de SiO₂.

T₈: Dosis baja de NPK con Dosis media de Silicio. Fertilización con 132,5 kg/ha de urea (50%), 36 kg/ha de SFT, 80 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplico 132,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 75 kg/ha de SiO₂.

T₉: Dosis baja de NPK con Dosis baja de Silicio. Fertilización con 132,5 kg/ha de urea (50%), 36 kg/ha de SFT, 80 kg/ha de KCl en el establecimiento; 30 días después se aplico 132,5 kg/ha de urea (50% restante). Aplicación de 50 kg/ha de SiO₂.

Las dosis altas están basadas en los requerimientos de Raigrás (*Lolium sp*): N 432 Kg/ha, P 110 Kg/ha, K 480 Kg/ha; según Fried y Broeshart (1965) y Mendoza (1980), citados por Bernal, J. (1996). Ajustadas al contenido nutricional según el análisis de suelo. Las dosis de silicio son aplicadas en base a la información suministrada por Mejisulfatos. Para las dosis medias se empleo el 75% de las dosis altas, y para las dosis bajas se empleo el 50% de las dosis altas.

6.7 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con diez (10) tratamientos y tres (3) repeticiones. Para los efectos evaluados se emplean las siguientes hipótesis:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_t$$

No existen diferencias entre los tratamientos

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j \neq \dots \mu_t$$

Existe al menos un tratamiento que produce un efecto diferente

Se realizó análisis de varianza para cada variable estudiada de acuerdo al modelo estadístico.

$$X_{ij} = \mu + B_j + T_i + E_{ij}$$

Donde:

X_{ij} = variable de respuesta del tratamiento i , bloque j

μ = media general del experimento

B_j = efecto del bloque j

T_i = efecto del tratamiento i

E_{ij} = componente aleatorio llamado error experimental, debido al tratamiento i , bloque j

Los datos obtenidos en las diferentes variables se procesaron en el paquete estadístico INFOSTAT 2011, la comparación de medias se realizó por medio de contrastes ortogonales⁴⁰.

6.8 VARIABLES EVALUADAS

6.8.1 Altura de planta. Se tomó la altura de la planta desde la base, hasta la punta de la hoja principal, sin estirar las hojas⁴¹

6.8.2 Producción de forraje verde. Las muestras de forraje se recogieron en cada parcela por medio de un aforo, dejando un borde de 10cm para evitar la alteración de resultados. El primer corte se realizó a los 60 días; el segundo y tercer corte cada 45 días, se efectuaron los respectivos pesajes en una balanza de precisión y posteriormente se transformaron los datos a toneladas por hectárea³².

6.8.3 Producción de materia seca. Las muestras de forraje se recogieron en cada parcela por medio de un aforo, dejando un borde de 10cm para evitar la alteración de resultados. Se llevó al horno para secado durante 48 horas a una temperatura de 65°C. Posteriormente se realizó el pesado de las muestras y la transformación de los datos a toneladas por hectárea.

6.8.4 Contenido de Fósforo en la parte aérea y raíz.

⁴⁰ LEGARDA, L; LAGOS, T y VICUÑA, L. 2001. Diseño de experimentos agropecuarios. Universidad de Nariño. 69-128p.

⁴¹ CORTÉS, F. Y VIVEROS, M. 1975. Guías de laboratorio para análisis bromatológico. Universidad de Nariño. Pasto.

Se determino mediante una digestión con una solución 3:1 de HNO₃/HClO₄. En rampa de calentamiento. Se tomó 1 ml del extracto y se adicionó 9 ml de solución coloreadora de fosforo y se realizo la lectura en el espectrofotómetro UV/VIS modelo 7230⁴²

6.8.5 Contenido de Fosforo en suelo.

De cada tratamiento se tomo una muestra de suelo, se llevo al horno para secado a una temperatura de 75⁰C, durante 24 horas; luego se tamizo y se peso. Posteriormente se procedió a realizar la determinación del contenido de fosforo por el método de extracción de fosforo por fluoruro-acido diluidos (Bray y Kurtz II)⁴³.

6.8.6 Contenido de Potasio en la parte aérea y raíz.

Se determino mediante una digestión con una solución 3:1 de HNO₃/HClO₄. En rampa de calentamiento. Se tomó 0.5 ml del extracto principal y se aforó a 100 ml. Luego se llevo al espectrofotómetro Perkim Elmer modelo 2380 para hacer las lecturas correspondientes³³.

6.8.7 Contenido de Potasio en suelo.

De cada tratamiento se tomo una muestra de suelo, se llevo al horno para secado a una temperatura de 75⁰C, durante 24 horas; luego se tamizo y se peso. Posteriormente se procedió a realizar la determinación del contenido de potasio por el método de determinación de bases³³.

6.8.8 Contenido de Calcio en la parte aérea y raíz.

Se determino mediante una digestión con una solución 3:1 de HNO₃/HClO₄. En rampa de calentamiento. Se tomó 1 ml del extracto principal y se adicionó 9 ml de la solución de Na 1200 mg/kg. Se realizó la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica Perkim Elmer modelo 2380, contra los patrones correspondientes⁴⁴.

6.8.9 Contenido de Calcio en suelo.

De cada tratamiento se tomo una muestra de suelo, se llevo al horno para secado a una temperatura de 75⁰C, durante 24 horas; luego se tamizo y se peso. Posteriormente se

⁴² BRAGA, J.M. Y DEFELIPO, B.V. 1974. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85.

⁴³ UNIGARRO A y CARREÑO M. 2005. Métodos químicos para el análisis de suelos. Universidad de Nariño. Pasto. 20-31p.

⁴⁴ BRAGA, J.M. Y DEFELIPO, B.V. 1974. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85.

procedió a realizar la determinación del contenido de calcio por el método de determinación de bases⁴⁵.

6.8.10 Contenido de Magnesio en la parte aérea y raíz.

Se determino mediante una digestión con una solución 3:1 de HNO₃/HClO₄. En rampa de calentamiento. Se tomó 1 ml del extracto principal y se adicionó 9 ml de la solución de Na 1200 mg/kg. Se realizó la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica Perkim Elmer modelo 2380, contra los patrones correspondientes³⁵.

6.8.11 Contenido de Magnesio en suelo.

De cada tratamiento se tomo una muestra de suelo, se llevo al horno para secado a una temperatura de 75⁰C, durante 24 horas; luego se tamizo y se peso. Posteriormente se procedió a realizar la determinación del contenido de magnesio por el método de determinación de bases³⁶.

6.8.12 Análisis económico.

El análisis económico se efectuó por el método de indicadores de efectividad económica: costo, beneficio y rentabilidad, propuesto por Polimeni (2000)⁴⁶.

⁴⁵ UNIGARRO A y CARREÑO M. 2005. Métodos químicos para el análisis de suelos. Universidad de Nariño. Pasto. 20-31p.

⁴⁶ POLIMENI. 2000. Contabilidad de costos, concepto y aplicación para la toma de decisiones generales. Tomo I 2da Edición.

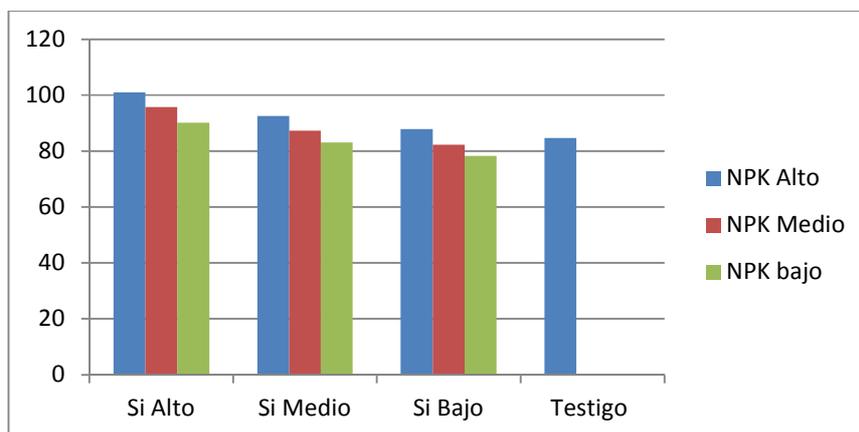
7. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

7.1 ALTURA DE PLANTA.

En el análisis de varianza (Anexo 1) se observó diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos, al aplicar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 1), se encontró que el T1 presentó mayor altura de plantas promedio con una media de 101 cm, presentando diferencias estadísticas con los demás tratamientos; seguido por los tratamientos T4 y T2 con 95.67 y 92.56 cm respectivamente; los cuales no presentan diferencias significativas entre sí.

El testigo T0 contó con una dosis igual de NPK que la aplicada a el T1 y mayor a la aplicada a los tratamientos T3, T5, T8 y T6. Sin embargo el T0 presentó una menor altura de planta en comparación con el T1, con una media de 84.67; similar a las medias encontradas en T3, T5, T8 y T6 (Grafico 1).

Grafico 2: Altura de plantas cm



En dosis altas y medias de NPK combinadas con dosis altas de silicio se presentaron los mejores resultados en altura de plantas, esto se debe posiblemente al efecto del silicio en la potencialización de la absorción de nutrientes de manera más eficiente, produciendo un mejor balance nutricional, que se vio reflejado en una mayor altura de planta. Al respecto

Borda y Barón (2007) encontraron en avena forrajera respuesta positiva en cuanto a altura de plantas tras la aplicación de silicio⁴⁷.

En arroz Okuda y Takahashi (1965), utilizando soluciones nutritivas con aplicación de silicio, encontraron respuesta positiva al incrementar el número de tallos y la altura de las plantas⁴⁸.

7.2 PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE.

Se realizó análisis de varianza (Anexo 2) presentado diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 2), donde se observa que el T1 presenta diferencias estadísticas significativas con todos los tratamientos; a su vez obtuvo la mayor producción de forraje verde con una media de 167.2 t/ha/año, seguido de los tratamientos T4 y T2 con 138.87 y 135.47 t/ha/año respectivamente.

El testigo T0 tuvo una dosis de NPK igual al T1 y mayor a la aplicada a los tratamientos T5, T6 y T8. No obstante el T0 presentó una menor producción de forraje verde en comparación con el T1, con una media de 89.09 t/ha/año; similar a los promedios encontrados en T5, T6 y T8 (Anexo 2), siendo estos los promedios más bajos. Esto se debe posiblemente a la ausencia de silicio en el T0 y a las dosis bajas del mismo en T5, T6 y T8, presentando una menor producción.

Se puede deducir que a medida que se incrementaron las dosis de silicio, también se incrementó la producción de forraje verde; ya que posiblemente este elemento actuó de forma sinérgica con elementos como el P y K en los cuales se evidencia una notable eficiencia de absorción (Anexos 4 y 7); facilitando su absorción por parte de la planta, y por consiguiente se vio reflejado en una mayor producción. Quero (2008), afirma que a mayores contenidos de silicio en el suelo mejora la absorción de otros nutrientes y mantiene las hojas erectas lo cual es importante para la tasa de fotosíntesis⁴⁹.

Se evidencia que en las dosis altas y medias de silicio, en interacción con dosis altas y medias de NPK, una respuesta positiva en la producción de forraje verde (Gráfico 3). Matichenkov (2008), reporta que el silicio es un elemento altamente benéfico que estimula el crecimiento y producción de algunas plantas⁵⁰.

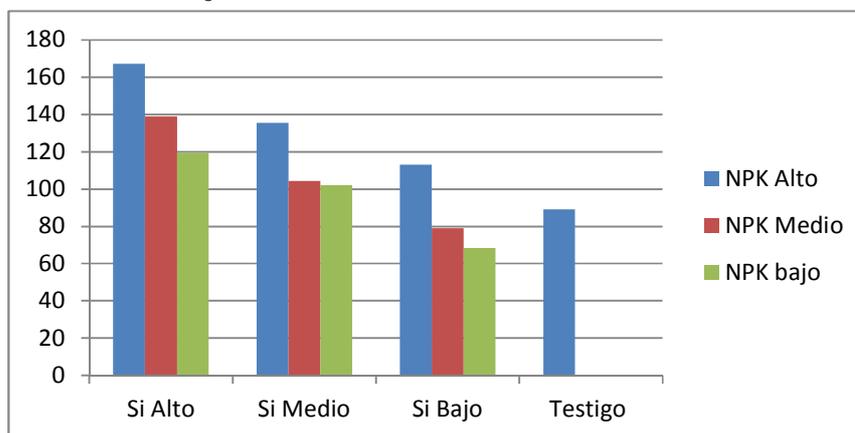
⁴⁷ BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 273-279p.

⁴⁸ OKUDA, A y TAKAHASHI, E. Citado por NAVARRO, S Y NAVARRO, G. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2 ed. Mundi prensa. Madrid. 426 p.

⁴⁹ QUERO, E. 2008. La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Protección y nutrición de hortalizas y frutas. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 3p.

⁵⁰ MATICHENKOV, V. Citado por CAICEDO, L y CHAVARRIAGA, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Agronomía Colombiana. 4 p.

Grafico 3: Producción forraje verde t/ha/año



Posiblemente la producción de forraje se vio influenciada por el silicio, el cual al depositarse en las paredes celulares, contribuyó a mejorar propiedades como la rigidez y la elasticidad; permitiendo un mejor crecimiento de la planta y una mejor absorción de los nutrientes. Al respecto Horna (2007) menciona que muchas especies acumulan concentraciones apreciables de sílice en sus tejidos y mejoran su crecimiento y fertilidad cuando se les suministra cantidades adecuadas de silicio. En las gramíneas, no solamente se deposita en la pared celular de la epidermis, pelos, brácteas, etc., sino también en el interior, como sucede en el xilema⁵¹.

Resultados similares a esta investigación se encontraron en el cultivo de maíz donde la aplicación de silicio al suelo antes de la siembra, condujo a obtener rendimientos en algunos casos superiores al 40%⁵². De igual manera el efecto benéfico del silicio se encontró en el cultivo de arroz, donde este elemento permitió aprovechar de manera más eficiente el agua y a su vez incrementó los rendimientos del cultivo⁵³.

7.3 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA.

⁵¹ HORNA, Z. 2007. Efectos del silicio en la nutrición vegetal. Producción de silicio orgánico. Quevedo - Ecuador. 2-4 p.

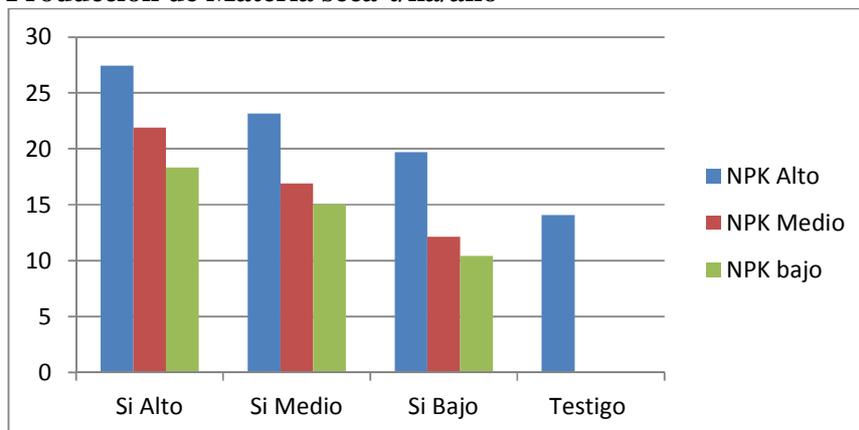
⁵² QUERO, E. 2005. Aplicación de silicio en la agricultura. Memoria programa de conferencias: La experiencia es un compromiso que rinde frutos. México. 3p.

⁵³ PRIMAVESI, A. Citado por CAICEDO, L y CHAVARRIAGA, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almárgo de plántulas de café variedad Colombia. Agronomía Colombiana. 3 p.

Se realizó análisis de varianza (Anexo 3) presentado diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 3). Se puede apreciar que el T1 presentó diferencias estadísticas significativas respecto a los demás tratamientos; así mismo tuvo la mayor producción de materia seca con un valor promedio de 27.44 t/ha/año de materia seca, seguido por T2 y T4 con producciones de 23.14 y 21.90 t/ha/año de materia seca respectivamente. El T0 presentó una menor producción de materia seca en comparación con el T1 a pesar que tuvo una dosis igual de NPK y mayor a la aplicada a los tratamientos T6 y T8 con una media de 14,09 t/ha/año; similar a los promedios encontrados en T6 y T8 (Anexo 3).

Los resultados encontrados muestran una clara relación entre las dosis altas y medias de silicio con la dosis altas de NPK, en el incremento de la producción de materia seca (Gráfico 4). Loaiza (2003), expresa que el silicio en condiciones de campo, puede estimular el crecimiento (entendido como la acumulación irreversible de materia seca, que se asocia a procesos de elongación y crecimiento celular) que se refleja en incremento de los contenidos de materia seca⁵⁴.

Gráfico 4: Producción de Materia seca t/ha/año



Deducciones similares fueron encontradas en el cultivo de avena donde la aplicación de 50 a 100 mg·kg⁻¹ de ácido monosilícico, demostró el efecto benéfico del silicio y comprueba que es fundamental para mejorar la expresión de materia seca en el cultivo de Avena⁵⁵.

⁵⁴ LOAIZA, C. 2003. Fisiología vegetal. Universidad de Caldas, Manizales. pp. 8-15.

⁵⁵ BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 277p.

Parra et al (2009), mencionan que al aumentar la concentración de silicio en la solución nutritiva, se incrementó en forma significativa la materia seca de los frutos de pepino⁵⁶.

Por su parte Álvarez y Andrade (2006), observaron que la absorción del silicio es paralela al aumento de materia seca a través de las diversas etapas de desarrollo del cultivo de arroz; y que la cantidad empleada de este elemento útil por el cultivo fue mayor que la de los elementos esenciales.⁵⁷

Estudios realizados por Borda y Barón (2007), quienes al aplicar silicio en solución, encontraron que este elemento produjo un estímulo en la producción de raíces, por lo cual la planta puede absorber los nutrientes de una mejor manera, lo cual se traduce en mayor crecimiento en la parte aérea y por consiguiente de acumulación de materia seca⁵⁸.

Caicedo y Chavarriaga (2008), en un ensayo en el Municipio de Chinchina, Caldas en almacigo de café los resultados mostraron un evidente desarrollo y crecimiento de los colinos, al igual que un mayor número de hojas. El desarrollo de estas estructuras influyó el peso seco folia. Ratificando la influencia del silicio en complemento con el DAP mostrando un efecto significativo de las diferentes dosis sobre desarrollo de raíces y, por lo tanto, a una mejor nutrición de las plantas, que se ven reflejados en una mayor acumulación de materia seca⁵⁹.

7.4 CONTENIDO DE FOSFORO EN LA PARTE AÉREA

En el análisis de varianza (Anexo 4) se identifican diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos, al aplicar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 4), se encontró que el T1 presenta diferencias estadísticas con los demás tratamientos, con una media de 0.53 % de fosforo, seguido de T2 y T4 con un valor promedio de 0.48 y 0.47 % respectivamente. Cabe mencionar que el testigo T0 tuvo una dosis igual de NPK que el T1, sin embargo el T0 presento una menor concentración de

⁵⁶ PARRA, S. et al. 2009. Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva. *Terra Latinoamericana*. Vol. 27, (2). México. 131p.

⁵⁷ ALVAREZ, A. y ANDRADE, L. 2006. Evaluación de cinco dosis de aplicación de ceniza de cascarilla de arroz como fuente de silicio y complemento a la fertilización con fósforo y potasio en el cultivo de arroz (*oryza sativa* l.) variedad f-50. *ESPOL*. 3p.

⁵⁸ BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*): respuesta fisiológica y manejo. *Agronomía Colombiana*. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 278p.

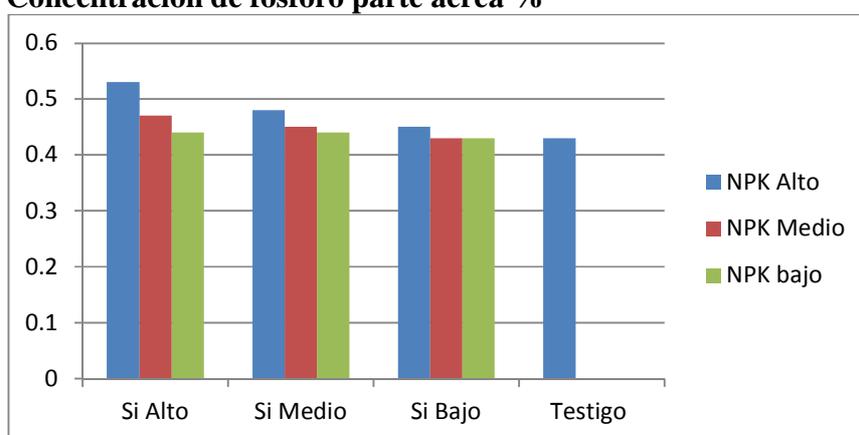
⁵⁹ CAICEDO, L y CHAVARRIAGA, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almacigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía Colombiana*. 4 p.

fosforo en comparación con el T1, con una media de 0.43%; similar a los promedios encontrados en T3; T5; T6; T7; T8 y T9.

La consideración anterior está sustentada por autores como Álvarez y Andrade (2006), quienes afirman que el silicio tiene efecto sobre otros nutrientes, el Si parece estimular la translocación del fósforo en la planta y la retención de exceso del fósforo absorbido. También hace que el fósforo del suelo sea accesible para la planta⁶⁰.

En los anteriores resultados se observa una respuesta positiva del silicio en la concentración de fosforo en la parte aérea en los tratamientos con dosis altas y medias de silicio, combinadas con dosis altas y medias de NPK (Grafico 5); lo que se tradujo en una mayor concentración de fosforo. Esto se debió posiblemente a que el silicio favorece la asimilación del fosforo por parte de la planta, expresado en la concentración de este elemento en el tejido foliar⁶¹. De acuerdo con Quero (2006), el silicio aumenta la nutrición del fósforo en las plantas de un 40 a 60% e incrementa la eficiencia de la aplicación de roca fosfórica de un 100 a 200%. La fertilización con minerales ricos en silicio promueve la transformación del fósforo no disponible para la planta en formas asimilables y previene la transformación de fertilizantes ricos en fósforo en compuestos inmóviles⁶².

Grafico 5: Concentración de fosforo parte aérea %



Los anteriores resultados se corroboran por Navarro y Navarro (2003), quienes afirman que el aporte al suelo de fertilizantes silícicos solubles incrementa la asimilación del fósforo por la planta, posiblemente debido a un intercambio de los fosfatos absorbidos a los hidróxidos por silicatos. El silicio junto al aporte de cantidades variables de Ca, Mg, Mn

⁶⁰ ALVAREZ, A. y ANDRADE, L. 2006. Evaluación de cinco dosis de aplicación de ceniza de cascarilla de arroz como fuente de silicio y complemento a la fertilización con fósforo y potasio en el cultivo de arroz (oryza sativa l.) variedad f-50. ESPOL. 4p.

⁶¹ CALDERON, F. 1980. El factor "silicio" en el cultivo de arroz en Colombia. Arroz 29, 8-11.

⁶² QUERO, E. 2006. Silicio en la producción agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 4p.

sirven para una mejora del pH del suelo y para favorecer la asimilación del fósforo⁶³; esta misma teoría la confirman Name y Villareal (2004), que refieren que el aplicar niveles crecientes de silicio influye en la absorción de fosforo⁶⁴.

Según Guerrero, *et al* (1972), la gran mayoría de nuestros suelos tienen gran poder de fijación del fósforo; cada vez que se aplican fertilizantes fosfatados en el suelo, se tienen pérdidas por fijación⁶⁵. Este efecto de fijación de fosforo no se evidencio en los tratamientos con dosis altas y medias de silicio, ya que presentaron una mayor concentración de fosforo, en comparación con los tratamientos de dosis bajas de silicio y el testigo (sin silicio). Lo que se deba posiblemente a lo referido por Caicedo y Chavarriaga (2008), que afirman que cuando el fósforo está fijado en el suelo en forma de fosfato de calcio, al adicionar silicio hidratado, se produce una reacción química que libera silicato de calcio, agua y ácido fosfórico, que es la forma asimilable para la planta⁶⁶.

En estudios similares realizados por Caicedo y Chavarriaga (2008), encontraron que la aplicación de DAP por sí sola presenta bajas respuestas solamente comparadas con el testigo, pero evidencia el beneficio de la aplicación conjunta de fósforo y silicio⁶⁷.

7.5 CONTENIDO DE FOSFORO EN RAÍZ

Realizando el análisis de varianza (Anexo 5) se observó diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 5). Se pudo corroborar que el T1 presenta diferencias estadísticas con los demás tratamientos, a su vez es el tratamiento que tiene la mayor concentración de fosforo con una media de 0.42 % seguido de T2 y T4 con valores promedio de 0.38 y 0.38 % respectivamente. Como en la anterior variable el testigo T0 tuvo una dosis equivalente de NPK que el T1 No obstante el T0 presento una menor concentración de fosforo en la raíz en comparación con el T1, con una media de 0.32%;

⁶³ NAVARRO, S Y NAVARRO, G. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2 ed. Mundi prensa. Madrid. 425 p.

⁶⁴ NAME, B. y VILLAREAL, J. 2004. Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP. Instituto de investigación agropecuaria de Panamá (IDIAP), 229p.

⁶⁵ GUERRERO, R. et al. 1972. Estado y fijación del fosforo en suelos volcánicos del sur de Colombia. II panel sobre suelos volcánicos de América. Universidad de Nariño. Pasto. 59-81p.

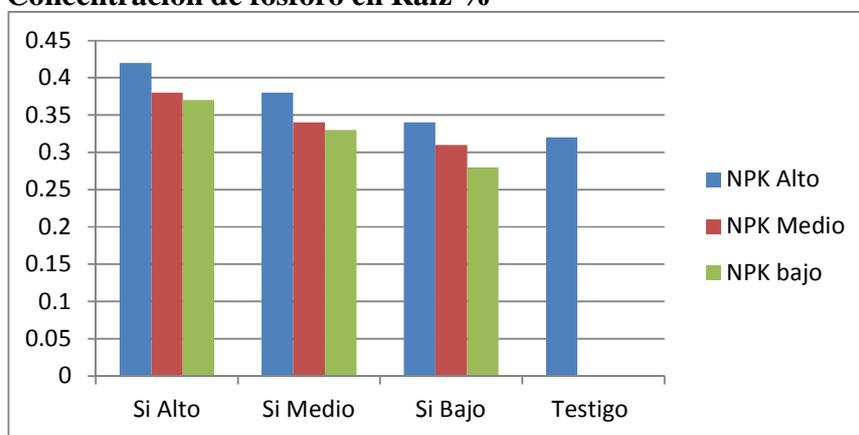
⁶⁶ CAICEDO, L y CHAVARRIAGA, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Agronomía Colombiana. 4 p.

⁶⁷ CAICEDO, L y CHAVARRIAGA, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Agronomía Colombiana. 4 p.

similar a los promedios encontrados en T3; T5; T6; T7 y T8 siendo este grupo los promedios inferiores.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en concentración de fósforo en la parte aérea; implicando que tanto las dosis altas y medias de silicio, combinadas con dosis altas y medias de NPK presentan una eficiencia en la asimilación de fósforo en la raíz (Grafico 6). Esto posiblemente se debe a que el silicio favorece la asimilación del fósforo a través de la raíz; lo cual se explica de acuerdo con lo propuesto por Epstein y Bloom (2007), quienes aseguran que el silicio tiene un efecto indirecto sobre la absorción natural de otros elementos como el fósforo necesarios para el crecimiento radical⁶⁸

Grafico 6: Concentración de fósforo en Raíz %



Además Quero (2006), afirma que al emplear materiales ricos en silicio se reduce la toxicidad del aluminio y optimización del pH, lo cual mejora también la nutrición con fósforo, ya que el silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes en la raíz⁶⁹.

7.6 CONTENIDO DE FOSFORO EN SUELO.

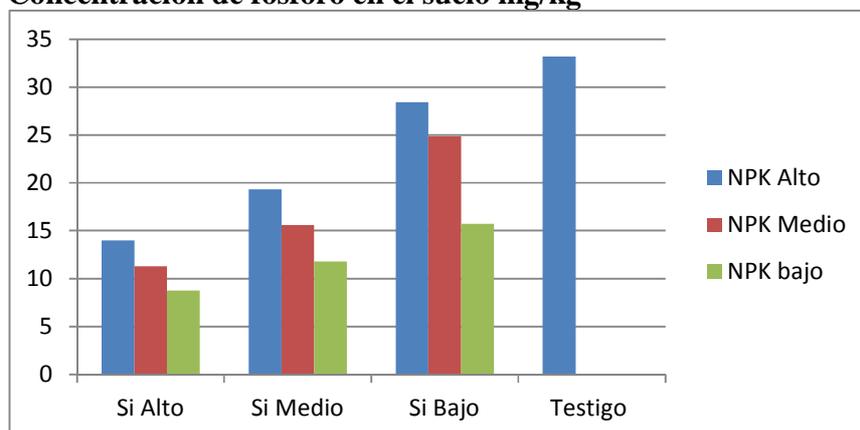
Al realizar el análisis de varianza (Anexo 6) se determinó diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 6). Se pudo determinar que el T0 presenta diferencias estadísticas con los demás tratamientos, así mismo es el tratamiento que tiene la mayor concentración de fósforo en el suelo con un valor promedio de 33.18 mg/kg seguido

⁶⁸ EPSTEIN y BLOOM. Citados por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 274-277p

⁶⁹ QUERO, E. 2006. Silicio en la producción agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 4p.

de T3 y T6 con una media de 28.39 y 24.84 mg/kg respectivamente. Cabe resaltar que T7 y T4 con un valor promedio de 8.76 y 11.3 mg/kg, respectivamente, son considerados como los promedios más bajos de concentración de fosforo en el suelo (Grafico 7).

Grafico 7: Concentración de fosforo en el suelo mg/kg



Se observa que tanto dosis medias y altas de silicio, en combinación con todas las dosis de NPK se presentaron menores concentraciones de P en el suelo; esto se debe posiblemente a que el silicio presento un efecto positivo en el fosforo, facilitando su movilización en el suelo y absorción por parte de la planta; lo que se vio reflejado en menores concentraciones de fosforo en el suelo. Lo anterior se corrobora con lo referido por Hernández, *et al* (2011), que afirman que empleando materiales ricos en silicio mejora la nutrición con fósforo, hierro, potasio y zinc; ya que el silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes.⁷⁰

Lo anterior conlleva a considerar que el silicio en interacción con el NPK, posiblemente tiende a disminuir la capacidad de retención total del fosforo en el suelo, igualmente un incremento en el contenido de silicio posiblemente signifique una disminución de la precipitación del fosforo. Esto concuerda con Guerrero *et al* (1972), quienes afirman que el silicio induce una disminución en la intensidad de la precipitación de los fosfatos especialmente la precipitación a los fosfatos de hierro provocando así un incremento significativo del fósforo aprovechable⁷¹.

Navarro y Navarro (2003), refieren una notable correlación entre el silicio y el fosforo; ya que el aporte al suelo de fertilizantes silícicos solubles incrementa la asimilación de fosforo

⁷⁰ HERNÁNDEZ, R. et al. 2011. Residual industrial como complemento en la fertilización sustentable. El hombre y la máquina. Vol. 37. México. 68p.

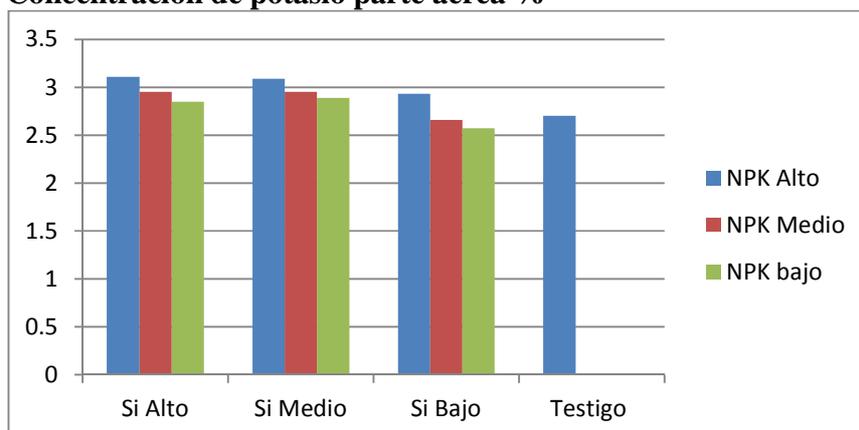
⁷¹ GUERRERO, R. et al. 1972. Estado y fijación del fosforo en suelos volcánicos del sur de Colombia. II panel sobre suelos volcánicos de América. Universidad de Nariño. Pasto. 59-81p.

por la planta, posiblemente debido a un intercambio de los fosfatos absorbidos a los hidroxilos por silicatos⁷².

7.7 CONTENIDO DE POTASIO EN LA PARTE AÉREA.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo 7 se demostró que existen diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 7). Se pudo determinar que el T1 tiene un valor promedio de 3.11 %, a su vez no presenta diferencias estadísticas con T2, T4, T5 y T3 los cuales tienen valores promedio de 3.09, 2.95, 2.95 y 2.93 % respectivamente, siendo estas las mayores concentraciones de potasio en la parte aérea (Grafico 8). Aunque el testigo el T0 tuvo una dosis igual de NPK que el T1, presentó una menor concentración de K en comparación con el T1, con una media de 2.70 %, similar a los promedios encontrados en T6, T7 y T9.

Grafico 8: Concentración de potasio parte aérea %



De acuerdo a los resultados encontrados, se establece que tanto las dosis medias y altas de silicio, combinadas con dosis altas y medias de NPK, presentaron una respuesta igual; incrementando la concentración de potasio en la parte aérea; esto posiblemente se deba a que la aplicación de silicio tuvo un efecto sinérgico con el potasio.

Estudios similares realizados por encontraron que las concentraciones de K de las hojas superiores, y de K del fruto en el cultivo de pepino, fueron significativamente afectados por

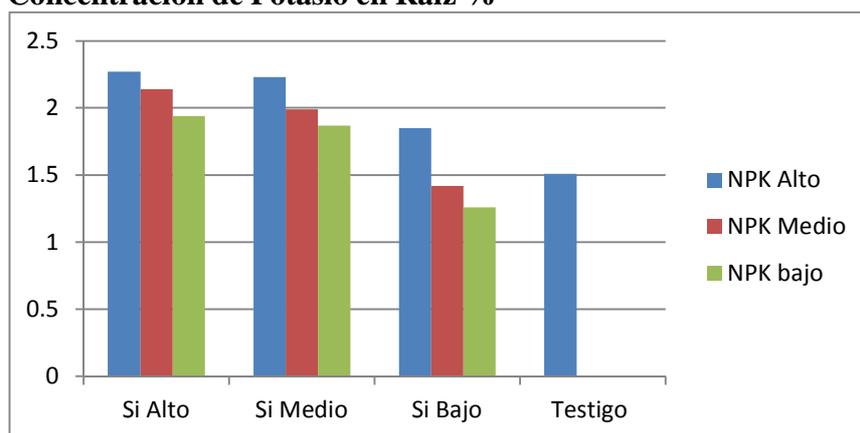
⁷² NAVARRO, S Y NAVARRO, G. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2 ed. Mundi prensa. Madrid. 425 p.

las concentración de silicio; obteniéndose diferencias significativas del contenido de K, obtenido por efecto de las concentraciones media y alta de silicio.⁷³

7.8 CONTENIDO DE POTASIO EN RAÍZ.

En el análisis de varianza (Anexo 8) se identifican diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos, al aplicar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 8), se encontró que el T1 presenta el valor más alto en concentración de Potasio con una media de 2.27 % seguido de T2 y T4 con valores promedio de 2.23 y 2.14 % respectivamente, con los cuales no presenta diferencias estadísticas (Grafico 9). Como en la variable de concentración de potasio en la parte aérea, el testigo el T0 aunque tuvo una dosis igual de NPK que el T1, presento una menor concentración de potasio en comparación con el T1, con una media de 1.51%; similar al promedio encontrado en T6, siendo estos los valores más bajos respecto a concentración de potasio en la raíz.

Grafico 9: Concentración de Potasio en Raíz %



Se establece de acuerdo a los resultados encontrados, se establece que tanto las dosis medias y altas de silicio, en interacción con dosis altas y medias de NPK, presentaron una respuesta igual; incrementando la concentración de potasio en la raíz; esto posiblemente se deba a que la aplicación de silicio tuvo un efecto sinérgico con el potasio. Lo anterior se corrobora por lo expresado por Quero (2011), que afirma que la aplicación de silicio establece un efecto sobre los otros nutrientes presentes en el suelo como el potasio⁷⁴.

⁷³ PARRA, S. et al. 2009. Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva. Terra Latinoamericana. Vol. 27, (2). México. 129-131p.

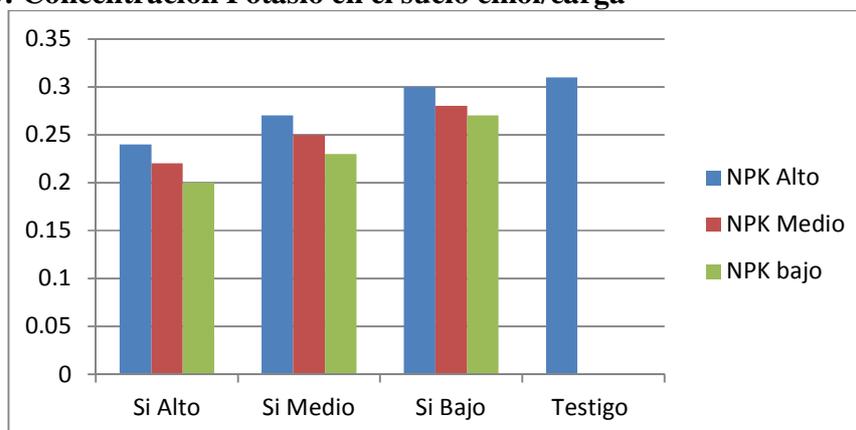
⁷⁴ QUERO, E. 2011. Citado por PULGARIN, S. Respuesta de una mezcla forrajera establecida en clima frío, a la aplicación de silicato de magnesio. Escuela politécnica Nacional del Ecuador. Quito 65p.

En estudios realizados por Hernández *et al* (2011), encontraron que emplear materiales ricos en silicio se mejora la nutrición con fósforo, hierro, potasio y zinc; ya que el silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes.⁷⁵

7.9 CONTENIDO DE POTASIO EN SUELO.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo 9) se observa diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 9). Se pudo determinar que el T0 es el tratamiento que tiene la mayor concentración de potasio en el suelo con una media de 0.31 cmol/carga, seguido de T3 y T6 con valores promedio de 0.30 y 0.28 cmol/carga respectivamente. Cabe resaltar que T4 y T7 con una media de 0.22 y 0.20 cmol/carga respectivamente, son considerados como los promedios más bajos de concentración de potasio en el suelo. De lo anterior se puede decir que las mayores concentraciones de potasio en el suelo se presentaron en el tratamiento T0 sin aplicación de silicio y en los tratamientos T3 y T6 con dosis bajas de silicio (grafico 10).

Grafico 10: Concentración Potasio en el suelo cmol/carga



Contrario a esto se pudo observar que cuando se aplico dosis altas y medias de silicio se presentaron menores concentraciones de potasio en el suelo; así pues en el tratamiento el T1 con fertilización de una dosis alta de NPK, está relacionado con los contenidos más bajos de potasio en el suelo. Lo anterior permite considerar que el silicio posiblemente tiende a potencializar la asimilación de potasio por parte de la planta; lo cual conlleva a una disminución del potasio presente en el suelo.

⁷⁵ HERNÁNDEZ, R. et al. 2011. Residual industrial como complemento en la fertilización sustentable. El hombre y la máquina. Vol. 37. México. 68p.

Estos resultados también se pueden explicar con lo expuesto por Quero (2007), quien afirma que en la fase soluble del suelo se encuentra el silicio en la forma de ácido ortosilícico como monómero, y también en diferentes grados de polimerización y coloides; mismos que forman sales con los cationes presentes, dando lugar a silicatos que promueven la creación de gradientes de concentración de nutrientes minerales como el potasio desde el suelo hasta la planta.⁷⁶

De igual modo, Berumen (2007), explica que para lograr que los nutrientes entren a la solución del suelo, el silicio se intercambia con estos, quedando el silicio adherido a los coloides, liberándolos y permitiéndoles de esta manera que queden disponibles para las plantas.⁷⁷ Horna y Muñoz (2007) encontraron en suelos Ecuatorianos, que el silicio actúa como facilitador de nutrientes como el potasio en el cultivo del banano⁷⁸.

7.10 CONTENIDO DE CALCIO EN LA PARTE AÉREA

En el análisis de varianza (Anexo 10) se identifican diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos, al aplicar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 10), se encontró que el T1 presentó la mayor concentración de Ca con una media de 0,47% de Ca a su vez presenta diferencias estadísticas con los demás tratamientos, seguido de los tratamientos T4 y T7 con promedios de 0,43 y 0,42 % respectivamente.

Con los resultados anteriores se puede decir que posiblemente la aplicación de dosis altas y medias de silicio contribuyeron a realizar un proceso sinérgico con el calcio, de esta manera se incrementa el transporte de este nutriente hasta las partes más altas de la planta. Y esto se pone de manifiesto con lo expuesto por Hernández *et al* (2011), quien afirma que el silicio tiene acción sinérgica con el Calcio, optimizando el desarrollo del cultivo y producción de cosecha⁷⁹.

Quizá esto también se explique por la teoría de Epstein y Bloom (2007), quienes aseveran que el silicio refuerza el sistema vascular, como resultado las plantas pueden elevar más agua en el corriente de transpiración y en esa agua algo de Ca presente en el suelo. Por lo

⁷⁶ QUERO, E. 2007. Remineralización de suelos con materiales ricos en silicio. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 3p.

⁷⁷ BERUMEN, J. Citado por HORNA, Z. 2007. Efectos del silicio en la nutrición vegetal. Producción de silicio orgánico. Quevedo. Ecuador. 2 p.

⁷⁸ HORNA, Z. y MUÑOZ, M. 2007. Resultado de la producción de Silicio orgánico en base a la cascarilla de arroz *Oryza sativa* L. Ecuador. 4p.

⁷⁹ HERNÁNDEZ, R. et al. 2011. Residual industrial como complemento en la fertilización sustentable. El hombre y la máquina. Vol. 37. México. 69p.

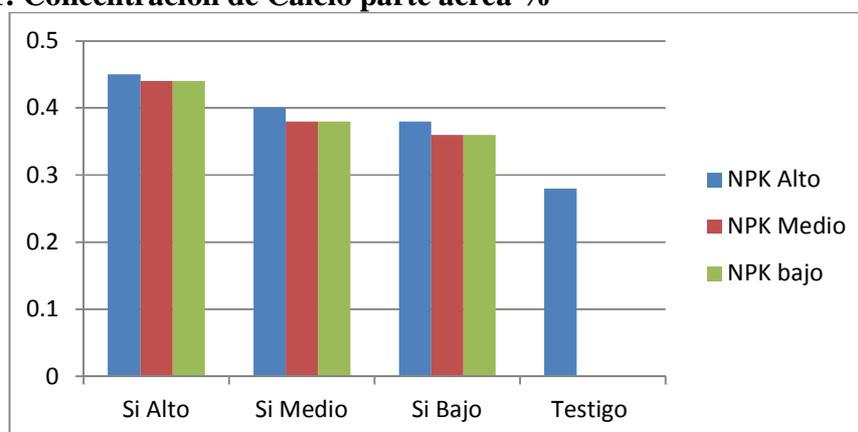
cual se necesita cierta concentración de silicio en el agua-suelo para que el Ca presente que es más bien inmóvil, se torne disponible para ser captado por las plantas⁸⁰.

El mismo autor afirma que el silicio y el calcio parecen inseparablemente presentes en el mantenimiento de la integridad y fortaleza de la pared celular y en varias funciones metabólicas involucradas en el crecimiento y desarrollo⁸¹.

Además Quero (2008), menciona que las formas poliméricas y amorfas del Si, se alojan en el tejido de la epidermis formando una capa fina de membrana silicio-celulosa que está asociado con pectina y iones calcio⁸². Así mismo la presencia de H_4SiO_4 en los tejidos induce una distribución uniforme de los compuestos que inducen toxicidad en las plantas, esto seguramente lo realiza por reaccionar químicamente con ellos, formando especies iónicas, H_3SiO_4 en la movilidad y distribución de los nutrientes catiónicos, como el Ca^{2+} ⁸³.

Con respecto al T0, presento diferencias estadísticas altamente significativas con los demás tratamientos siendo esta la menor concentración de Ca en la parte aérea con una media de 0.28 %. Con esto se confirma que la aplicación de silicio es necesaria para la absorción de Ca (grafico 10).

Grafico 11: Concentración de Calcio parte aérea %



⁸⁰ EPSTEIN y BLOOM. Citados por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 274-277p

⁸¹ EPSTEIN y BLOOM. Citados por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 274-277p

⁸² QUERO, E. 2008. La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Protección y nutrición de hortalizas y frutas. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 3p.

⁸³ QUERO, E. 2008. Nutrición con silicio y sus aplicaciones a cultivos a cielo abierto y en agricultura protegida: Un pequeño recorrido por la naturaleza. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 3p.

Similares resultados se encontraron en un estudio de pasto brachiaria, donde al aplicar escoria compuesta por silicio, producto que impidió que el Ca se quedara retenido en el suelo. Por lo cual donde no se aplicó silicio, también se encontró que el calcio las menores concentraciones en tejido⁸⁴.

7.11 CONTENIDO DE CALCIO EN RAÍZ

Se realizó análisis de varianza (Anexo 11) presentado diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 11). Se puede apreciar que el T1 presenta diferencias estadísticamente significativas con los demás tratamientos a su vez presentó el mayor concentración de Ca en raíz con una media de 0,37%, seguido por los tratamientos T4 y T7 con promedios de 0,28 y 0,28 % respectivamente.

El T0 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos siendo esta la menor concentración de Ca en la raíz con una media de 0.23 % (Gráfico 12); encontrando en cuanto a calcio se refiere, que tanto en dosis altas y como medias de silicio se presentan las mejores concentraciones de calcio en raíz, siendo estos resultados iguales a los encontrados en la variable concentración de fósforo en la parte aérea; posiblemente a causa de un efecto sinérgico entre el silicio y el calcio que facilitó su absorción por la planta a través de la raíz. Lo que se coincide con lo afirmado por Horna (2007), quien afirma que el Silicio tiene acción sinérgica con el Ca.⁸⁵

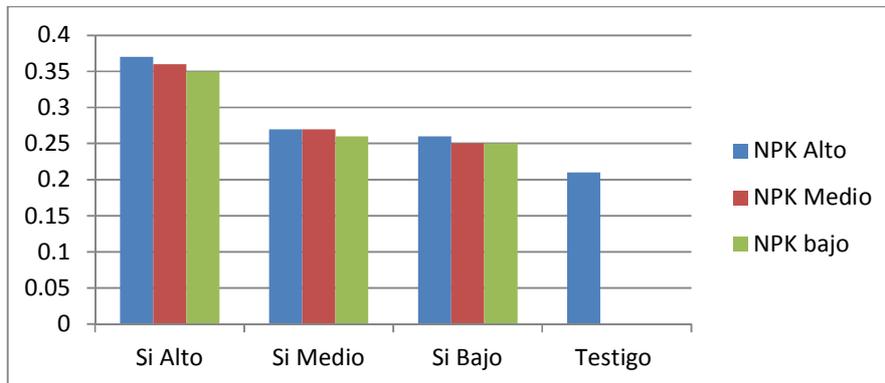
También esto se puede contrastar con lo encontrado en estudios con avena forrajera donde la aplicación de silicio actuó con el calcio de manera indirecta pero favorable; es decir que se incentiva la absorción de fósforo nativo que se libera del suelo por acción del ión silicato. Los fosfatos en mayor concentración en la solución del suelo, permiten que el sistema radical incremente su masa y volumen, aumentando con ello la capacidad de absorción por superficie de contacto de elementos como el calcio⁸⁶.

Gráfico 12: Concentración de Calcio en raíz %

⁸⁴ FARIA, L. et al. 2008. Efecto residual de la aplicación de silicato en el suelo y el rendimiento de pasto Brachiaria bajo pastoreo. En: Revista Brasileña de las ciencias del suelo. Vol. 32. 6p.

⁸⁵ HORNA, Z. 2007. Efectos del silicio en la nutrición vegetal. Producción de silicio orgánico. Quevedo - Ecuador. 4 p

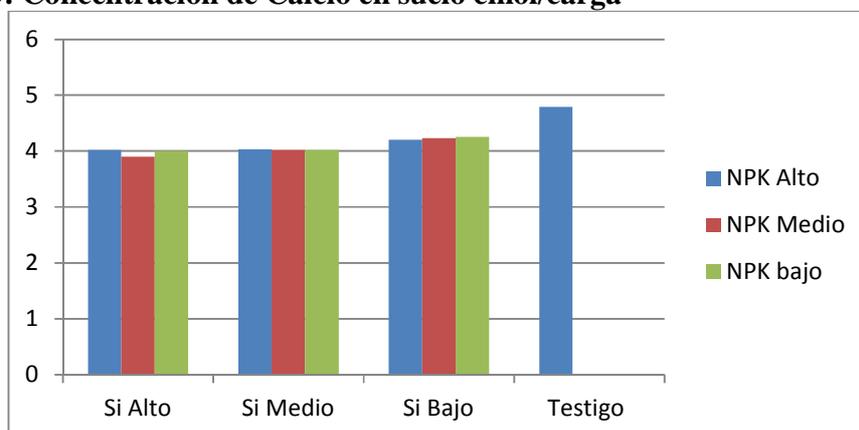
⁸⁶ BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 275p.



7.12 CONTENIDO DE CALCIO EN SUELO.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo 12) se observa diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 12). Se pudo determinar que el T0 es estadísticamente diferente de los demás tratamientos, a su vez es el tratamiento que tiene la mayor concentración de Ca en el suelo con un valor promedio de 4,79 cmol/carga. Cabe resaltar que no se presentaron diferencias significativas en los demás tratamientos. (Grafico 13).

Grafico 13: Concentración de Calcio en suelo cmol/carga



En los anteriores resultados no se presentan variaciones en cuanto a la concentración de calcio en el suelo; lo que posiblemente se deba al efecto de la aplicación de cal dolomita, la cual mantendría un efecto residual básico prolongado; es decir que las partículas más finas actúan en los primeros tres meses y las partículas más gruesas siguen reaccionando hasta después de un año y medio de su aplicación; lo que permitiría que la concentración de calcio en el suelo permanezca constante.

7.13 CONTENIDO DE MAGNESIO EN LA PARTE AÉREA

Realizando el análisis de varianza (Anexo 13) se observa diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 13). Se pudo corroborar que el T1 es estadísticamente diferente de los demás tratamientos, así mismo este tratamiento presenta la mayor concentración de Mg con un valor promedio de 0,25% seguido de los tratamientos T4, T7 y T2 con valores promedio de 0,22; 0,19 y 0,18% respectivamente.

Lo anterior se debe a que probablemente la aplicación de silicio proporcione un efecto sinérgico, y esto concuerda con lo explicado por Hernández (2011), quien afirma que el silicio contribuye a realizar un proceso sinérgico con el calcio, de esta manera se incrementa el transporte de este nutriente hasta las partes más altas de la planta. Además este mismo autor manifiesta que el silicio tiene acción sinérgica con el Calcio, optimizando el desarrollo del cultivo y producción de cosecha⁸⁷.

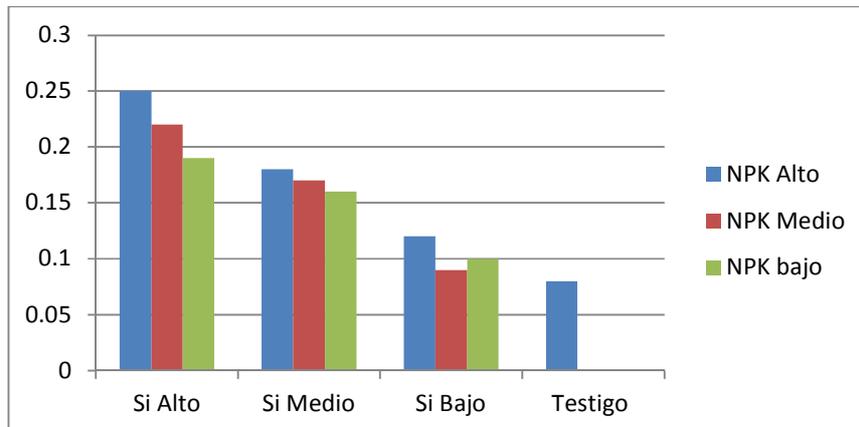
Pulgarin (2011), encontró que los contenidos de Mg se incrementaron, respecto a la aplicación de silicato de Mg, debido a que lógicamente se aplicó silicato de magnesio en el cual existe un 20% de Magnesio⁸⁸; similar a esta investigación donde se aplicó como fertilizante silicato de magnesio con una concentración de 19% de silicio.

Con respecto al T0 presento diferencias estadísticas altamente significativas con los demás tratamientos siendo esta la menor concentración de Mg en la parte aérea con una media de 0.8 % (Gráfico 14). Igual que las variables de Ca se evidencia que en la ausencia de silicio o suministrado en bajas concentraciones posiblemente no conduzca a una absorción adecuada de Mg en la planta.

Gráfico 14: Concentración de Magnesio parte aérea %

⁸⁷ HERNÁNDEZ, R. et al. 2011. Residuo industrial como complemento en la fertilización sustentable. El hombre y la máquina. Vol. 37. México. 69p.

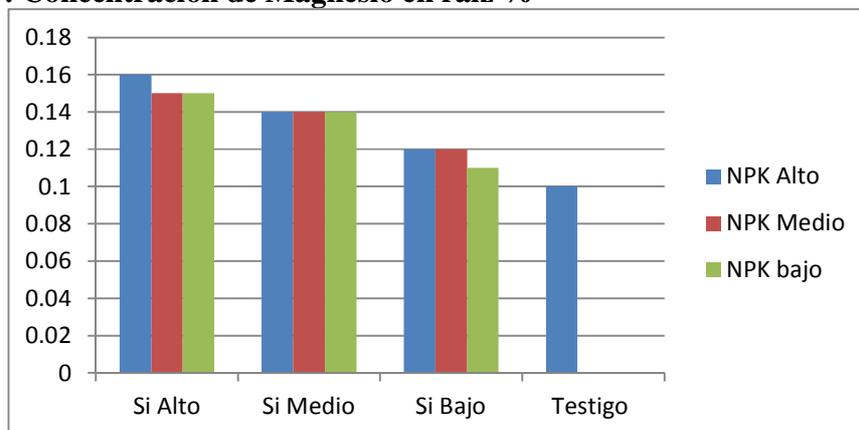
⁸⁸ PULGARIN, S. 2011. Respuesta de una mezcla forrajera establecida en clima frío, a la aplicación de silicato de magnesio. Escuela politécnica Nacional del Ecuador. Quito. 94-95p.



7.14 CONTENIDO DE MAGNESIO EN RAÍZ.

Se realizó análisis de varianza (Anexo 14) presentando diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 14). Se puede apreciar que el T1 presenta diferencias estadísticamente significativas con los demás tratamientos; a su vez presentó el mayor concentración de Mg en raíz con una media de 0,16%, seguido por los tratamientos T4 y T7 con valores promedios de 0,15 y 0,15 % respectivamente.

Grafico 15: Concentración de Magnesio en raíz %



Finalmente con estos resultados se demuestra que posiblemente la aplicación de silicio permite ayudar a la planta en absorción de bases como el Mg. Al respecto Quero (2008), señala que la presencia de silicio induce a una distribución uniforme de los nutrientes, esto seguramente lo realiza al reaccionar con ellos, formando especies iónicas, por lo que es

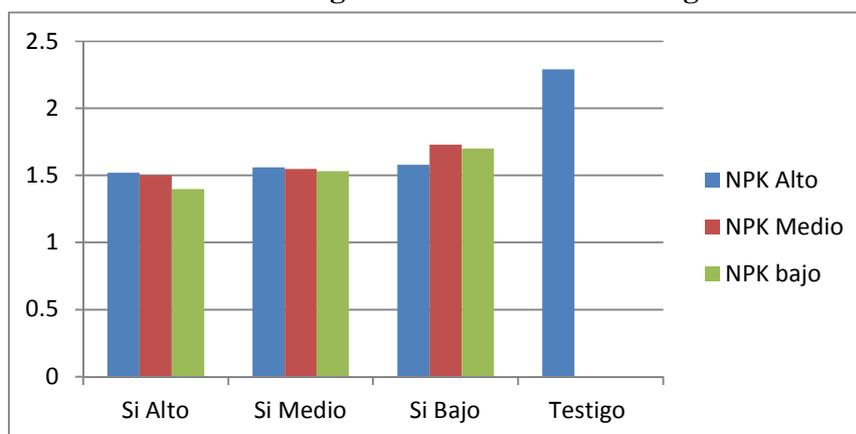
importante considerar que la participación del silicio en la movilidad y distribución de los nutrientes catiónicos como el Mg^{2+} .⁸⁹

Por otra parte Epstein y Bloom (2007), afirman que al aplicar silicio se aumenta la disponibilidad de elementos como el Mg, al contrarrestar el antagonismo generado en suelos con alta saturación de aluminio y hierro⁹⁰.

7.15 CONTENIDO DE MAGNESIO EN SUELO.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo 15) se observa diferencias estadísticas significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los resultados se procedió a realizar la prueba de contrastes ortogonales (Anexo 15). Se pudo determinar que el T0 es estadísticamente diferente de los demás tratamientos; así mismo es el tratamiento que tiene la mayor concentración de Mg en el suelo con un promedio de 2,29 cmol/carga. Cabe resaltar no presentaron diferencias significativas en los demás tratamientos. (Grafico 16).

Grafico 16: Concentración de Magnesio en el suelo cmol/carga



Que no haya diferencias en los demás tratamientos se deba posiblemente a un factor de la aplicación de cal dolomita, la cual mantendría un efecto residual básico prolongado; es decir que las partículas más finas actúan en los primeros tres meses y las partículas más

⁸⁹ QUERO, E. 2008. La biosilificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Protección y nutrición de hortalizas y frutas. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 3p.

⁹⁰ EPSTEIN y BLOOM. Citados por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 274p.

gruesas siguen reaccionando hasta después de un año y medio de su aplicación; lo que permitiría que la concentración de magnesio en el suelo permanezca constante.

7.16 ANALISIS ECONOMICO

En la Tabla 3 se encontró que todos los tratamientos tienen beneficio neto, no obstante el tratamiento T1 (Alto NPK y alto Si), presentó la mayor rentabilidad, comparada con el testigo (Alto NPK sin silicio), con un 88% de rentabilidad.

Cabe resaltar los resultados de T4 (Medio NPK y alto Si) con una rentabilidad de 81% y T7 (Bajo NPK y alto Si) con una rentabilidad de 84%; los cuales requirieron una menor inversión que el T1, y consiguen rentabilidad cercana al tratamiento T1.

Tabla N° 3: Análisis Económico

ACTIVIDAD	TRATAMIENTOS																				
	EL T0		EL T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7		T8		T9		
COSTOS VARIABLES	Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	
Mano de obra (Jornales)																					
Preparación del suelo	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	
Siembra	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	2	\$ 26.000	
Aplicación de fertilizantes	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	
Control de malezas	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	4	\$ 52.000	
Mano de obra total (\$)	\$ 182.000		\$ 182.000		\$ 182.000		\$ 182.000		\$ 182.000		\$ 182.000		\$ 182.000		\$ 182.000		\$ 182.000		\$ 182.000		
Insumos																					
Semilla (kg/ha)	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	35	\$ 280.000	
Encalado	Caldolomita (t/ha)	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600	2,54	\$ 355.600
	UREA (kg/ha)	529	\$ 634.800	529	\$ 634.800	529	\$ 634.800	529	\$ 634.800	397	\$ 476.400	397	\$ 476.400	397	\$ 476.400	265	\$ 318.000	265	\$ 318.000	265	\$ 318.000
Fertilización	SFT (kg/ha)	72	\$ 144.000	72	\$ 144.000	72	\$ 144.000	72	\$ 144.000	54	\$ 108.000	54	\$ 108.000	54	\$ 108.000	36	\$ 72.000	36	\$ 72.000	36	\$ 72.000
	KCl (kg/ha)	160	\$ 320.000	160	\$ 320.000	160	\$ 320.000	160	\$ 320.000	120	\$ 240.000	120	\$ 240.000	120	\$ 240.000	80	\$ 160.000	80	\$ 160.000	80	\$ 160.000
	SiO ₂ (kg/ha)	0	\$ 0	100	\$ 120.000	75	\$ 90.000	50	\$ 60.000	100	\$ 120.000	75	\$ 90.000	50	\$ 60.000	100	\$ 120.000	75	\$ 90.000	50	\$ 60.000
Insumos total	\$ 1.734.400		\$ 1.854.400		\$ 1.824.400		\$ 1.794.400		\$ 1.580.000		\$ 1.550.000		\$ 1.520.000		\$ 1.305.600		\$ 1.275.600		\$ 1.245.600		
Otros (1% costos variables)	\$ 19.164		\$ 20.364		\$ 20.064		\$ 19.764		\$ 17.620		\$ 17.320		\$ 17.020		\$ 14.876		\$ 14.576		\$ 14.276		
SUBTOTAL	\$ 1.935.564		\$ 2.056.764		\$ 2.026.464		\$ 1.996.164		\$ 1.779.620		\$ 1.749.320		\$ 1.719.020		\$ 1.502.476		\$ 1.472.176		\$ 1.441.876		
COSTOS FIJOS																					
Administración (3% costos variables)	\$ 58.067		\$ 61.703		\$ 60.794		\$ 59.885		\$ 53.389		\$ 52.480		\$ 51.571		\$ 45.074		\$ 44.165		\$ 43.256		
Imprevistos (5% costos variables)	\$ 96.778		\$ 102.838		\$ 101.323		\$ 99.808		\$ 88.981		\$ 87.466		\$ 85.951		\$ 75.124		\$ 73.609		\$ 72.094		
SUBTOTAL	\$ 154.845		\$ 164.541		\$ 162.117		\$ 159.693		\$ 142.370		\$ 139.946		\$ 137.522		\$ 120.198		\$ 117.774		\$ 115.350		
PRODUCCION																					
Producción de forraje verde (t/ha/año)	89,09		167,2		135,47		113,07		138,87		104,33		78,89		119,49		102,07		68,4		
COSTOS TOTALES (\$)	\$ 2.090.409		\$ 2.221.305		\$ 2.188.581		\$ 2.155.857		\$ 1.921.990		\$ 1.889.266		\$ 1.856.542		\$ 1.622.674		\$ 1.589.950		\$ 1.557.226		
BENEFICIO BRUTO (\$)	\$ 2.227.250		\$ 4.180.000		\$ 3.386.750		\$ 2.826.750		\$ 3.471.750		\$ 2.608.250		\$ 1.972.250		\$ 2.987.250		\$ 2.551.750		\$ 1.710.000		
BENEFICIO NETO (\$)	\$ 136.841		\$ 1.958.695		\$ 1.198.169		\$ 670.893		\$ 1.549.760		\$ 718.984		\$ 115.708		\$ 1.364.576		\$ 961.800		\$ 152.774		
RENTABILIDAD (%)	7		88		55		31		81		38		6		84		60		10		

8. CONCLUSIONES

La interacción de dosis altas silicio (100 kg/ha), con dosis altas de NPK (Urea 529 kg/ha, SFT 72 kg/ha, KCl 160 kg/ha) y dosis medias de NPK (Urea 397kg/ha SFT 54kg/ha KCl 120 kg/ha), incrementaron la altura de planta, la producción de forraje verde y la producción de materia seca en el pasto Raigrás aubade (*Lolium sp*).

Las concentraciones de fosforo y potasio, en la parte aérea y raíz del cultivo de pasto Raigrás aubade (*Lolium sp*), fueron influenciados por la interacción de la fertilización con dosis altas de NPK (Urea 529 kg/ha, SFT 72 kg/ha, KCl 160 kg/ha) y dosis altas y medias de silicio (100 y 50kg/ha SiO₂).

La mayor rentabilidad se obtuvo cuando se aplicó dosis altas de NPK (Urea 529 kg/ha, SFT 72 kg/ha, KCl 160 kg/ha), combinadas con dosis altas de silicio (100 kg/ha).

9. RECOMENDACIONES

Para complementar este trabajo, se recomienda realizar estudios que permitan determinar el efecto del silicio en la palatabilidad de los forrajes, lo cual significa un punto muy importante en el consumo voluntario de los animales.

También se recomienda evaluar parámetros como digestibilidad, fibra y proteína; que permitan determinar el efecto del silicio en la calidad del forraje.

El análisis económico no es suficiente para demostrar que tratamiento es mejor económicamente, siendo necesario complementar este estudio mediante un análisis financiero que incluya aspectos nutricionales del forraje.

Evaluar el comportamiento del pasto Raigrás (*Lolium sp*) con las mismas dosis de fertilizantes en otras zonas de importancia para la producción de forrajes.

10. BIBLIOGRAFIA

ALTAMIRANO, S. Citado por DELGADO, Y. y MIPAZ, M. 2005. Determinación del efecto de tres sistemas de fertilización utilizando riego localizado por exudación en la producción y calidad nutricional del pasto Aubade (*Lolium sp.*), en la vereda Cruz de Amarillo, Corregimiento de Catambuco. 27p.

ALVAREZ, A. y ANDRADE, L. 2006. Evaluación de cinco dosis de aplicación de ceniza de cascarilla de arroz como fuente de silicio y complemento a la fertilización con fósforo y potasio en el cultivo de arroz (*oryza sativa l.*) variedad f-50. ESPOL. 3p.

BERNAL, E. 1986. Manual Pastos y Forrajes. CONFAGAN - FADEGAN - JUNAC. 235 p.

BERNAL, E. 1987. Los raigrases, pastos para producción de leche. Despertar Lechero. Colanta. Pasto. 7 – 15p.

BERNAL, E. 2002. Encalado y uso de correctivos del suelo en pastos. En: Servicio Nacional de Aprendizaje: Asociación Nacional de Productores de Leche y Sociedad de Agricultores de Colombia. Curso Manejo de pastos y conservación de forrajes: memorias técnicas. Bogotá: produmedios, 24p.

BERNAL, E. Citado por DELGADO, Y. y MIPAZ, M. 2005. Determinación del efecto de tres sistemas de fertilización utilizando riego localizado por exudación en la producción y calidad nutricional del pasto Aubade (*Lolium sp.*), en la vereda Cruz de Amarillo, Corregimiento de Catambuco. 27p.

BERUMEN, J. Citado por HORNA, Z. 2007. Efectos del silicio en la nutrición vegetal. Producción de silicio orgánico. Quevedo. Ecuador. 2 p.

BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 273-279p.

BRAGA, J.M. Y DEFELIPO, B.V. 1974. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85.

BUITRAGO, A. y CRUZ, G. 1983. Niveles óptimos de fertilización compuesta en tres variedades de raigrases tetraploides. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 75 p.

CAICEDO, L y CHAVARRIAGA, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Agronomía Colombiana. 3- 4 p.

CALDERON, F. 1980. El factor "silicio" en el cultivo de arroz en Colombia. *Arroz* 29, 8-11.

CÁRDENAS, A. y RUEDA, V. 1983. Adaptabilidad y niveles óptimos de fertilización en las variedades de raigrases tetraploides Tetrablend 30, Tetrablend 120 y raigrás italiano. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 68 p.

CONTI, M. 2000. El potasio en los suelos y su rol en la producción agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 1-14p.

CORTÉS, F. Y VIVEROS, M. 1975. Guías de laboratorio para análisis bromatológico. Universidad de Nariño. Pasto.

EPSTEIN y BLOOM. Citados por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*): respuesta fisiológica y manejo. *Agronomía Colombiana*. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 274-277p.

EPSTEIN. Citado por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*): respuesta fisiológica y manejo. *Agronomía Colombiana*. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 277p.

ESTRADA, J. 2001. Pastos y forrajes para el trópico Colombiano. Manizales: Universidad de Caldas. Facultad de ciencias Agropecuarias. 320p.

FARIA, L. *et al.* 2008. Efecto residual de la aplicación de silicato en el suelo y el rendimiento de pasto *Brachiaria* bajo pastoreo. En: *Revista Brasileña de las ciencias del suelo*. Vol. 32. 6p.

FRIED, H. y BROESHART, H. Citados por BERNAL, J. 1998. Fertilización de cultivos de clima frío: Pastos mejorados. *Monómeros Colombo Venezolanos*. 299p.

GARCIA, O. 2009. Curso de producción de soya. ICA. Santafé de Bogotá. 153-163 p.

GUERRERO, R. 1983. Los fertilizantes químicos, propiedades y comportamiento agronómico. *Monómeros Colombo Venezolanos*. Bogotá. 46 p.

GUERRERO, R. *et al.* 1972. Estado y fijación del fosforo en suelos volcánicos del sur de Colombia. II panel sobre suelos volcánicos de América. Universidad de Nariño. Pasto. 59-81p.

HERNÁNDEZ, R. *et al.* 2011. Residual industrial como complemento en la fertilización sustentable. *El hombre y la máquina*. Vol. 37. México. 68-69p.

HOLDRIDGE, L. 1979. *Ecología*. San José, Costa Rica. IICA. 216p.

- HORNA, Z. 2007. Efectos del silicio en la nutrición vegetal. Producción de silicio orgánico. Quevedo - Ecuador. 2-4 p.
- HORNA, Z. y MUÑOZ, M. 2007. Resultado de la producción de Silicio orgánico en base a la cascarilla de arroz *Oryza sativa* L. Ecuador. 4p.
- HURTADO, G. y REALPE, C. 1998. Respuesta del pasto aubade (*Lolium sp.*) a la aplicación de diferentes niveles de abono orgánico en vereda Cabrera. Trabajo de grado Zootecnista. Facultad de ciencias pecuarias. Universidad de Nariño. Pasto. 30p.
- IGAC. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. IGAC. Tomo III. 73 p.
- INSTITUTO DE ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES Y METEOROLICOS. IDEAM. 2003. Pasto.
- INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI). 2010. Identificación de los Problemas Nutricionales en Arroz. En: Síntomas de deficiencia de Nutrientes. 1-56p.
- LEGARDA, L; LAGOS, T y VICUÑA, L. 2001. Diseño de experimentos agropecuarios. Universidad de Nariño. 69-128p.
- LOAIZA, C. 2003. Fisiología vegetal. Universidad de Caldas, Manizales. pp. 8-15.
- LOTERO, C. 1976. Fertilización de pastos. En: Curso de Pastos y Forrajes. ICA. Compendio No. 11. 97. – 128p.
- MATICHENKOV, V. Citado por CAICEDO, L y CHAVARRIAGA, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Agronomía Colombiana. 4 p.
- MENDOZA, M. Citado por BERNAL, J. 1998. Fertilización de cultivos de clima frío: Pastos mejorados. Monómeros Colombo Venezolanos. 299p.
- NAME, B. y VILLAREAL, J. 2004. Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP. Instituto de investigación agropecuaria de Panamá (IDIAP), 229p.
- NAVARRO, B. 1984. El suelo y los elementos esenciales para la vida vegetal. Editorial Academia S.A. León. España. 1-4p.
- NAVARRO, S Y NAVARRO, G. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2 ed. Mundi prensa. Madrid. 425 p.
- OKUDA, A y TAKAHASHI, E. Citado por NAVARRO, S Y NAVARRO, G. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2 ed. Mundi prensa. Madrid. 426 p.

PARRA, S. et al. 2009. Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva. *Terra Latinoamericana*. Vol. 27, (2). México. 129-131p.

POLIMENI. 2000. Contabilidad de costos, concepto y aplicación para la toma de decisiones generales. Tomo I 2da Edición.

PIRELA, M. 2005. Valor nutritivo de los pastos tropicales. En: Manual de ganadería de doble propósito. Instituto Nacional de Investigaciones agrícolas - INIA. Venezuela. 176-181p.

PRIMAVESI, A. Citado por CAICEDO, L y CHAVARRIAGA, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía Colombiana*. 3 p.

PULGARIN, S. 2011. Respuesta de una mezcla forrajera establecida en clima frío, a la aplicación de silicato de magnesio. Escuela politécnica Nacional del Ecuador. Quito. 94-95p.

QUERO E. 2008. Silicio en la producción de chile. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 4p.

QUERO, E. 2005. Aplicación de silicio en la agricultura. Memoria programa de conferencias: La experiencia es un compromiso que rinde frutos. México. 3p.

QUERO, E. 2006. Silicio en la producción agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 4p.

QUERO, E. 2008. La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Protección y nutrición de hortalizas y frutas. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 3p.

QUERO, E. 2008. Nutrición con silicio y sus aplicaciones a cultivos a cielo abierto y en agricultura protegida: Un pequeño recorrido por la naturaleza. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. México. 3p.

QUERO, E. 2011. Citado por PULGARIN, S. Respuesta de una mezcla forrajera establecida en clima frío, a la aplicación de silicato de magnesio. Escuela politécnica Nacional del Ecuador. Quito 65p.

RODRIGUEZ, P. 2004. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. En: Producción bovina de carne. Universidad Agraria de La Habana. Cuba.

SALVANT, N. y DANOFF, L. Citado por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*): respuesta fisiológica y manejo. *Agronomía Colombiana*. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 273-277p

SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS DEL SUELO. 2001. Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el Silicio en la agricultura. Bogotá: Prolabo Ltda.

SURAJIT, K. 1986. Producción de arroz Fundamentos y Prácticas. 1era Ed. México, Editorial Limusa. 395 p.

UNIGARRO A y CARREÑO M. 2005. Métodos químicos para el análisis de suelos. Universidad de Nariño. Pasto. 20-31p.

YOSHIDA, S. Citado por BORDA, O y BARON, F. 2007. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*): respuesta fisiológica y manejo. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional. Bogotá. Vol. 25, (2). 273-277p

ZAMORANO, F. Citado por DELGADO, Y. y MIPAZ, M. 2005. Determinación del efecto de tres sistemas de fertilización utilizando riego localizado por exudación en la producción y calidad nutricional del pasto Aubade (*Lolium sp.*), en la vereda Cruz de Amarillo, Corregimiento de Catambuco. 27p.

AGRODYNE SYSTEMS ®. 2009. Los nutrientes más importantes del cultivo. En: <http://tarklivestrong.wordpress.com/2009/11/agrodyne>. Consulta: Noviembre 2009.

AGROMIL. 2009. Importancia del Silicio en la nutrición vegetal. En: www.silicioagromil.com. Consulta: noviembre 2009.