

EVALUACIÓN DE ALGUNAS VARIABLES AGRONÓMICAS Y ABSORCIÓN DE
NUTRIENTES DEL PASTO RYEGRASS AUBADE (*Lolium* sp.) BAJO DIFERENTES
DOSIS DE NPK EN INTERACCIÓN CON SILICIO EN TROPICO DE ALTURA

GABRIEL MATEO CORTES URBANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO

2023

EVALUACIÓN DE ALGUNAS VARIABLES AGRONÓMICAS Y ABSORCIÓN DE
NUTRIENTES DEL PASTO RYEGRASS AUBADE (*Lolium* sp.) BAJO DIFERENTES
DOSIS DE NPK EN INTERACCIÓN CON SILICIO EN TROPICO DE ALTURA

GABRIEL MATEO CORTES URBANO

Proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presidente

HUGO RUIZ ERAZO I.A Ph D.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO

2023

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor. Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Dr. JAIRO MOSQUERA GUERRERO

JURADO

Dr. HERNAN OJEDA JURADO

JURADO

Dr. HUGO RUIZ ERASO

PRESIDENTE

San Juan de Pasto, 18 de enero de 2023

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios mi amparo, fortaleza, por su amor incondicional, por regalarme este anhelo de mi corazón.

A mis padres Alvaro y Beatriz por su apoyo, amor, comprensión y templanza; gracias por ser los mejores; gracias por darme la confianza para emprender todos los proyectos.

A mi hermana Angelita, mi compañera de vida, su amor, su lealtad, su sabiduría y colaboración, porque su sonrisa es alegría en mi vida.

A mis abuelos Hermes, Aura y Maria por forjar y aportar en lo que soy hoy en día.

A mi iglesia por enseñarme los rudimentos para llevar una vida correcta y relacionarme con Dios.

A mi familia, tíos y primos por su apoyo.

A la universidad de Nariño, a la Facultad de Ciencias Agrícolas, por brindarme la oportunidad y los conocimientos necesarios para nuestro desarrollo personal y profesional.

A mi presidente de tesis, el Dr. Hugo Ruiz Eraso, por su orientación y dedicación durante el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos que me acompañaron en el desarrollo de este sueño.

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental en Ganado de Leche Chimangual de la Universidad de Nariño, ubicada en el Municipio de Sapuyes, Nariño. Localizada a 1°02'35,59" N 77°45'14,20" O, a una altura de 3154 msnm con una temperatura promedio de 10°C y una precipitación media anual de 1200 milímetros. con el objetivo de evaluar algunas variables agronómicas y la absorción de nutrientes del pasto Ryegrass aubade (*Lolium* sp.), bajo diferentes dosis de NPK en interacción con silicio en suelo de trópico de altura.

Se estableció un ensayo con diseño en parcelas divididas donde la parcela principal se conformó por tres dosis NPK, Donde las dosis se ajustaron de acuerdo a los requerimientos del cultivo: 100% (N: 432 kg/ha, P: 110 kg/ha, K: 480 kg/ha) y el contenido nutricional del suelo; 75% del NPK y 50% del NPK y la sub parcelala constituyeron tres dosis comerciales de silicio 100 kg/ha, 75% del Si, 50% del Si y un testigo cero aplicaciones de Silicio, con delineamiento de bloques al azar.El ensayo tuvo tres repeticiones para un total de 36 unidades experimentales.

Se evaluaron algunas variables agronómicas y la absorción de nutrientes del pasto Ryegrass aubade (*Lolium* sp.), bajo diferentes dosis de NPK en interacción con silicio en suelo de trópico de altura. La interacción de dosis altas de NPK con dosis altas de silicio ayudaron a incrementar la altura de planta, el índice de área foliar, la producción de forraje verde y el porcentaje de materia seca en el cultivo de Ryegrass aubade (*Lolium* sp). La interacción de NPK alto y Silicio alto, obtuvo un buen resultado con relación al potasio

presente en la planta. Además, las curvas de absorción e índices de crecimiento del cultivo, mostraron la tendencia de incremento en los contenidos de materia seca del pasto Ryegrass aubade (*Lolium sp*), en función del tiempo.

Palabras clave: Pastura, nutrición, ganado.

ABSTRACT

The research was carried out at the Chimangual Dairy Cattle Experimental Farm of the University of Nariño, located in the Municipality of Sapuyes, Nariño. Located at 1°02'35.59" N 77°45'14.20" W, at an altitude of 3154 meters above sea level with an average temperature of 10°C and an average annual rainfall of 1200 millimeters. It corresponds to the montane humid forest life zone (Bh-M); the soil corresponds to a Typic haplustands order in order to evaluate some agronomic variables and nutrient absorption of Ryegrass aubade grass (*Lolium* sp.), under different doses of NPK in interaction with silicon in tropical highland soil.

A trial with a design in divided plots was established where the main plot was made up of three NPK doses, where the doses were adjusted according to the requirements of the crop: 100% N: 432 Kg/ha, P: 110 Kg/ha, K : 480 Kg/ha and the nutritional content of the soil; 75% of High NPK and 50% of High NPK and the subplot will be constituted by three doses of silicon 100 Kg/ha, 75% of High Si and 50% of High Si and a witness zero silicon applications, with random block delineation. The test had three repetitions for a total of 36 experimental units.

Some agronomic variables and nutrient absorption of Ryegrass aubade grass (*Lolium* sp.) were evaluated under different doses of NPK in interaction with silicon in highland tropic soil. The interaction of high doses of NPK with high doses of silicon helped to increase plant height, leaf area index, green forage production and dry matter percentage in the Ryegrass aubade (*Lolium* sp) crop. The interaction of high NPK and

high Silicon, obtained a good result in relation to the potassium present in the plant. In addition, the absorption curves and growth indices of the crop, showed the tendency of increase in the dry matter contents of Ryegrass aubade grass (*Lolium* sp), as a function of time.

Keywords: Pasture, nutrition, cattle.

Contenido

RESUMEN	9
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA	14
JUSTIFICACIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	18
MARCO TEÓRICO	19
4.1 Ryegrass Aubade (<i>Lolium</i> sp.).....	19
4.2 Origen y distribución.....	19
4.3 Requerimientos edafoclimáticos para el manejo de los pastos	19
Suelo	20
Requerimiento hídrico	21
Temperatura	21
Uso	21
Importancia del Silicio	22
Curvas de absorción de nutrientes.....	23
METODOLOGÍA	24
Localización.....	24
Diseño experimental.....	24
Análisis estadístico	27
Variables evaluadas.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
ALTURA DE PLANTA	29
ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	31
PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE.....	32
RENDIMIENTO DE MATERIA SECA	34
EVALUACIONES DE LOS CONTENIDOS DE NPK Y SILICIO EN TEJIDO VEGETAL E INDICES DE NUTRICION EN LA INTERACCION DE NPK Y SILICIO	35
NITRÓGENO EN LA PLANTA.....	37
FOSFORO EN LA PLANTA	37
POTASIO EN LA PLANTA	38
SILICIO EN LA PLANTA	39

CONCLUSIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS.....	51

Tabla 1. Requerimiento del pasto Ryegrass aubade (Lolium sp) kg/año	22
Tabla 2. Distribución de NPK y Si en diferentes dosis por tratamiento.....	25
Tabla 3. Descripción de tratamientos en campo	26
Tabla 4. Metodologías utilizadas para el análisis de tejido vegetal	29
Tabla 5. Cuadrados medios de variables fenológicas y de rendimiento del pasto Ryegrass bajo diferentes dosis de NPK y Si.....	30

Tabla 6. Comparación de medias de las variables fenológicas y de rendimiento del pasto Ryegrass bajo diferentes dosis de NPK y Si	30
Tabla 7. Comparación de medias para PFV en dosis de silicio	33
Tabla 8. Comparación de medias para PFV en dosis de NPK.....	33
Tabla 9. Comparación de medias para RMS dentro de la intera NPK y Si.....	34
Tabla 10. Cuadrados medios de NPK e índices de nutrición	36
Tabla 11. Comparación de medias de NPK e índices de nutrición de Ryegrass bajo diferentes dosis de NPK y Si	36
Tabla 12. Comparación de medias para nitrógeno según dosis de NPK del pasto Ryegrass en el tejido vegetal.....	37
Tabla 13. Comparación de medias para fosforo en Ryegrass en la interacción de dosis de NPK y silicio en tejido vegetal.....	38

Figura 1. Mapa de campo.....	26
Figura 2. Tasa de Crecimiento Acumulado	40
Figura 3. Tasa de Crecimiento Relativo.....	41
Figura 4. Tasa de Asimilación Neta.....	42

INTRODUCCIÓN

La ganadería es el sector más importante en la región, que aporta un 27% del PIB agropecuario del departamento; genera 90.000 empleos directos y un sinnúmero de indirectos. Cerca de 160.000 personas derivan su sustento del negocio de la ganadería de leche en Nariño (FEDEGAN, 2018).

Una de las estrategias para potenciar la ganadería ha sido la introducción de nuevas especies forrajeras como el Ryegrass aubade (*Lolium* sp.) debido a que se caracteriza principalmente por su gran desarrollo, su elevada productividad y por su adaptabilidad a las temperaturas bajas del trópico alto del departamento de Nariño. 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, siendo un cultivo con importantes exigencias nutricionales, así la fertilización de los pastos es una de las prácticas agronómicas más importantes y algunos trabajos recientes muestran que esta práctica representa aproximadamente el 19% de los costos de producción (Rojas *et al*, 2002). Por lo general la fertilización de forrajes en etapa de establecimiento, se enfoca en la aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P), dicha práctica puede no resultar adecuada ya que parte del fertilizante puede perderse o fijarse en el suelo. (Acosta, 1995).

El diseño de un programa de fertilización se estableció con base en los análisis foliares y de suelos del área respectiva, además se consideraron factores determinantes como suelo, clima, métodos de aplicación, tipo de fertilizante y la especie forrajera (Acosta,

1995). Actualmente alrededor del mundo el uso de fertilizantes con silicio ha tomado importancia teniendo en cuenta que es el elemento más 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 lábil, que finalmente puede ser precipitado por la presencia del Silicio, permitiendo así una mayor aprovechabilidad del P por los cultivos (Legarda *et. al.* 2015).

Dada la importancia que están adquiriendo los sistemas agropastoriles para el desarrollo de una ganadería competitiva en el departamento de Nariño, el propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la fertilización NPK en interacción con Silicio sobre el comportamiento agronómico y la absorción de nutrientes del pasto Ryegrass aubade (*Lolium* sp.) a través de índices de crecimiento y determinación de las curvas de absorción de nutrientes, bajo las condiciones ambientales de la zona del trópico alto del departamento de Nariño.

ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

Diversos estudios demostraron que un 70% de los costos de sistemas de producción de leche especializada están asociados con los costos de alimentación; por ello, los sistemas de producción de leche del trópico alto colombiano requieren mejorar y diversificar la oferta de recursos forrajeros para las praderas y de cultivos forrajeros que contribuyan a aumentar la oferta y calidad del recurso básico de la dieta animal, para mantener alta y estable oferta de forraje de buena calidad a través del año, con el fin de reducir costos por suplementación con alimentos concentrados y mejorar los ingresos de los productores, estrategia similar a la utilizada por países altamente eficientes en la producción de leche y carne Nueva Zelanda y Australia, con dietas a base de forrajes. La ganadería de leche especializada en el trópico alto colombiano y especialmente en el departamento de Nariño enfrenta diversas problemáticas que se traducen en bajos índices de rentabilidad y asociados entre otros factores a los altos costos de producción, deficiente manejo y conocimiento de la relación agua – suelo – planta – animal (Cuesta, 2006).

Actualmente, en el trópico alto del departamento de Nariño se han logrado avances importantes en la producción de forrajes como lo es la introducción de nuevas especies que se adaptan a la zona siendo uno de los más importantes y de mejor comportamiento el ryegrass aubade (*Lolium* sp.) que se caracterizan por su gran desarrollo, su elevada productividad, su precocidad, alta calidad nutritiva y su adaptación a las condiciones climáticas del trópico de altura. Lo que ha ayudado en gran medida a encontrar una alternativa para el pasto Kikuyo (*Penisetum clandestinum*) que si bien presenta una buena adaptación es susceptible a heladas y en la actualidad presenta baja productividad

debido a deficientes prácticas de manejo de la fertilización y sobrepastoreo, lo que conlleva a una degradación de las praderas, registrándose pérdidas en fertilidad y daños en las propiedades físicas de los suelos, con aumentos de compactación y reducción en el flujo, aire, agua y nutrientes en el suelo, que se traducen en baja capacidad de transporte de nutrientes y absorción de los mismos por las plantas; factores que se traducen en bajo desarrollo radicular, baja producción de forraje, baja capacidad y producción de las praderas (Cuesta, 2006).

JUSTIFICACIÓN

Los forrajes constituyen la alternativa de alimentación predominante en los diferentes sistemas de producción bovina a nivel nacional. Ya que son la fuente más económica para satisfacer el consumo voluntario de rumiantes y se requieren para garantizar su adecuada fisiología rumial. Entre las principales causas que influyeron en la reducción de la productividad ganadera, se encuentran la baja calidad de las praderas y su progresiva degradación, los cuales alcanzan entre el 50% y 70% de la superficie establecida de pastos en Colombia (Serrano, Toledo 1990; Botero, 1997; Aidar e Kluthcouski, 2003). Esto a causa de varios problemas como la compactación del suelo, invasión de malezas y erosión, entre otras, lo cual ha hecho que la producción de carne y leche se reduzca en más de un 50% (Rincón, 2006).

La fertilización de los pastos es una de las prácticas agronómicas más importantes y algunos trabajos recientes mostraron que esta práctica representa aproximadamente el 19% de los costos de producción de una res durante su período de lactancia (Rojas *et al*, 2002). Por lo general la fertilización de potreros en etapa de establecimiento, se enfoca en la aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P), dicha práctica puede no resultar adecuada ya que parte del fertilizante puede perderse o fijarse en el suelo (Acosta, 1995).

Una alternativa para solucionar la problemática a la baja fertilidad fue establecer una fertilización acompañada con minerales como Silicio, este elemento se caracteriza por potenciar la fertilización de las plantas sobre todo por su amplia interacción con el fosforo no lábil que finalmente puede ser precipitado (Legarda *et.al.* 2015). Este mineral parece beneficiar a ciertas plantas cuando están bajo estrés. Se comprobó que mejora la tolerancia a las sequías y retrasa la defoliación prematura de algunos cultivos que no se riegan y que pudo mejorar la capacidad de resistencia de las plantas a las toxicidades de micronutrientes y de otros metales (por ejemplo, aluminio, cobre, hierro, manganeso, zinc, etc.) (Pthorticulture, 2018).

En la búsqueda del mejoramiento de la productividad en la zona ganadera, se propuso la evaluación del pasto ryegrass aubade conocido por su potencial en la zona frente a diferentes niveles de NPK y Silicio que permitió potenciar el rendimiento del cultivo en el trópico alto del departamento de Nariño, en este sentido, esta investigación se centró en la evaluación del comportamiento agronómico de diferentes dosis de NPK en interacción con silicio y la determinación de las curvas de absorción de nutrientes y su relación con las condiciones químicas y físicas del suelo. Con este fin se estableció una recomendación de fertilización con criterio técnico y científico ajustado a la zona que permita potenciar el rendimiento del pasto Ryegrass aubade.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar algunas variables agronómicas y la absorción de nutrientes del pasto Ryegrass aubade (*Lolium* sp.), bajo diferentes dosis de NPK en interacción con silicio en suelo de trópico de altura

OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Evaluar diferentes variables agronómicas del pasto Ryegrass aubade frente a diferentes dosis de NPK en interacción con silicio según medidas morfológicas y de crecimiento.
- Determinar la absorción de nutrientes del pasto Ryegrass aubade en tres épocas de crecimiento del cultivo mediante índices de nutrición.

MARCO TEÓRICO

4.1 Ryegrass Aubade (*Lolium* sp.)

Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Pooideae

Tribu: Poeae

Subtribu: Loliinae

Género: *Lolium*

4.3 Requerimientos edafoclimáticos para el manejo de los pastos

ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Originario de Europa Meridional y Occidental. • Se adapta entre los 2.000 y 3.200 msnm. • Poca longevidad. • Rendimiento a partir de los tres primeros cortes. <p style="text-align: right;">(Vicuña, 1985)</p>
------------------------------	--

<p style="text-align: center;">SUELO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mediana y alta fertilidad en pH entre 5,5 a 7 en textura franca. • Mejor producción en suelos francos o franco arcillosos. <p style="text-align: right;">(Legarda y Benavides, 2012)</p>
<p style="text-align: center;">REQUERIMIENTO HIDRICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exigente en humedad • Requiere entre 12 a 25 mm de precipitación (700-1300 mm/año). • No soportan: nivel freático demasiado alto, encharcamiento prolongado y exceso de humedad en el suelo. <p style="text-align: right;">(Fried y Broeshart, 1998)</p>
<p style="text-align: center;">TEMPERATURA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Muy resistente a heladas. • Se puede cultivar en alturas hasta 3600 msnm con temperatura promedio de 6 a 8 °c. • En estas zonas la roya ataca con bastante intensidad. <p style="text-align: right;">(Fried y Broeshart, 1998)</p>
<p style="text-align: center;">USO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gramínea de pastoreo utilizada como pasto de corte para heno y ensilaje. • Principal fuente de alimentación para ganadería. <p style="text-align: right;">(Legarda y Benavides, 2012)</p>

<p style="text-align: center;">SIEMBRA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda la aplicación de enmienda en suelos ácidos tales como fuentes de calcio, magnesio, rocas fosfóricas, cal agrícola, dolomitas, yeso agrícola, cal apagada, viva, entre otras. • En suelos con buena CIC se puede utilizar, oxido, hidróxido y sulfato de calcio. • En suelos arenoso con baja CIC se recomienda utilizar fuentes de lenta solubilidad, tales como carbonatos en varias aplicaciones. <p style="text-align: right;">(Laiton y Arevalo, 2007)</p>
<p style="text-align: center;">IMPORTANCIA DEL SILICIO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metaloide tetravalente, el segundo elemento más abundante que comprende aproximadamente el 28% de la corteza terrestre (Epstein, 1994). • La mayoría del Si existe en el suelo en forma de aluminosilicatos cristalinos e insolubles (Richmond y Sussman, 2003; Ling <i>et al.</i>, 2015). • El ácido monosílico se presenta como (H₄SiO₄), a valores de pH que varían de 2 a 9 (Knight y Kinrade, 2001).

Tabla 1. Requerimiento del pasto Ryegrass aubade (*Lolium sp*) kg/año. (70 t/ha de f.v raigrass/ año), equivalente a 14 t/ha de forraje seco/año)

Nutriente	N	P₂O₅	K₂O	Mg	Ca
	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Cantidad	432	110	480	22	110

Fuente: Fried y Broeshart, Mendoza; citados por Bernal, J. (1998).

El silicio, puede mejorar los efectos perjudiciales de muchos estreses abióticos (por ejemplo, metales pesados, deficiencia y desequilibrio de nutrientes, sal, sequía, temperaturas extremas, radiación UV-B) y bióticos (por ejemplo, plagas y enfermedades), estimulando así el crecimiento de las plantas (Liang *et al.* 2007;). También se demostró que el silicio es un elemento esencial a la hora de mejorar el rendimiento y las cualidades de un gran grupo de cultivos (Álvarez y Datnoff, 2001). Por su interacción con el fosforo se precipita el aluminio, que está ligado con el fosforo, formando fosfatos de aluminio, al romperse el enlace por la presencia de ácido silícico, se libera el fosforo y este allí es aprovechado por la planta.

También se demostró que el silicio es un elemento esencial a la hora de mejorar el rendimiento y las cualidades de un gran grupo de cultivos (Álvarez y Datnoff, 2001). La aplicación de fertilizantes con silicio en zonas de cultivo, especialmente en aquellos con poca disponibilidad de este elemento, esta es una práctica agrícola bastante común y rutinaria en muchos países como China, Japón, Corea, Brasil, EE. UU., etc. para lograr una alta productividad y producción sostenible (Liang *et al.* 2015).

Curvas de absorción de nutrientes

El desarrollo de las curvas de absorción de nutrimentos en pastos fue el primer paso para entender la relación entre los nutrimentos presentes en el suelo y en la parte foliar, debido a que estas curvas, describieron por medio de una gráfica la extracción de un nutriente que hace el cultivo y permitió conocer las cantidades de este elemento que fue extraída por la planta durante su ciclo de vida. Esta curva de absorción de nutrientes es una representación gráfica de la cantidad de un nutriente extraído en particular por las plantas durante su ciclo de vida (Sancho, 1998).

Bertsch (1981) afirmó que la extracción de los nutrientes depende de diferentes factores tanto internos como externos, siendo los más importantes: el potencial genético de la planta (eficiencia), la edad de la planta o estado de desarrollo de la misma y el ambiente en que crece (nutrientes del sustrato, temperatura, humedad, brillo solar). Estos factores se asociaron a la prefloración, la floración y la fructificación de una planta o cultivo y en conjunto proporcionaron las razones que sirven para visualizar la importancia de relacionar las curvas de absorción con las curvas de crecimiento del cultivo, para establecer así las relaciones entre los patrones de crecimiento y los requerimientos nutricionales.

A través de las curvas de absorción, se determinó las épocas más idóneas para la aplicación de fertilizantes, ya que las mismas se pudo realizar ligeramente antes de los momentos de mayor absorción. De lo anterior es fácil deducir que las curvas son una herramienta útil para tener una idea aproximada de la cantidad de nutrimentos totales

que la planta necesita para su desarrollo, así como definir los programas de fertilización para el cultivo y maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes. Además, las curvas de absorción permitieron conocer la calidad nutritiva de los productos o frutos, en cuanto a contenidos de nutrientes para el consumo humano o animal (Sancho, 1998); en ese sentido Bertsch (2003) manifiesta que es necesario calcular la cantidad de nutrimentos que se debe reponer, debido a que salen del sistema como producto vendible, y sincronizarlos para que se aplique el producto cuando la planta lo necesite; por esto son importantes las curvas de absorción de nutrimentos.

METODOLOGÍA

Localización

La investigación se desarrolló en la Granja Experimental en Ganado de Leche Chimangual de la Universidad de Nariño ubicada en el Municipio de Sapuyes, Nariño. Ubicada a de 1°02'35,59" N 77°45'14,20" O, a una altura de 3154 msnm con una temperatura promedio de 10°C y una precipitación media anual de 1200 milímetros. Corresponde a la zona de vida de bosque húmedo montano (Bh-M); el suelo corresponde a un orden Typic haplustands.

Diseño experimental

Se estableció un ensayo con diseño en parcelas divididas donde la parcela principal se compuso por tres dosis NPK (100%), (75%) y (50%) y la subparcela la constituyeron tres dosis comerciales de silicio (100 k/ha; 75 kg/ha, 50 Kg/ha; de magnesil) y un testigo cero aplicaciones de silicio (tabla 3), con delineamiento de bloques al azar.

Análisis de suelos del lote experimental

Tabla 2. Caracterización área experimental

Parámetro	Método	Técnica	Unidad de medida	Resultado
Densidad aparente	Probeta graduada	Gravimétrica	g (cm ³) ⁻¹	0.65
pH, Potenciometro Relación Suelo:Agua	NTC 5264	Potenciométrica		4.57
Materia Orgánica	Walkley-Black (Colorimétrico) NTC5403	Espectrofotometrica uv-vis	%	21.5
Fósforo disponible	Bray y Kurtz NTC 5350	Espectrofotometrica uv-vis	mg kg ⁻¹	30.7
Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC5268	Volumétrica	cmol ⁺ kg ⁻¹	45.6
Calcio de Cambio	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC5349	Espectrofotométrica de absorción atómica		4.23
Magnesio de Cambio				0.86
Potasio de Cambio				0.95
Aluminio de Cambio	Extracción KCl 1N	Volumétrica		1.48
Textura	Bouyoucos			Franco - Arenoso

El ensayo tuvo tres repeticiones para un total de 36 unidades experimentales (Figura 1). Donde las dosis se ajustaron de acuerdo a los requerimientos del cultivo de pasto raigrass aubade de 14 t/ha de forraje seca-año, con el potencial de ocho cortes o pastoreos anuales y el contenido de nutrientes en el suelo.

El modelo estadístico utilizado en la investigación fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + P_i + (B \times P)_{ki} + S_j + (P \times S)_{ij} + [(B \times S)_{kj} + (B \times P \times S)_{kij}]$$

Dónde:

Y_{ijk} = variable de respuesta asociada a la parcela principal i, subparcela j, bloque k.

μ = efecto de la media general del experimento

B_k = efecto del bloque k

P_i = efecto de la parcela principal i

$(B \times P)_{ki}$ = error a (interacción del bloque k por la parcela principal i)

S_j = efecto de la subparcela j

$(P \times S)_{ij}$ = interacción de la parcela principal i por la subparcela j.

Distribución de tratamientos en el ensayo.

De acuerdo con la tabla 1 de los requerimientos del cultivo y la tabla 2 de los contenidos de nutrientes en el suelo, se hizo los respectivos cálculos para la configuración de los respectivos tratamientos que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Distribución de NPK y Si, en diferentes dosis por tratamiento.

Parcelas principales	
NPK 100%	381 – 156 – 89 kg ha ⁻¹
NPK 75%	286 – 117 – 67 kg ha ⁻¹
NPK 50%	190 – 78 – 44 kg ha ⁻¹
Subparcelas	
Si 100% D. C.**	100 kg ha ⁻¹
Si 75% D.C	75 kg ha ⁻¹
Si 50% D.C	50 kg ha ⁻¹
Si cero D.C	0 kg ha ⁻¹

**D.C.: Dosis comercial de Si.

NPK 100 %: Aplicación de la totalidad del requerimiento de fertilizante, para obtener la máxima producción (70 t/ha de f.v raigrass/ año), equivalente a 14 t/ha de forraje seco/año)

NPK 50 %: Aplicación de la mitad del requerimiento de fertilizante, para obtener la máxima producción (70 t/ha de f.v raigrass/ año), equivalente a 14 t/ha de forraje seco/año)

NPK 25%: Aplicación de la cuarta parte del requerimiento para para obtener la máxima producción (70 t/ha de f.v raigrass/ año), equivalente a 14 t/ha de forraje seco/año).

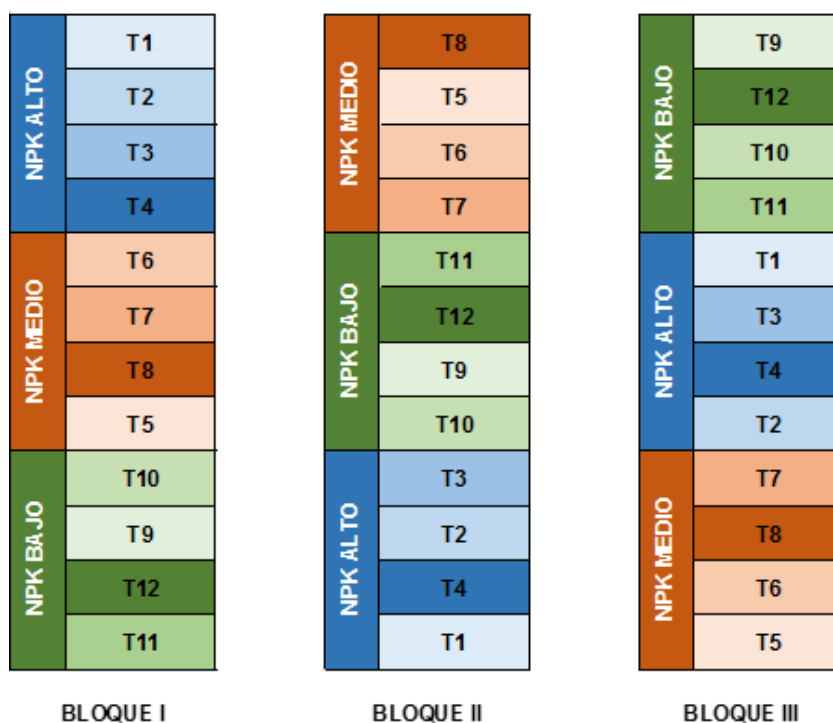
Silicio: D.C= Dosis comercial utilizada para pasturas.

En ese sentido la descripción de los tratamientos en la investigación se plasma en la siguiente tabla 3, cuya distribución esta descrita en la figura 1 (Mapa de campo).

Tabla 4: Descripción de tratamientos en campo.

T1	NPK (100%)	Si (100%)	T7	NPK (75%)	Si (50%)
T2	NPK (100%)	Si (75%)	T8	NPK (75%)	Testigo 0
T3	NPK (100%)	Si (50%)	T9	NPK (50%)	Si (100%)
T4	NPK (100%)	Testigo 0	T10	NPK (50%)	Si (75%)
T5	NPK (75%)	Si (100%)	T11	NPK (50%)	Si (50%)
T6	NPK (75%)	Si (75%)	T12	NPK (50%)	Testigo 0

Figura 1. Mapa de campo



Análisis estadístico

Los resultados de las diferentes variables se sometieron a análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de comparación de medias se realizó para cada tratamiento a través de comparación múltiple de promedios por metodología de Tukey.

Variables evaluadas

Altura de planta (AP): Se realizó la medición desde la base de la planta hasta la última hoja formada, una planta escogida al azar por cada unidad experimental (Cortés y Viveros, 1975).

Producción de forraje verde (PFV) y materia seca (MS): Se realizó el aforo al azar dentro de la unidad experimental con un cuadro de dimensiones de 50 cm x 50 cm, se pesó la producción (kg) y se transformó a toneladas por hectárea (t/ha). Una vez se obtuvo el peso del aforo en fresco se secó el material vegetal a 65°C por 48 horas, se pesó nuevamente y se llevó a toneladas por hectárea (t/ha) (Cortés y Viveros, 1975).

Índice de área foliar (IAF): Para la determinación del índice de área foliar se tomó un número representativo de plantas de acuerdo con los aforos realizados en cada tratamiento donde se tomó tres aforos por unidad experimental, de donde se sacó el 30% de las plantas que correspondió a 108 unidades, y sobre esa muestra de plantas se determinó a partir de un registro fotográfico utilizando el software ImageJ 1.45s (Waine Rasband, National Institutes of Health, Bethesda, MD). Finalmente, el IAF se determinó por la siguiente fórmula:

$$IAF = \frac{(\text{Área foliar}) \times (\text{Densidad de población})}{(\text{Área sembrada})}$$

(Rodríguez *et al.*, 2000).

Las variables AP, PFV, MS, IAF, TCA, TCR y TAN se midieron a los 90 días después de la siembra al primer corte de evaluación, posteriormente se realizaron dos evaluaciones a los 40 días, donde se determinó el 30% de la totalidad de las plantas que correspondió a 108 unidades, se hizo el lanzamiento del aforador tres veces al azar por cada tratamiento, posteriormente se seleccionó tres plantas al azar, se determinó su promedio para el análisis estadístico y sus respectivas evaluaciones.

Tasa de crecimiento acumulada (TCA): Se midió el incremento de la masa seca por unidad de tiempo (g/día). Dada por la siguiente formula:

$$TCA = \frac{\text{masa seca final} - \text{masa seca inicial}}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}}$$

(Radford, 1967).

Tasa de crecimiento relativa (TCR): expresa el incremento de la masa seca en un intervalo con relación al peso inicial ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$). Dada por la siguiente formula:

$$TCR = \frac{\ln \text{masa seca final} - \ln \text{masa seca inicial}}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}}$$

(Radford, 1967).

Tasa de asimilación neta (TAN): Se midió la acumulación de masa seca en función del área foliar por unidad de tiempo. Dada por la siguiente formula:

$$TAN = \frac{\text{masa seca final} - \text{masa seca inicial}}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}}$$

$$\times \frac{\ln \text{area foliar final} - \ln \text{area foliar inicial}}{\text{área foliar final} - \text{área foliar inicial}}$$

(Radford, 1967).

Los muestreos para la determinación de las curvas de absorción de nutrientes se realizaron a los 25, 40 y 55 días después de la emergencia del cultivo, por una sola vez en el primer ciclo del cultivo. Donde se determinó la concentración de Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Silicio, en hojas, tallos y raíz para cada tratamiento. Las determinaciones se hicieron siguiendo los protocolos establecidos por el laboratorio de bromatología y abonos orgánicos de la Universidad de Nariño (Tabla 4).

Tabla 4. Metodologías utilizadas para el análisis de tejido vegetal.

Metodología Utilizadas para el análisis de tejido vegetal según lo planteado por Rice., *et al* (2017).

Elementos	Método
N	Método kjeldahl valoración titulométrica
P	Oxidación húmeda, Colorimetría
K	Calcinación de la muestra, valoración con espectrofotometría de absorción atómica
Silicio	Método gravimétrico

Una vez realizadas las determinaciones se realizó la construcción de las curvas de absorción de nutrientes para cada estructura de la planta, relacionando el resultado del análisis de tejido con el análisis de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla 5, correspondiente a los cuadrados medios, se presentaron los principales resultados en torno a las variables fenológicas y de contenido de nutrientes en la investigación.

Tabla 5. Cuadrados medios de variables fenológicas y de rendimiento de Ryegrass aubade (*Lolium sp.*) bajo diferentes dosis de NPK y Silicio.

F. VARIACIÓN	GL	ALTURA PLANTA	I.A.F	P.F.V	R.M.S
Modelo	17	428,89*	1,35**	35,19**	0,15 ^{ns}
Bloque	2	106,34 ^{ns}	0,34 ^{ns}	8,38 ^{ns}	0,02 ^{ns}
NPK	2	481,33 ^{ns}	2,10*	63,11*	0,49**
NPK*Bloque	4	129,35*	0,30 ^{ns}	5,56 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Silicio	3	1653,02**	5,33**	135,25**	0,12 ^{ns}
Silicio*NPK	6	106,56*	0,15 ^{ns}	4,57 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Error	18	27,24	0,16	4,14	0,07
Total	35				
R²		0,94	0,89	0,89	0,67
CV		8,47	24,58	16,06	10,81

*: diferencias significativas ($p < 0,05$); **: diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) ns: no hay diferencias significativas IAF: (Índice de área foliar); AP: (Altura de planta), P.F.V: Producción forraje verde, RMS: Rendimiento materia seca.

Tabla 6. Comparación de medias de las variables fenológicas y de rendimiento de Ryegrass aubade (*Lolium sp.*) bajo diferentes dosis de NPK y Silicio.

Dosis Silicio	A.P (cm)	I. A. F (m ²)	P. F. V (t/ha)	R. M. S (%)
Cero	40,29 a	0,68 a	15,03 a	2,29 a
50%	40,77 a	1,23 b	15,32 a	2,31 a
75%	63,60 b	1,87 c	16,55 a	2,30 a
100%	86,04 c	2,67 d	32,97 b	2,66 b

Letras iguales no presentan diferencias estadísticas.

ALTURA DE PLANTA

En la anterior tabla 5, de los cuadrados medios se pudo observar que se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para los tratamientos de Silicio 100% en interacción con la dosis de NPK 100% con una media más alta de 86,04 cm mientras que las medias más bajas fueron las interacciones de Silicio cero con NPK 75% y 50% con 40,77 y 40,29 cm respectivamente (Ver anexo 1). Además, las interacciones de NPK 100%, 75% y 50% con Silicio 75% y 50% no presentan diferencias significativas entre sí.

En las dosis 100% de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en interacción con las dosis 100% de Silicio se obtuvo el resultado más alto en altura de planta, esto debido posiblemente a la potencialización del silicio en la mayor eficiencia de nutrientes para los pastos. Benavides y Legarda (2012). Okuda y Takashi (1965), afirmaron que usando soluciones nutritivas con silicio en arroz incrementaron el número de tallos y la altura de plantas. Mientras que estudios con avena forrajera hubo una respuesta positiva en altura de plantas tras aplicación de silicio. Borda y Barón (2007), igualmente Benavides, E y Legarda, D (2012) afirmaron que en Ryegrass aubade las dosis de silicio 100% favorecen el crecimiento de la altura en las plantas.

En la tabla 5 igualmente se puede observar que existieron diferencias altamente significativas ($p > 0,01$) en los contenidos de Si por lo cual el tratamiento que presentó los mejores resultados por el silicio fueron T1 (NPK 100% – Si 100%), T5 (NPK 75% – Si 100%), T9 (NPK 50% – Si 100%), siendo los de las mayores dosis (Ver anexo 1).

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

En la tabla 5, de los cuadrados medios se puede observar que se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,01$) Para el silicio con una media de 3,64 correspondiente a los tratamientos de NPK 100% con Silicio 100% (T1, T5, T9) los cuales fueron los que mejores resultados presentaron. (Ver anexo 2). Así mismo las diferencias estadísticas significativas donde se encontró que los resultados más altos estuvieron con NPK 100% y Si 100% tiene similitud de resultados con respecto a la altura de planta con respecto al índice de área foliar ya que estas diferencias en las medias más altas de NPK 100% con Silicio 100% tienen similitud en cuanto a altura de planta, debido a que se alcanzó un mayor tamaño en hoja, la planta más eficientizó sus nutrientes, minerales y procesos fisiológicos alcanzando una mayor área foliar teniendo una mayor captación de luz y CO_2 dando un mayor crecimiento a la planta y un mejor desarrollo foliar posiblemente a la interacción del silicio y NPK, que potenciaron la nutrición del cultivo. Al respecto, Horna (2007) afirma la existencia de muchas especies que acumulan silicio en sus tejidos, mejorando su fertilidad y crecimiento en dosis adecuadas. En gramíneas el silicio se deposita en la epidermis, pelos y en su interior como en el xilema. Igualmente, Benavides, E y Legarda, D (2012) evidenciaron que en dosis altas (100%) de Silicio en interacción de NPK tuvo una respuesta positiva en la producción de forraje verde que viene de la mano con el índice de área foliar. Quero (2008) demuestra que mayores cantidades de silicio contenidos en el suelo mejora la absorción de nutrientes y mantiene las hojas erectas lo cual es importante para la tasa de fotosíntesis por ende el área foliar también.

PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE

En la tabla 5, se puede observar que se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) para NPK y altamente significativas ($p > 0,01$) para silicio lo cual se puede corroborar con la tabla 7 y la tabla 8 que es la comparación de promedios en estas dos variables para silicio siendo las dosis altas (T1, T5, T9) con las mejores medias. (Ver anexo 3).

Tabla 7. Comparación de medias para PFV en dosis de silicio.

TRATAMIENTO	PROMEDIO SILICIO
T1	19,72 F
T2	17,83 F E
T3	13,11 B C D E
T4	10,48 A B C D
T5	14,80 C D E F
T6	12,96 B C D E
T7	10,37 A B C D
T8	8,69 A B C
T9	15,03 D E F
T10	15,16 D E F
T11	7,92 A B
T12	5,96 A

Tabla 8. Comparación de medias para PFV en dosis de NPK.

DOSIS NPK	PROMEDIO
50%	9,98 A
75%	10,91 A
50%	11,42 A
50%	11,65 A

75%	12,08 A
75%	12,14 A
100%	13,72 A B
100%	14,75 A B
100%	17, 39 B

La tabla 7 muestra que existieron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) siendo la media más baja 5,96 t/ha de producción de forraje verde en el tratamiento de NPK 50% con Silicio cero, posiblemente esto se debió posiblemente al valor ácido del pH en el suelo, al aluminio de cambio que está cercano a $2 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, además de, la baja disponibilidad de silicio y a las dosis bajas del mismo en los diferentes tratamientos; mientras que la media más alta fue 19,72 t/ha en el tratamiento de NPK 100% con Silicio 100%, teniendo así una respuesta positiva a las dosis 100% de NPK y silicio en el pasto Ryegrass aubade (*Lolium sp.*).. siendo dosis de silicio comerciales. Seguida de T2 que también tuvo una buena respuesta acompañada del T10 lo que se puede traducir en la reducción del costo de mantenimiento del cultivo para el productor.

Posiblemente los resultados se debieron a que se incrementó las dosis de NPK y silicio que aumentó la producción de forraje verde. Matichencok (2008), afirmó que el silicio es estimulante para el crecimiento, desarrollo y producción de algunas plantas de cultivo. Resultados similares encontraron Benavides y Legarda, (2012), manifestando que probablemente la producción de forraje verde estuvo influenciada por el Silicio, el cual al estar presente en la pared celular contribuyó mejorando la rigidez y elasticidad; permitiendo una mejora en el crecimiento del ryegrass y una mejor absorción de nutrientes; a su vez PRIMAVESI (2008), encontró que el efecto benéfico del silicio se evidenció en cultivos de arroz, permitiendo aprovechar el agua de una manera más eficiente e incrementó los rendimientos. La tabla 5 igualmente presenta diferencias altamente significativas siendo el T1 el más alto, lo cual corrobora los resultados

encontrados en estos parámetros.

RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

En la tabla 5, de los cuadrados medios se puede observar que se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,01$) para NPK siendo las dosis 100% las tuvieron los mejores resultados (T1, T2(NPK 100% – Si 75%), T3 (NPK 100% – Si 50%)),(Ver tabla 9); Las medias para la variable materia seca en la interacción de las diferentes dosis de NPK con silicio fueron con la media más baja con el tratamiento de NPK 75% con Silicio 75% de 2,00 t/ha y la media más alta del tratamiento NPK 100% con Silicio 100% con 2,96 t/ha; demostrando así que posiblemente las diferentes dosis de NPK Y silicio si hicieron efecto en el aumento de materia seca del cultivo siendo la mejor la dosis 100% de silicio en compañía de las dosis 100% de nitrógeno, fosforó y potasio.

Tabla 9. Comparación de medias para rendimiento de materia seca dentro de la interacción NPK y Si.

NPK	Silicio	PROMEDIO
75%	75%	2,00 A
50%	Cero	2,17 A
100%	Cero	2,27 A B
50%	100%	2,28 A B
50%	75%	2,28 A B
75%	50%	2,34 A B
75%	100%	2,40 A B
75%	Cero	2,46 A B
50%	50%	2,53 A B
100%	50%	2,61 A B
100%	75%	2,79 A B
100%	100%	2,96 B

Loaiza (2003) afirmó que el silicio en condiciones de cultivo a campo abierto estimula el crecimiento “entiéndase como la acumulación irreversible de materia seca se asocia a procesos de crecimiento en las células” que se reflejó incrementando la producción de materia seca. Resultados de ensayos similares en zona diferentes mostraron una clara relación entre las dosis altas y media de silicio en interacción con dosis altas de NPK en el incremento de la producción de materia seca. (Benavides y Legarda 2012). De la misma forma Álvarez y Andrade (2006), observaron que la absorción de silicio es paralela al incremento en producción de materia seca en las diferentes etapas del cultivo de arroz y que la cantidad aprovechada por el cultivo fue mayor que la de los elementos primarios. En un ensayo en el municipio de Chinchiná, Caldas, Colombia en almacigo de café (Caicedo y Chavarriaga 2008) afirmaron que sus resultados tuvieron un evidente desarrollo de hojas ratificando así la influencia del silicio en materia seca.

EVALUACIONES DE LOS CONTENIDOS DE NPK Y SILICIO EN TEJIDO VEGETAL E INDICES DE NUTRICIÓN EN LA INTERACCIÓN DE NPK Y SILICIO

En la tabla 10 se presentan los cuadrados medios correspondientes a los contenidos de nutrientes (NPK y Si) en el tejido vegetal del pasto Ryegrass aubade (*Lolium* sp), además la misma tabla presenta los resultados de los índices de nutrición, nitrógeno presente en la planta en relación con NPK y potasio con respecto a silicio; además, se presentaron diferencias altamente significativas en NPK en cuanto a la tasa de crecimiento acumulada y tasa de crecimiento relativo, evaluados en el pasto.

Tabla 10. Cuadrados medios de NPK e índices de nutrición

F. V.	GL	N	P	K	Si	TCA	TCR	TAN
Modelo	17	0,05 ^{ns}	0,0023*	2,16**	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,00011 ^{ns}	0,0000057 ^{ns}
Bloque	2	0,09**	0,0036 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,43*	0,04 ^{ns}	0,00026 ^{ns}	0,0000011 ^{ns}
NPK	2	0,08**	0,01 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,0049 ^{ns}	0,09**	0,00034*	0,000029 ^{ns}
NPK*Bloque	4	0,0013 ^{ns}	0,0017 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,0039 ^{ns}	0,000019 ^{ns}	0,0000043 ^{ns}
Silicio	3	0,04 ^{ns}	0,0015 ^{ns}	9,73**	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,000082 ^{ns}	0,0000037 ^{ns}
Silicio*NPK	6	0,05 ^{ns}	0,0016 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,000060 ^{ns}	0,0000013 ^{ns}
Error	18	0,03	0,00074	0,46	0,01 ^{ns}	0,02	0,00015	0,0000046 ^{ns}
Total	35							
R²		0,60	0,74	0,81	0,86	0,50	0,42	0,54
CV		6,59	9,35	15,16	5,87	40,36	4,05	10,82

*: diferencias significativas ($p < 0,05$); **: diferencias altamente significativas ($p < 0,01$)

ns: no hay diferencias significativas

N: Nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio, Si: Silicio, TCA: Tasa de crecimiento acumulada, TCR: Tasa de crecimiento relativa, TAN: Tasa de asimilación neta.

Tabla 11. Comparación de medias de NPK e índices de nutrición de Ryegrass aubade (*Lolium sp.*) bajo diferentes dosis de NPK y Silicio.

Dosis Silicio	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Silicio	TCA	TCR	TAN
Cero	2,42 a	0,30 a	3,50 a	1,57 a	0,33 a	0,30 a	0,00035 a
Bajo	2,51 a	0,29 a	3,89 a	1,48 a	0,36 a	0,30 a	0,00059 a
Medio	2,54 a	0,30 a	5,12 b	1,47 a	0,44 a	0,30 a	0,00076 a
Alto	2,75 a	0,23 b	5,65 c	1,53 a	0,41 a	0,30 a	0,00079 a

Letras iguales no presentan diferencias estadísticas.

NITRÓGENO EN LA PLANTA

En la tabla 10, de los cuadrados medios se observó que se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para las dosis de NPK, lo que quiere decir que la cantidad de nitrógeno en la planta depende de las dosis aplicadas siendo T1 (NPK 100% – Si 100%), T2(NPK 100% – Si 75%), T3 (NPK 100% – Si 50%), y T4 (NPK 100% – Si cero) con la media más alta y T9 (NPK 50% – Si 100%), T10 (NPK 50% – Si 75%), T11 (NPK 50% – Si 50%) y T12 (NPK 50% – Si cero) con la media más baja (Ver anexo 5).

Tabla 12. Comparación de medias para nitrógeno según dosis de NPK del pasto Ryegrass aubade (*Lolium sp*) en el tejido vegetal.

NPK	PROMEDIO
50%	2,48 A
75%	2,56 B
100%	2,62 C

Las medias con dosis de NPK 100% presentaron los mejores resultados (2,62 t/ha), mientras que las medias bajas de NPK fueron con las dosis de 50% (2,48 t/ha). La eficiencia en el uso del Nitrógeno es un indicador agronómico y posee un impacto a nivel económico sobre el uso de fertilizantes nitrogenados en las explotaciones ganaderas. Asimismo, la eficiencia del N es más alta conforme se incrementa la cantidad aplicada en las pasturas (Solano y Villalobos, 2022). Lo cual sugiere una mejora en el aprovechamiento y asimilación del N en la planta; esto se refleja en incrementos de los rendimientos productivos (Arteaga et al., 2019).

FOSFORO EN LA PLANTA

En la tabla 10, de los cuadrados medios se puede observar que no se presentaron diferencias estadísticas significativas con relación al fósforo asimilado por la planta. Los tratamientos T5 con la media más baja (0,23), seguida por T2, T9 (0,32) y T4 con la media más alta (0,33). Lo anterior se sustenta por Álvarez y Andrade (2006), los cuales afirmaron que el silicio afecta demás nutrientes, en este caso el fósforo presente en la planta hizo posible la traslocación del mismo y retiene su exceso. Posiblemente estos resultados se deben a que el silicio favorece la acción del fósforo por parte de la planta, expresado a la acumulación de este elemento en el tejido vegetal (Quero, 2006). El porcentaje de aumento de asimilación de fósforo en las plantas por parte del silicio es de

un 40% a 60% y aumenta la eficiencia de la roca fosfórica de un 100 a un 200%. La fertilización con minerales de alta concentración de silicio ayuda a la transformación del fosforo no disponible en forma asimilable para la planta, y previenen la no inmovilización de fertilizantes ricos en fosforo afirmó Quero (2006).

Tabla 13. Comparación de medias para fosforo en pasto Ryegrass aubade (*Lolium sp.*) en la interacción de dosis de NPK y Si en el tejido vegetal

SILICIO	NPK	PROMEDIO
100%	75%	0,23 A
50%	75%	0,28 A B
Cero	75%	0,28 A B
100%	100%	0,28 A B
50%	100%	0,28 A B
75%	75%	0,29 A B
75%	50%	0,29 A B
Cero	50%	0,30 A B
50%	50%	0,30 A B
75%	100%	0, 32 B
100%	50%	0,32 B
Cero	100%	0,33 B

En la anterior tabla 13 se presentaron diferencias estadísticas para las dosis de silicio 100% y para el testigo cero de silicio, siendo el mejor tratamiento el silicio alto esto posiblemente a que la fertilización con minerales altos en silicio ayuda a la transformación del fosforo no disponible para la planta en formas asimilables además de prevenir la transformación de fertilizantes ricos en fosforo en compuestos inmóviles (Quero, 2006). Según estudios similares realizados en plántulas de almacigo de café en 2008 con fertilización con silicio, se encontró que la aplicación de DAP por si sola presentó bajas respuestas comparadas con el testigo, mientras que si se evidencio el beneficio de la aplicación conjunta de fosforo y silicio. (CAICEDO y CHAVARRIAGA, 2008).

POTASIO EN LA PLANTA

El análisis de varianza para potasio si mostro diferencias significativas ($p < 0,01$) siendo las dosis de NPK 75% y 50% con silicio 50% y cero respectivamente las más bajas con una media de 3,07% y 3,12%. Mientras que el T1 fue la media más alta con 5,84% (Ver anexo 7). Según los resultados obtenidos se estableció que las dosis 100% de NPK y de silicio presentaron la mejor respuesta a la concentración de potasio en la planta; esto posiblemente a que hubo una sinergia entre el silicio y el potasio. (Legarda y Benavides 2012.); estudios anteriores en 2012 en fertilización con NPK y Si, en ryegrass aubade reportaron que las dosis medias (75%) y altas (100%) de silicio combinadas con dosis medias (75%) y altas (100%) de NPK presentaron una respuesta positiva a la concentración de potasio en la planta, igualmente Parra, et al (2009) reportaron que las concentraciones de potasio de las hojas y frutos en el cultivo de pepino, fueron afectados positivamente por el silicio, obteniendo diferencias significativas por efecto de concentraciones altas de silicio.

SILICIO EN LA PLANTA

En la Tabla 10, de los cuadrados medios se pudo observar que no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$), únicamente para la interacción dosis por bloques de silicio mostrando la efectividad del bloqueo en la investigación. (Ver anexo 8).

Tasa de crecimiento acumulada (TCA): Se midió el incremento de la masa seca por unidad de tiempo (g/día). Dada por la siguiente formula:

$$TCA = \frac{\text{masa seca final} - \text{masa seca inicial}}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}}$$

(Radford, 1967).

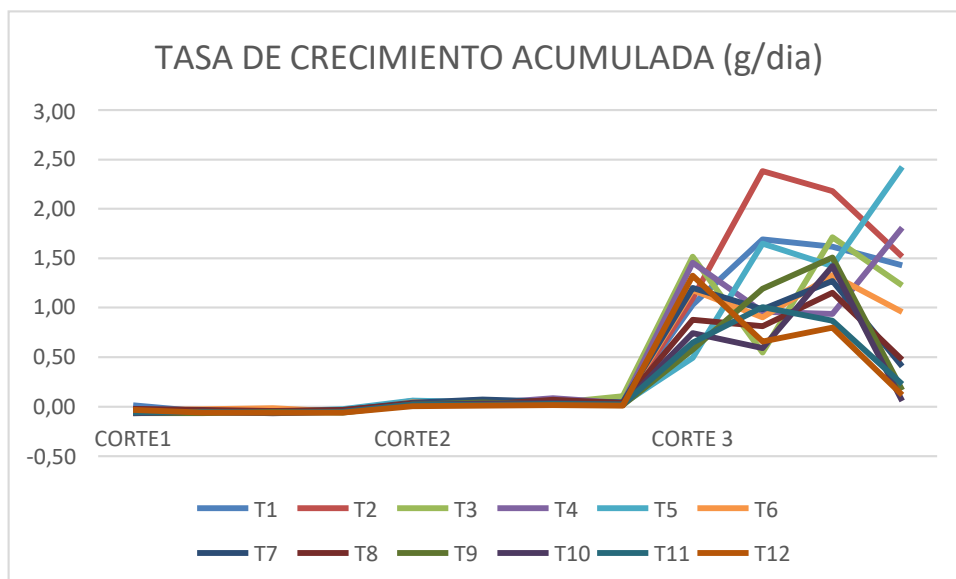


Figura 2. Tasa de Crecimiento Acumulada en materia seca (g/dia)

La tasa de crecimiento acumulada presento una tendencia similar en todos los tratamientos pasado 30 días del corte de uniformización del pasto, después de esto todos los tratamientos empezaron a subir la tasa de crecimiento de la masa seca al trascurrir los días, teniendo el mejor crecimiento continuo el T5 seguido del T4, mientras que los demás tratamientos tuvieron un comportamiento variable.

Tasa de crecimiento relativa (TCR): Expresó el incremento de la masa seca en un intervalo con relación al peso inicial ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$). Dada por la siguiente formula:

$$TCR = \frac{\ln \text{masa seca final} - \ln \text{masa seca inicial}}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}}$$

(Radford, 1967).

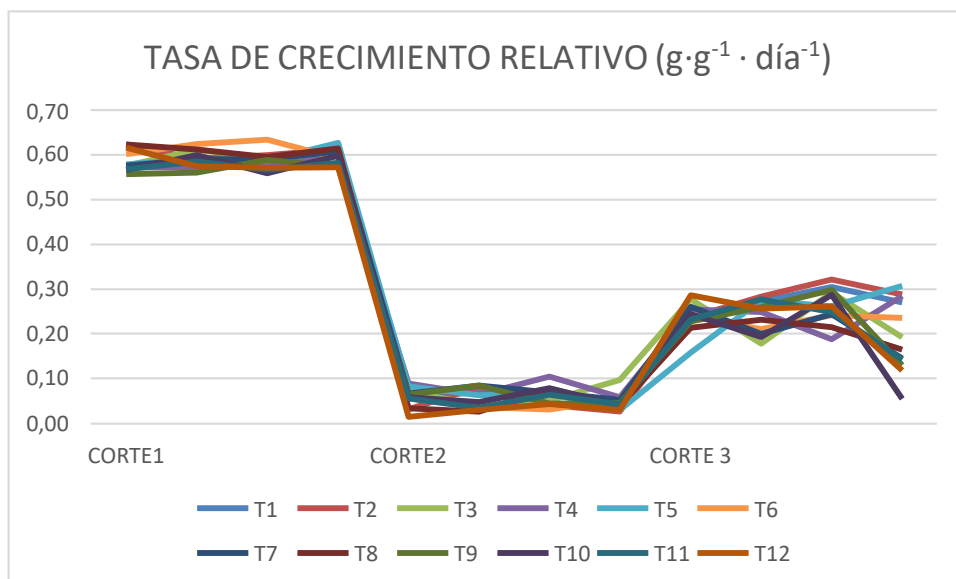


Figura 3. Tasa de Crecimiento Relativo en materia seca (g.g¹. día⁻¹)

En la tasa de crecimiento relativo el cultivo se comportó de manera muy similar para todos los tratamientos incrementando materia seca pasado 15 días después del corte de uniformización, disminuyendo materia seca hasta los 30 días continuando con un crecimiento lento en todos los tratamientos, las plantas expresaron cambios en sus diferentes características de desarrollo y estructura debido a su exposición en ambientes particulares (Grime y Mackey, 2002).

Tasa de asimilación neta (TAN): Se midió la acumulación de masa seca en función del área foliar por unidad de tiempo. Dada por la siguiente formula:

$$TAN = \frac{\text{masa seca final} - \text{masa seca inicial}}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}} \times \frac{\ln \text{area foliar final} - \ln \text{area foliar inicial}}{\text{área foliar final} - \text{área foliar inicial}}$$

(Radford, 1967).

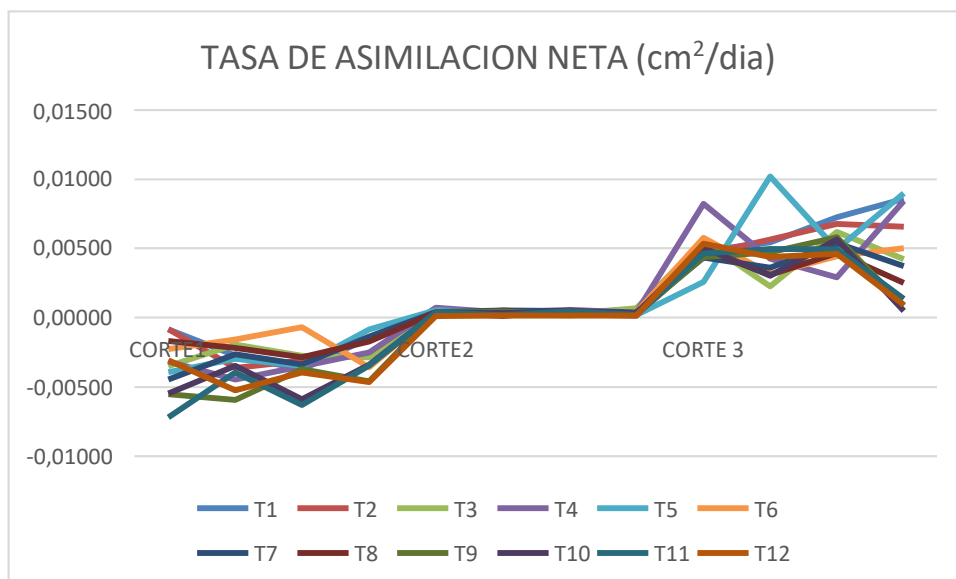


Figura 4. Tasa de Asimilación Neta en materia seca (cm²/ día)

En la tasa de asimilación neta se midió la acumulación de masa seca teniendo un comportamiento similar del cultivo en todos sus tratamientos, todos aumentaron en función del tiempo, T2, T6 (NPK 100% – Si 75%), T4, T5 fueron los que según las grafica siguieron aumentado su masa seca a medida del ciclo del cultivo ya que el cultivo seguía su ciclo fenológico produciendo mayor número de macollas. Además, con las medidas de crecimiento fue posible calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), la tasa de asimilación neta (TAN) y otras variables de importancia en la cuantificación del crecimiento (Hunt et al., 2002). Mientras las medidas directas de crecimiento, tuvieron que ver con el desarrollo absoluto de la planta, las segundas explican su eficiencia en acumular materia seca como producto de sus procesos metabólicos (Geraud et al., 1995).

CONCLUSIONES

El tratamiento T1 (100% de NPK y 100% de Si), presento los mayores valores en la altura de planta, el índice de área foliar, la producción de forraje verde y el porcentaje de materia seca en el cultivo de Ryegrass aubade (*Lolium sp*).

La interacción de NPK 100% y Silicio 100%, fue el tratamiento con mayor valor porcentual de K (5,84%).

Las curvas de absorción e índices de crecimiento del cultivo, mostraron la tendencia de incremento en los contenidos de materia seca en función del tiempo del pasto Ryegrass aubade (*Lolium sp*), con valores que fluctuaron entre 0,0012 g/día y 2,5 g/día respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, R. (1995). *Fertilización y pastoreo rotacional: dos técnicas para alta producción de leche y carne. San José, Costa Rica. Cafesa.*

Aidar, H. e Kluthcouski, J. (2003). *Evolucao das actividades lavoureira e pecuaria nos Cerra-dos. En, Integracao Lavoura - Pecuaria. EMBRAPA, Arroz e Feijao. Ed. Kluthcouski, J.,stone, L. F y Aidar, H. San Antonio de Goias. Brasil*

Alvarez J, Datnoff L E. (2001). *The economic potential of silicon for integrated management and sustainable rice production. Crop Protection.*

Álvarez, 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 fosforo y potasio en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) variedad f-50. ESPOL.*

Arteaga, D. V., G. Cedeño García, G. Cedeño-García, J. Cargua Chávez, M. Garay Lugo. 2019. *Eficiencia agronómica de nitrógeno y producción de Cynodon plectostachyus (K.Schum.) Pilg. En función de dos frecuencias de corte. Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, 35 (3): 251-260.d:10.4067/S0719-3890201900500405.*

Bernal, E. 1986. *Manual pastos y forrajes. CONFAGAN – FEDEGAN – JUNAC. 235p.*

Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica. ACCS.*

Bertsch, F. (1981). *Nutrición mineral de hortalizas: curvas de absorción de*

nutrientes. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Borda, O Y Barón, F. (2007). *El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa): Respuesta fisiológica y manejo. Agronomía colombiana. Universidad nacional. Bogotá vol. 25, (2).*

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*

Calderón, F. (1980). *El factor silicio en el cultivo de arroz en Colombia. Arroz*

Cuesta, P. (2006). *Alternativas forrajeras para mejorar la competitividad de los sistemas de producción de leche del trópico alto. V Seminario Internacional competitividad en Carne y Leche. Medellín.*

Epstein E. (1994). *The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.*

Evans, G. C.(1972) The quantitative analysis of plant growth. *Studies in ecology. Blackwell Scientific Publication London.*

FEDEGAN. (2018). *Cifras de referencia del sector ganadero colombiano.*

Fried, H. y Broeshart, H. citados por Bernal, J. (1998). *Fertilización de cultivos de clima frío: pastos mejorados. Bogotá (Colombia): 2 ed., Monómeros Colombianos Venezolanos.*

Gardner, F; Pearce, R. y Chell, M. (1985). *Physiology of crop plants. Low state University press: AIMEs*

Geraud, F., D. Chirinos, M. Marín, y D. Chirinos. (1995). *Desarrollo de la planta de tomate, Lycopersicon esculentum Miller, cv. Río Grande en la zona del río Limón del Estado Zulia, Venezuela. II. Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. Rev. Fac. Agron .*

Grime, JP y JML Mackey. (2002). *El papel de la plasticidad en la captura de recursos por las plantas. Evol. Ecol.*

HORNA, Z Y MUÑOZ, M. (2007). Resultado de la producción de silicio orgánico en base a la cascarilla de arroz *Oryza sativa L. Ecuador.*

HORNA, Z. (2007). *Efectos del silicio en la nutrición vegetal. Producción de silicio orgánico. Quevedo – Ecuador*

Hunt, R. (1982). *Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold, Londres.*

Hunt, R., D. Causton, B. Shipley, and A. Askew. (2002). *A modern tool for classical plant growth analysis. Ann. Bot .*

Knight C T G, Kinrade S D. (2001). *A primer on the aqueous chemistry of silicon. In: Dantoff L E, Snyder G H, Korondorfer G H, eds., Silicon in Agriculture. Elsevier, Amsterdam*

Laiton Rincón, A. y Arevalo Arroyave, A. (2007). *Estudio del impacto financiero del mejoramiento de praderas mediante la sustitución de especies forrajeras nativas con especies forrajeras mejoradas*. Consultado en: https://ciencia.lasalle.edu.co/administracion_agronegocios/106

Legarda L.D., Benavides C.G. Ruiz E. H. (2012). *Respuesta del pasto Raigrass aubade (Lolium sp.) a dosis de silicio en interacción con diferentes dosis de NPK*.

Liang Y C, Sun W C, Zhu Y G, Christie P. (2007). *Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Environmental Pollution*.

Liang Y C, Nikolic M, Belanger R, Gong H J, Song A L. (2015). *Silicon in Agriculture: From Theory to Practice. Springer, Dordrecht*.

Loaiza, C. (2003). *Fisiología vegetal. Universidad de caldas, Manizales*.

Matichencov, V. Citado Po Caicedo, L Y Chavarriaga, W. (2008). *Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almacigo de plantulas de café variedad colombia. Agronomía colombiana*.

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*. Consultada 14 Agosto 2019.

Pthorticulture. En línea: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-silicio-en-el-cultivo-de-plantas/>

Primavesi, A. Citado Por Caicedo, L Y Chavarriaga, W. (2008). *Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almacigo de plantulas de café variedad Colombia. Agronomía colombiana.*

Quero, E. (2008). *La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Protección y nutrición de hortalizas y frutas. Instituto Tecnológico Superior de Urapan. Mexico.*

Quero, E (2006). *Silicio en la producción agrícola. Instituto tecnológico superior de Urapan. México.*

Radford, P.J. (1967). *Growth analysis formulae-their use and abuse. Crop Sci.* 7(3).

Richmond K E, Sussman M. (2003). *Got silicon? The nonessential beneficial plant nutrient. Current Opinion in Plant Biology,*

Rice, W., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (Eds.). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation (23rd ed.).*

Rincon C., (2006). *Factores de degradación y tecnología de recuperación de praderas en los llanos orientales de Colombia*. CORPOICA. Villavicencio, Meta, Colombia.

Rincón A., Ligarreto G., Sanjuanelo, D. (2005). *Crecimiento del maíz y los pastos (Brachiaria sp.) Establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. Growth of corn and grasses (Brachiaria sp.) established in monoculture and associated with acid soils of the Piedemont Plains of Colombia*.

Rodríguez, A., De La Casa, A., Accietto R., Bressanini, L. y Ovando, G. (2000). *Determinación del área foliar en papa (Solanum tuberosum L., var. Spunta) por medio de fotografías digitales conociendo la relación entre el número de pixeles y la altura de adquisición*. Rev. Bras. Agrometeorol.

Rojas, A.; Rivera, A.; Salazar, M. (2002). *Estructura de costos de la crianza de novillas Holstein en la zona alta del Valle Central de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

Roja Hernández, S., Olivares-Pérez, J. Jiménez-Guillén, R., Gutiérrez-Segura, I. y Avilés-Nova, F. (2011). *Producción de materia seca y componentes morfológicos de cuatro cultivares de Brachiaria en el trópico, Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(1).

Serrano E. A y Toledo, J. M. (1990). *The search of sustainability in Amazonian pastures. Eñ: .-Alternatives to deforestation: Steps towards Sustainable use of Amazonian rain forest*. De. A. B. Anderson, New York, univ. Pres.

Sociedad Colombiana De Ciencias Del Suelo (SCCS). (2001). *Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el Silicio en la agricultura. Bogotá (Colombia): Prolabo Ltda.*

Solano M. J y Villalobos, L. A. (2022). Fertilización nitrogenada en pastos del género *Cynodon*. *Nutrición Animal Tropical* 16 (1): 82-104. Enero-junio, 2022

ISSN: 2215-3527 / DOI: 10.15517/nat.v16i1.51542.

Vicuña P. E. (1985). Pastos y forrajes de clima frío. *Capacitación para campesinos. SENA. Cartilla 3.*

ANEXOS

Disponible en línea en:

Cortes, U. G y Ruiz, H. (2023). *Evaluación de algunas variables agronómicas y absorción de nutrientes del pasto ryegrass aubade (Lolium sp.) bajo diferentes dosis de npk en interacción con silicio en trópico de altura.*

https://docs.google.com/document/d/1KHya_m0HH7rKjoDcbUFKdoIC5LjguYuJ0FgotxK09kY/edit?usp=sharing