

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

RESPONSE OF THE RAIGRASS AUBADE GRASS (*Lolium sp.*) TO SILICON DOSAGE IN INTERACTION WITH DIFFERENT DOSES OF NPK

RESPOSTA DO PASTO RAI GRASS AUBADE (*Lolium sp.*) A DOSES DE SILICIO EM INTERAÇÃO COM DIFERENTES DOSES DE NPK

DIANA LEGARDA-LÓPEZ¹, GALO BENAVIDES-CUESTA¹, HUGO RUIZ-ERASO²

RESUMEN

*El presente trabajo se realizó en el corregimiento de Catambuco, municipio de Pasto, localizado a 01°06'33" N y 77°19'07.8" WO; con el objeto de conocer el efecto del Si en la absorción de NPK en el pasto Raigrass aubade (*Lolium sp.*), en un suelo Typichumitropepts. Se empleó 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: 397 kg/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 Si (Alta 100 kg/ha, media 75 kg/ha, baja 50 kg/ha de SiO₂) y un testigo sin fertilización con Si. El Si en dosis alta y NPK alto, presentó mejores resultados en altura de planta (101cm), producción de forraje verde (167,2 Ton/ha/año), materia seca (27,44 Ton/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*

Recibido para evaluación: 4 de Agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 15 de Abril de 2015

1 Universidad de Nariño, Grupo Cultivos Andinos. Ingeniera (o) Agrónoma (o). Pasto, Colombia.

2 Universidad de Nariño, Grupo Cultivos Andinos. Ph.D. Suelos y Nutrición. Pasto, Colombia.

Correspondencia: Hugo Ruiz-Eraso e-mail: hugoruize@yahoo.com

Si presentó el mayor beneficio económico, seguido del tratamiento dosis media de NPK y alta de Si.

ABSTRACT

The present work was carried out at the township (corregimiento) of Ca-tambuco, municipality of Pasto, located at 01°06'33" N and 77°19'07.8" WO. The effect of silicon on the NPK absorption in the Raigrass aubade grass (Lolium sp.) in a Typichumitropepts soil was studied. A complete randomized blocks design was used, with three repetitions and 10 treatments distributed in high, medium and low NPK doses (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, medium and low Si doses (High 100 kg/ha, medium 75 kg/ha, low 50 kg/ha of SiO₂), in addition to a control without Si fertilization. High Si and high NPK doses presented better results in plant height (101 cm), production of green forage (167,2 Ton/ha/year), dry matter (27,44 Ton/ha/year), and concentrations of P (leaves 0,53% and root 0,42%) and K (leaves 3,11% and root 2,27%). When applying high and medium doses to the soil, P and K concentrations decreased. The high NPK and high Si treatments presented the highest economic benefit, followed by the NPK half-dose and high Si treatment.

PALABRAS CLAVE:

Fertilización, Silicio, Sinergismo.

KEYWORDS:

Fertilization, Silicon, Synergism.

PALAVRAS CHAVES:

Fertilização, Silício, Sinergismo.

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido em um solo Tipyc Humitropepts, objetou-se saber o efeito do silício na absorção de NPK; utilizou-se um arranjo em delineamento de blocos casualizados com três repetições e 10 tratamentos, distribuídos em doses altas, intermediárias e baixas de NPK (alta: 529 kg/ha de uréia, 72 kg/ha de TSP, 160 kg/ha de KCl. Média: 397 kg/ha de uréia, 54 kg/ha de TSP, 120 kg/ha de KCl. Baixas: 265 kg/ha de uréia, 36 kg/ha de TSP, 80 kg/ha KCl), contrastou-se com doses altas, médias e baixas de silício (Alta 100 kg/ha, média 75 kg/ha, baixa 50 kg/ha de SiO₂) e uma testemunha sem adubação com silício. O silício em doses altas e NPK alto, apresentaram os melhores resultados na altura da planta (101 cm), a produção de forragem (167,2 Ton/ha/ano), matéria seca (27,44 Ton/ha/ano), as concentrações de P (parte aérea 0,53% e 0,42% raiz), K (parte aérea de 3,11% e raiz 2,27%). O tratamento e alto teor de silício de alta dose de NPK teve o maior lucro, seguido pela dose média de tratamento de NPK e alto teor de silício.

INTRODUCCIÓN

El Silicio es el elemento mas abundante en la naturaleza, pero uno de los menos utilizados en términos de potenciar la fertilización y nutrición de las plantas, sobre todo por su amplia y conocida interacción con el fosforo no labil, que finalmente puede ser precipitado por la presencia del Si, permitiendo así una mayor aprovechabilidad del P por los cultivos.

En ese sentido Borda *et al.*, (2007), manifiestan que 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 para ser acumulado en las células epidermales que las impregna en una fina y al asociarse con pectinas y polifenoles en la pared celular pueden ser barreras efectivas a la pérdida de agua, transpiración cuticular e infecciones fungosas; 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 hongos [1].

Igualmente la SCCS (2001) manifiesta, que se ha probado que el Si suprime muchas enfermedades y ataques de plagas en las plantas; este efecto se debe al reforzamiento de las cutículas, que efectúa el Si al acumularse debajo de la cutícula, después de ser absorbido por la planta. La optimización en la nutrición con Si resulta en mayor masa y volumen de raíces, lo cual representa mayor superficie de absorción de nutrientes y agua, además de un aumento de la respiración de las raíces [2].

El Raigrás aubade (*Lolium sp.*) es uno de los forrajes 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. Este forraje requiere adecuada fertilización la cual debe ser completa y equilibrada, para conseguir 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.

Epstein citado por Borda *et al.*, (2007), afirma que el Si es absorbido en forma energéticamente pasiva [3]; a su vez Hernández *et al.*, (2011), refieren que es tomado por las raíces en la solución como ácido monosilícico Si(OH)_4 [4]. Dentro de la influencia del Si en diferentes cultivos Horna (2012), explica que para lograr que los elementos entren a la solución del suelo, el silicio se intercambia con estos, quedando el silicio adherido a los coloides, liberándolos y permitiendo que queden disponibles para las plantas [5].

El objetivo de esta investigación fue, evaluar el efecto de dosis de silicio, en interacción con diferentes dosis de NPK, en la producción de forraje verde y materia seca; y en la concentración de P y K en el cultivo de pasto Raigrás aubade (*Lolium sp.*).

MÉTODO

Localización

El trabajo de investigación se realizó en el corregimiento de Catambuco, Municipio de Pasto, localizado a $01^{\circ}06'33''$ N y $77^{\circ}19'07.8''$ WO, a 3350 msnm, con temperatura de 11°C . Esta zona está clasificada según Holdridge (1979) como montano (M) [6]; el suelo corresponde a un Typico humitropepts [7].

Preparación del suelo, encalado y siembra

El suelo se preparó con arado de cincel a 20 cm de profundidad, posteriormente se niveló con rastrillo. Se utilizaron 2,54 Ton/ha de material encalante dolomita aplicada 30 días antes de la siembra. Luego se realizó la delimitación del terreno y división de las parcelas principales y secundarias. Se sembró semilla certificada de pasto Raigrass aubade (*Lolium sp.*) al voleo (35 kg/ha).

Cosecha

Se realizaron 3 cortes, el primero se hizo a los 60 días después de la siembra y los dos restantes cada 45 días.

Área y diseño experimental

Se utilizó un lote de 300 m², el cual se distribuyó en 3 bloques de 5 m x 10 m cada uno; cada bloque se dividió en 10 parcelas de 10 m² que corresponden a los tratamientos; entre bloques y parcelas se dejaron calles de 0,3 m. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con 10 tratamientos (cuadro 1), y 3 repeticiones. 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 ortogonales.

Tratamientos. En los tratamientos 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 (1998) [8]. Ajustadas al contenido nutricional según el análisis de suelo. Las dosis de silicio como producto comercial Magnesil (granular), fue-

ron aplicadas con base a la información suministrada por Mejisulfatos, donde la concentraciones fueron de SiO_2 (37%) y el MgO (28%). 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, siendo la dosis alta 100 kg/ha de producto comercial. El KCl, el SFT y el 50 % de la Urea se aplicaron 20 días después de la siembra; el restante 50% de urea se aplicó 30 días después de la primera aplicación (cuadro 1).

Cuadro 1. Listado de Tratamientos.

Tr.	Dosis	NPK	Dosis	Silicio
T0	Alta	Urea 529 kg/ha	Sin silicio	0 kg/ha
T1	Alta	ha SFT 72 kg/ha	Alta	100 kg/ha
T2	Alta	ha KCl 160 kg/ha	Media	75 kg/ha
T3	Alta		Baja	50 kg/ha
T4	Me-dia	Urea 397 kg/ha	Alta	100 kg/ha
T5	Me-dia	ha SFT 54 kg/ha	Media	75 kg/ha
T6	Me-dia	ha KCl 120 kg/ha	Baja	50 kg/ha
T7	Baja	Urea 265 kg/ha	Alta	100 kg/ha
T8	Baja	ha SFT 36 kg/ha	Media	75 kg/ha
T9	Baja	ha KCl 80 kg/ha	Baja	50 kg/ha

Cuadro 2. Variables evaluadas.

Variable	Método de determinación	Autor
Altura de plantas (AP)	Medición en cm desde la base de la planta a la punta de la hoja.	Cortes y Viveros, (1975) [9]
Producción de forraje verde (PFV)	Aforo de 0,25 m ² lanzado al azar en cada parcela, luego se pesó y transformó a Ton/ha	Cortes y Viveros, (1975) [9]
Producción de materia (PMS)	Aforo de 0,25 m ² lanzado al azar en cada parcela, luego secar a 65°C por 48 horas, después se pesó y transformó a Ton/ha.	Cortes y Viveros, (1975) [9]
Concentración de P en la parte aérea y raíz (CPPA)-(CPR)	Digestión con solución 3:1 de $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$. Se tomó 1 mL del extracto y se adicionó 9 mL de solución coloreadora de fósforo y se realizó la lectura en el espectrofotómetro UV/VIS modelo 7230.	Braga e Defelipo, (1974) [10]
Concentración de P en el suelo (CPS)	Cada muestra se llevó al horno a 75°C por 24 horas; luego se tamizo y pesó y después se determinó la concentración de P por el método de extracción con floururo- acido diluidos (Bray y Kurtz II).	Unigarro y Carreño, (2005) [11].
Concentración de K en la parte aérea y raíz (CKPA)-(CKR)	Digestión con solución 3:1 de $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$. Se tomaron 0,5 mL del extracto principal y se aforó a 100 mL. Luego se llevó a leer en el espectrofotómetro Perkim Elmer modelo 2380.	Braga e Defelipo, (1974) [10]
Concentración de K en el suelo (CKS)	Cada muestra se llevó al horno a 75°C, durante 24 horas; luego se tamizo y pesó. Luego se determinó el contenido de K por el método de determinación de bases.	Unigarro y Carreño, (2005) [11].
Análisis económico	Indicadores de efectividad económica: costo, beneficio y rentabilidad	Polimeni, (2000) [12]

Variables evaluadas. La metodología de cada variable evaluada se referencia en el cuadro 2.

RESULTADOS

En el cuadro 3 se observan diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos para todas las variables.

Altura de planta (AP)

El cuadro 4 muestra que el T1 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos. El tratamiento T1 tiene la mayor AP con una media de 101cm seguido por los tratamientos T4 y T2 con 95,67 y 92,56 cm respectivamente (figura 1), los cuales no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí (Cuadro 4). El T0 presentó una menor AP en comparación con T1, con una media de 84,67; similar a los promedios encontrados en T3, T5, T8 y T6 (figura 1). En dosis altas y medias de NPK combinadas con dosis altas de Si se presentaron los mejores resultados en AP, esto se debe posiblemente al efecto del Si en la potenciación de la absorción de nutrientes de manera más eficiente, produciendo un mejor balance nutricional, que se vio reflejado en una mayor AP, al respecto Borda *et al.*, (2007) encontraron en avena forrajera respuesta positiva en

Cuadro 3. Análisis de varianza para las variables: AP, PFV, PMS, CPPA, CPR, CPS, CKPA, CKR, CKS.

F de V	GL	AP	PFV	PMS	CPPA	CPR	CPS	CKPA	CKR	CKS
		CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM
Bloque	2	201,82**	12068**	74,35**	0,0019*	0,002*	21,73*	0,08*	0,16*	0,0002 ^{NS}
Tratamiento	9	139,27**	2685**	83,55**	0,0031**	0,0049**	193,96**	0,09*	0,36**	0,0036**
Error	18	4,93	95,42	1,58	0,0002	0,0002	3,19	0,01	0,02	0,00013
R ²		0,95	0,97	0,97	0,91	0,93	0,97	0,82	0,91	0,93
CV		2,52	8,75	7,01	2,95	3,86	9,77	3,81	7,76	4,46

**Altamente significativo * Significativo NS No significativa

cuanto a altura de plantas tras la aplicación de Si [1]; igualmente Okuda y Takahashi (1964) en el cultivo de arroz utilizando soluciones nutritivas con aplicación de Si, encontraron respuesta positiva al incrementar el número de tallos y la altura de las plantas [13].

Producción de forraje verde (PFV)

El T1 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos (cuadro 5). El T1 presentó la mayor PFV con una media de 167.2 Ton/ha/año, seguido del tratamiento T4 y T2 con 138,87 y 135,47 Ton/ha/año respectivamente (Figura 2). T0 presentó menor producción en comparación con T1, con una

media de 89,09 Ton/ha/año; similar a los promedios encontrados en T5, T6 y T8 (cuadro 5), con el resultado anterior se puede deducir que a medida que se incrementaron las dosis de Si, también se incrementó la PFV; 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 (cuadros 7 y 10); facilitando su absorción por parte de la planta, y por consiguiente se vio reflejado en una mayor producción.

Lo anterior se puede soportar en lo propuesto por Quero (2008) y Matichenkov (2008), cuando afirman

Cuadro 4. Contrastes ortogonales AP

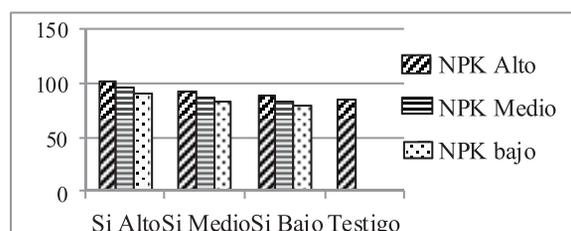
Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	*	sd	*	sd	sd	**	sd	*	**
T1	**	**	**	**	**	*	**	*	
T2	**	**	sd	**	*	sd	*		
T3	**	*	sd	*	sd	*			
T4	**	**	*	**	*				
T5	*	*	sd	*					
T6	*	sd	*						
T7	**	*							
T8	*								

* Diferencias significativas (p<0,05)

** Diferencias altamente significativas p<0,01)

Sd No hay diferencias

Figura 1. Altura de plantas (cm).



Cuadro 5. Contrastes ortogonales PFV.

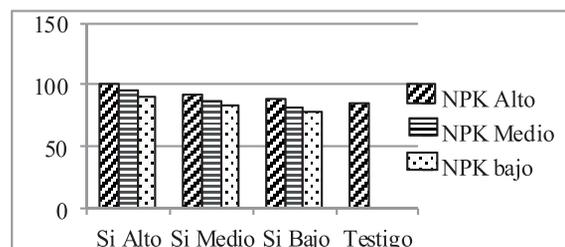
Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	*	sd	*	sd	sd	**	*	**	**
T1	**	**	**	**	**	*	**	*	
T2	**	*	sd	**	*	sd	*		
T3	**	sd	sd	*	sd	*			
T4	**	*	*	**	*				
T5	*	sd	sd	*					
T6	sd	*	**						
T7	**	*							
T8	*								

* Diferencias significativas (p<0,05)

** Diferencias altamente significativas p<0,01)

Sd No hay diferencias

Figura 2. Producción forraje verde Ton/ha/año.



que a mayores contenidos de Si en el suelo mejora la absorción de otros nutrimentos y mantiene las hojas erectas lo cual es importante para la tasa de fotosíntesis [14,15]. Evidenciándose esto, en la presente investigación cuando las dosis altas y medias de Si, en interacción con dosis altas y medias de NPK, obtuvieron respuesta positiva en la PFV (Figura 2).

Producción de materia seca (PMS)

El T1 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos (cuadro 6). El T1 presentó la mayor PMS, con un valor promedio de 27,44 Ton/ha/año de materia seca, seguido por T2 y T4 con producciones de 23,14 y 21,90 Ton/ha/año respectivamente (figura 3).

El T0 presentó diferencias estadísticas significativas con todos los tratamientos excepto con T6 y T8 (cuadro 6) y menor PMS con media de 14,09 Ton/ha/año; similar a los promedios en T6 y T8 (figura 3). Los resultados encontrados muestran una clara relación entre las dosis altas y medias de Si con la dosis altas de NPK, en el incremento de la PMS (figura 3), en este sentido Loaiza (2003), expresa que el Si 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 seca [16].

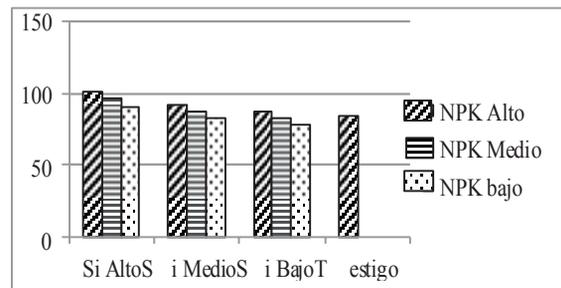
Cuadro 6. Contrastes ortogonales PMS.

Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	*	sd	*	sd	*	**	**	**	**
T1	**	**	**	**	**	**	**	*	
T2	**	**	*	**	**	sd	*		
T3	**	*	sd	**	*	*			
T4	**	**	*	**	**				
T5	**	sd	sd	*					
T6	sd	*	**						
T7	**	*							
T8	*								

* Diferencias significativas (p<0,05)
** Diferencias altamente significativas p<0,01)
Sd No hay diferencias

Respuestas similares fueron encontradas por Parra *et al.*, (2009), cuando al aumentar la concentración de Si en la solución nutritiva, se incrementó en forma significativa la materia seca de los frutos de

Figura 3. Producción de materia seca Ton/ha/año.



pepino [17], por su parte Álvarez y Andrade (2006), observaron que la absorción del Si es paralela al aumento de materia seca, comprobando así que este elemento genera cosechas de mejores rendimientos y calidad [18]; igualmente con los resultados del presente trabajo se ratifica lo propuesto por Caicedo y Chavarriaga (2008), quienes mostraron la influencia del silicio en complemento con el DAP mostrando un efecto significativo sobre la nutrición de las plantas, que se ven reflejados en una mayor acumulación de materia seca [19].

Concentración de P en el material vegetal

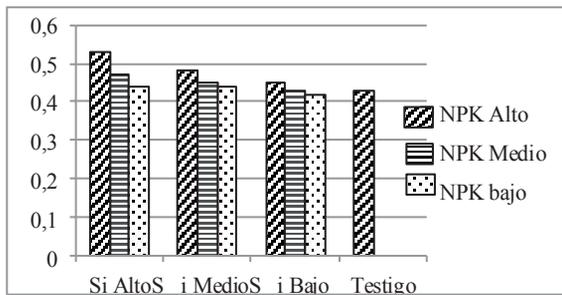
En la parte aérea, el T1 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos (cuadro 7) y tiene la mayor concentración de P en la parte aérea con una media de 0,53 % de P, seguido de T2 y T4 con un valor promedio de 0,48 y 0,47 % respectivamente (Figura 4). El T0 presentó una menor concentración de P en comparación con T1, con una media de 0,43%; similar a los promedios encontrados en T3, T5, T6, T7, T8 y T9 (Figura 4).

Cuadro 7. Contrastes ortogonales P parte aérea.

Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	sd	sd	sd	sd	sd	*	sd	*	**
T1	**	**	**	**	**	**	**	*	
T2	**	*	*	**	*	sd	*		
T3	sd	sd	sd	sd	sd	*			
T4	*	*	*	*	*				
T5	*	sd	sd	sd					
T6	sd	sd	*						
T7	*	sd							
T8	sd								

* Diferencias significativas (p<0,05)
** Diferencias altamente significativas (p<0,01)
Sd No hay diferencias

Figura 4. Concentración de P parte aérea (%).



En la raíz, el T1 tiene diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos (cuadro 8) y la mayor concentración de P en la raíz con una media de 0,42 %, seguido de T2 y T4 con valores promedio de 0,38 y 0,38 % respectivamente (Figura 5). El T0 presentó menor concentración de P en la raíz en comparación con T1, con una media de 0,32%; similar a los promedios encontrados en T3, T5, T6, T7 y T8 siendo este grupo los promedios inferiores (figura 5). Se observa una respuesta positiva del Si en la concentración de P en la parte aérea y raíz en los tratamientos con dosis altas y medias de Si, combinadas con dosis altas y medias de NPK (figura 4 y 5). Esto se debió posiblemente a que el Si favorece la asimilación del P por parte de la planta, expresado en la concentración de este elemento en el tejido foliar y raíz.

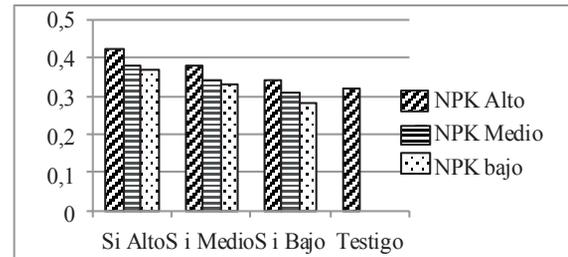
En estudios similares realizados por Caicedo y Chavarriaga (2008), encontraron que la aplicación de DAP por sí sola presenta bajas respuestas, pero evidencia el beneficio de la aplicación conjunta de P y Si [19]. En trabajos realizados por Quero (2006), se encontró que el Si aumenta la nutrición del P en las plantas de un 40

Cuadro 8. Contrastes ortogonales P raíz.

Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	*	sd	*	sd	sd	**	sd	**	**
T1	**	**	**	**	**	*	**	*	
T2	**	*	sd	**	*	sd	*		
T3	**	sd	*	*	sd	*			
T4	**	*	sd	**	*				
T5	**	sd	sd	*					
T6	*	sd	**						
T7	**	*							
T8	*								

* Diferencias significativas (p<0,05)
** Diferencias altamente significativas p<0,01)
Sd No hay diferencias

Figura 5. Concentración de P raíz %.



a 60% [20]. Por su parte Name y Villareal (2004), manifiestan que el aplicar niveles crecientes de Si influye en la absorción de P [21], igualmente Epstein y Bloom (2007), aseguran que el Si tiene un efecto indirecto sobre la absorción natural de otros elementos como el P necesarios para el crecimiento radical [22]. Todo lo anterior ratifica lo encontrado en la presente investigación.

Concentración de P en el suelo (CPS)

El T0 presentó diferencias estadísticas significativas con todos los demás tratamientos (cuadro 9), obtuvo la mayor CPS con un valor promedio de 33,18 mg/kg seguido de T3 y T6 con una media de 28,39 y 24,84 mg/kg respectivamente (figura 6). T7 y T4 tienen los valores más bajos de CPS con un valor promedio de 8,76 y 11,3 mg/kg respectivamente (figura 6).

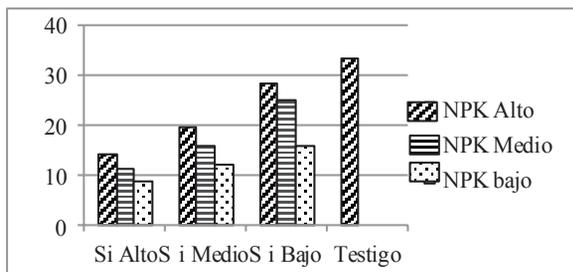
Al aplicar dosis altas y medias de Si, en todas las dosis de NPK se presentaron menores CPS. Esto se explica por los conceptos de Guerrero *et al.*, (1972), que afirman que en suelos volcánicos, como el que se realizó esta investigación, existe la probabilidad de una precipitación de los fosfatos, lo cual hace que el P

Cuadro 9. Contrastes ortogonales CPS.

Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	**	**	**	**	**	**	*	**	**
T1	sd	sd	*	**	sd	sd	**	*	
T2	*	**	**	*	*	**	**		
T3	**	**	**	*	**	**			
T4	*	sd	sd	**	*				
T5	sd	*	*	**					
T6	**	**	**						
T7	*	sd							
T8	*								

* Diferencias significativas (p<0,05)
** Diferencias altamente significativas p<0,01)
Sd No hay diferencias

Figura 6. Concentración de P en el suelo mg/kg.



se encuentre en una forma no asimilable por la planta; el Si induce una disminución la precipitación de los fosfatos especialmente la precipitación a los fosfatos de hierro provocando así un incremento significativo del P aprovechable [23].

Esto también concuerda con lo referido por Caicedo y Chavarriaga (2008), el Si en su forma de ión silicato aumenta disponibilidad de P al liberarlo a partir de los coloides del suelo y de los fosfatos de hierro, calcio, manganeso y aluminio, en suelos con reacción ácida, ya que hace una sustitución de los fosfatos por los silicatos, permitiendo a su vez contrarrestar el efecto tóxico de los microelementos metálicos, liberando ácido fosfórico, que es la forma asimilable para la planta [19].

Concentración de K en el material vegetal

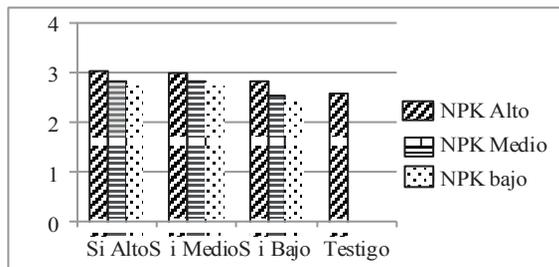
El cuadro 10 presenta diferencias estadísticas significativas entre T1 y los demás tratamientos; a acepción de T2, T3, T4 y T5. El T1 tiene la mayor concentración de K en la parte aérea, con un valor promedio de 3,11% (figura 7). El T0 presentó una menor concentración de K en comparación con T1,

Cuadro 10. Contrastes ortogonales concentración de K parte aérea.

Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	Sd	*	*	sd	*	*	*	*	*
T1	**	*	*	**	sd	sd	sd	sd	
T2	**	*	*	*	sd	sd	sd		
T3	*	sd	sd	*	sd	sd			
T4	*	sd	sd	*	sd				
T5	*	sd	sd	*					
T6	Sd	*	*						
T7	*	sd							
T8	*								

* Diferencias significativas (p<0,05)
** Diferencias altamente significativas p<0,01)
Sd No hay diferencias

Figura 7. Concentración de K parte aérea %.



con una media de 2,70%, similar a los promedios encontrados en T6 y T9 (figura 7).

En la raíz el T1, presenta diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos, exceptuando T2 y T4 (cuadro 11), y tiene el valor más alto en concentración de K con una media de 2,27% seguido de T2 y T4 con valores promedio de 2,23% y 2,14% respectivamente (figura 8). El T0 presentó una menor concentración de K en raíz en comparación con T1, con una media de 1,51%; similar al promedio encontrado en T6, siendo estos los valores más bajos respecto a concentración de K en la raíz (figura 8). Es un indicio que la aplicación de dosis altas de NPK sin Si, y dosis bajas de Si con dosis altas y medias de NPK no presentaron un efecto significativo en la concentración de K en la parte aérea (figura 7).

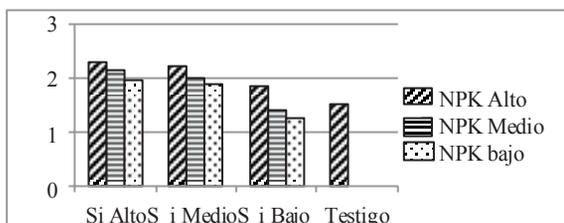
De acuerdo a los resultados encontrados, se establece que tanto las dosis medias y altas de Si, incrementan la concentración de K en la parte aérea y la raíz; esto posiblemente se deba a que la aplicación de Si tuvo un efecto sinérgico con el K. Lo anterior se corrobora por Quero (2011), al afirmar que la aplicación de Si estable-

Cuadro 11. Contrastes ortogonales concentración de K en Raíz.

Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	*	*	*	sd	*	**	*	**	**
T1	**	*	*	**	*	sd	*	sd	
T2	**	*	*	**	sd	sd	*		
T3	**	sd	sd	*	sd	*			
T4	**	*	sd	**	sd				
T5	**	sd	sd	**					
T6	sd	*	*						
T7	**	sd							
T8	**								

* Diferencias significativas (p<0,05)
** Diferencias altamente significativas p<0,01)
Sd No hay diferencias

Figura 8: Concentración de K en Raíz %.



ce un efecto sobre los otros nutrientes presentes en el suelo como el K [24]. Igualmente en estudios realizados por Parra *et al.*, (2009), encontraron que las concentraciones de K de las hojas superiores y del fruto en el cultivo de pepino, fueron significativamente influenciados por las concentración de Si; obteniéndose diferencias significativas del contenido de K, obtenido por efecto de las concentraciones media y alta de Si [17].

Concentración de K en el suelo (CKS)

Se observa diferencias estadísticas significativas entre T0 y los tratamientos, excepto T3 (cuadro 12). El T0 tiene la mayor CKS con media de 0,31 cmol/carga, seguido de T3 y T6 con medias de 0,30 y 0,28 cmol/carga respectivamente. Cabe resaltar que T4 y T7 con medias de 0,22 y 0,20 cmol/carga respectivamente, son considerados como los promedios más bajos de CKS (figura 9).

De lo anterior se deduce que las mayores CKS se presentaron en el T0 sin aplicación de Si y en los tratamientos T3 y T6 con dosis bajas de Si (figura 9). Contrario a esto se observa que en dosis altas y medias de Si se presentaron menores CKS; así

Cuadro 12. Contrastes ortogonales CKS.

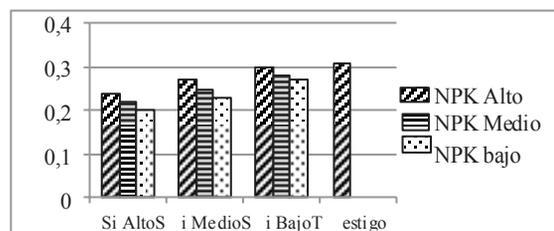
Contraste	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
T0	*	**	**	*	**	**	sd	*	**
T1	*	sd	*	*	sd	sd	**	*	
T2	sd	*	**	sd	*	**	*		
T3	*	**	**	sd	**	**			
T4	**	sd	*	**	*				
T5	sd	*	**	*					
T6	sd	**	**						
T7	**	*							
T8	*								

* Diferencias significativas ($p < 0,05$)

** Diferencias altamente significativas $p < 0,01$

Sd No hay diferencias

Figura 9. Concentración K en el suelo cmol/carga.



pues en T1 con fertilización de una dosis alta de K, está relacionado con las más bajas CKS. Esto debido posiblemente a que el Si tiende a potencializar la asimilación de K por parte de la planta; lo cual conlleva a disminuir las CKS. Al respecto Quero (2007), afirma que en la fase soluble del suelo se encuentra el Si en la forma de ácido ortosilícico, el cual forma sales con los cationes presentes, dando lugar a silicatos que promueven la creación de gradientes de concentración de nutrientes minerales como el K desde el suelo hasta la planta [25]. De la misma forma Hernández *et al.*, (2011), encontraron que emplear materiales ricos en Si se mejora la nutrición con P, Fe, K y Zn; ya que el Si activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes [4], ratificando lo encontrado en la presente investigación.

Análisis económico

Se puede ver en el cuadro 13 el diferencial de rentabilidad y los respectivos costos donde se corrobora que una alternativa de manejo para el productor a partir de los resultados obtenidos es la utilización de NPK en dosis media con la combinación de Si alto, siendo esta una de las combinaciones rentables obtenidas con el presente ensayo.

CONCLUSIONES

La interacción de dosis altas Si (100 kg/ha de producto comercial), con dosis altas de NPK (Urea 529 kg/ha, SFT 72 kg/ha, KCl 160 kg/ha) y dosis medias de NPK (Urea 397 kg/ha SFT 54 kg/ha KCl 120 kg/ha), incrementaron la AP, la PFV y la PMS en el pasto Raigrass aubade (*Lolium sp.*). Las concentraciones de P y K, en la parte aérea y raíz del cultivo de pasto Raigrass 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 Si (100 y 50 kg/ha SiO₂). La

Cuadro 13. Análisis Económico.

ACTIVIDAD	TRATAMIENTOS									
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
COSTOS VARIABLES										
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 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%)	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%)	58.067	61.703	60.794	59.885	53.389	52.480	51.571	45.074	44.165	43.256
Imprevistos (5%)	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										
PFV (Ton/ha/año)	89,09	167,2	135,47	113,07	138,87	104,33	78,89	119,49	102,07	68,4
Costos Totales (\$)										
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 (\$)										
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 (\$)										
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 (%)										
Rentabilidad (%)	7	88	55	31	81	38	6	84	60	10

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 Si (100 kg/ha).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del I.A. Mauricio Castillo, en el suministro del producto comercial de Si, utilizado en la presente investigación. De igual manera la prestancia y colaboración de la I. Agrónoma Inés Fajardo, en cuya propiedad se realizó con todo suceso la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] BORDA, O., BARÓN, F. y GÓMEZ, I. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25 (2), 2007, p. 273-279.
- [2] SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS DEL SUELO (SCCS). Los elementos secundarios

- (Ca, Mg, S) y el Silicio en la agricultura. Bogotá (Colombia): Prolabo Ltda, 2001, p. 50.
- [3] EPSTEIN, E. citado por BORDA *et al.* El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*): respuesta fisiológica y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25 (2), 2007, p. 277.
 - [4] HERNÁNDEZ, R., CABRERA, E., DÍAZ, G., ARÉVALO, J. y RAMÍREZ, Y. Residual industrial como complemento en la fertilización sustentable. *El hombre y la máquina*, (37), 2011, p. 66-71.
 - [5] HORNA, Z. citado por PALACIOS, N. Uso de tres mejoradores de retención de nutrientes en el suelo [Tesis Ingeniero Agrónomo]. Cevallos (Ecuador): Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica, 2012, p. 8.
 - [6] HOLDRIDGE, L. *Ecología*. San José (Costa Rica): IICA, 1979, p. 216.
 - [7] COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. Nariño (Colombia): IGAC, Tomo III, 2004, p. 73.
 - [8] FRIED, H. y BROESHART, H. citados por BERNAL, J. Fertilización de cultivos de clima frío: pastos

- mejorados. Bogotá (Colombia): 2 ed., Monómeros Cojumbo Venezolanos, 1998, p. 299.
- [9] CORTÉS, F. y VIVEROS, M. Guías de laboratorio para análisis bromatológico. Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, 1975, p. 26.
- [10] BRAGA, J.M. e DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21, 1974, p. 73-85.
- [11] UNIGARRO, A. y CARREÑO, M. Métodos químicos para el análisis de suelos. Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, 2005, p. 20-31.
- [12] POLIMENI, R. Contabilidad de costos, concepto y aplicación para la toma de decisiones generales. Bogotá (Colombia): Tomo I, 2 ed., Mc Graw-Hill, 2000, p. 896.
- [13] OKUDA, A. y TAKAHASHI, E. Citados por NAVARRO, S. y NAVARRO, G. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Madrid (España): Mundi Prensa, 2 ed., 2003, p. 426.
- [14] QUERO, E. La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. México D.F. (México): Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, 2008, p. 3.
- [15] MATICHENKOV, V. citado por CAICEDO, L. y CHAVARRIAGA, W. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía Colombiana*, 2008, p. 4.
- [16] LOAIZA, C. Fisiología vegetal. Manizales (Colombia): Universidad de Caldas, 2003, p. 8-15.
- [17] PARRA, S., BACA, G.A., TIRADO, J.L., VILLARRREAL, R., SÁNCHEZ, P. y HERNÁNDEZ, S. Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a Si y al potencial osmótico de la solución nutritiva. *Terra Latinoamericana*, 27(2), 2009, p. 129-131.
- [18] ALVAREZ, A. y ANDRADE, L. Evaluación de cinco dosis de aplicación de ceniza de cascarrilla de arroz como fuente de Si y complemento a la fertilización con P y K en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Guayaquil (Ecuador): ESPOL, 2006, p. 3.
- [19] CAICEDO, L. y CHAVARRIAGA, W. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía Colombiana*, 15(1), 2008, p. 3- 4.
- [20] QUERO, E. Silicio en la producción agrícola. México (México): Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, 2006, p. 4.
- [21] NAME, B. y VILLAREAL, J. Estudios de suelos Ultisoles y Alfisoles realizados en las estaciones experimentales de Calabacito, Guarumal y Río Hato. Panamá (Panamá): IDIAP, 2004, p. 229.
- [22] EPSTEIN, B. y BLOOM, A. citados por BORDA *et al.* El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 2007, p. 273-279.
- [23] GUERRERO, R., BURBANO, J. y CABRERA, T. Estado y fijación del fosforo en suelos volcánicos del sur de Colombia. Pasto (Colombia): Il panel sobre suelos volcánicos de América, Universidad de Nariño, 1972, p. 59-81.
- [24] QUERO, E. citado por PULGARIN, S. Respuesta de una mezcla forrajera establecida en clima frío, a la aplicación de silicato de magnesio. Quito (Ecuador): Escuela politécnica Nacional del Ecuador, 2011, p. 65.
- [25] QUERO, E. Remineralización de suelos con materiales ricos en silicio. México (México): Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, 2007, p. 3.