

Evaluación del contenido nutricional del suelo y de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), bajo tres enmiendas agrícolas, en la granja Chimangual, Departamento de Nariño.

Natalia Geraldine Guerrero Burbano

Jorge Andrés Tobar Aguirre

Universidad de Nariño

Facultad de Ciencias Agrícolas

Programa de Ingeniería Agronómica

San Juan de Pasto, Colombia

2021

Evaluación del contenido nutricional del suelo y de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), bajo tres enmiendas agrícolas, en la granja Chimangual, Departamento de Nariño.

Natalia Geraldine Guerrero Burbano

Jorge Andrés Tobar Aguirre

Director

Ph. D. Hugo Ruiz E.

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título

Ingeniero Agrónomo

Universidad de Nariño

Facultad de Ciencias Agrícolas

Programa de Ingeniería Agronómica

San Juan de Pasto, Colombia

2021

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.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Hugo Ruiz E.

Firma del director del trabajo de grado

Jairo Mosquera.

Firma del jurado

Efrén Insuasty.

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por todas las bendiciones recibidas en nuestra vida y proceso de formación, por toda la fortaleza brindada en los momentos más difíciles donde las ganas de rendirse nunca fueron una opción, por ser siempre nuestro guía a lo largo de este maravilloso camino y cuidar de nosotros siempre y en cada momento de nuestra vida. Gracias a nuestros padres: Alfredo Tobar y Liliana Aguirre; Javier Guerrero Patiño, Lucía Burbano Rosero y hermano, Fabricio Guerreño, por ser los principales motores de nuestra vida, por apoyarnos siempre de manera incondicional y depositar toda su confianza en nuestros sueños y metas.

Agradecemos a nuestros docentes de la Universidad de Nariño por haber compartido sus conocimientos y experiencias en nuestro proceso de formación como profesionales, de manera especial, al Doctor Hugo Ruiz Eraso presidente de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado nuestro trabajo con todo su conocimiento y paciencia para poder culminar esta gran etapa.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado de manera especial a mi hermano Fabricio Guerrero, quien desde el cielo siempre fue una luz para seguir avanzando en el camino y nunca desfallecer. Por otra parte, a todas las personas que estuvieron presentes durante todo nuestro proceso, como familiares, amigos, profesores, que de una u otra manera fueron un apoyo para lograr alcanzar nuestra meta. A nuestra Universidad de Nariño, a la Facultad de Ciencias Agrícolas y al programa de Ingeniería Agronómica, por abrirnos las puertas y brindarnos todo su conocimiento, entrega y valiosas oportunidades que se verán reflejados en nosotros como excelentes profesionales.

Evaluación del contenido nutricional del suelo y de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), bajo tres enmiendas agrícolas, en la granja Chimangual, Departamento de Nariño.

Evaluation of the nutritional content of the soil and of alfalfa (*Medicago sativa* L.), under three agricultural amendments, in the Chimangual farm, Nariño Department.

HUGO RUIZ E.¹; NATALIA GUERRERO B.² & JORGE TOBAR A.³

1. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad de Nariño.
2. Estudiante de Ingeniería Agronómica Universidad de Nariño.
3. Estudiante de Ingeniería Agronómica Universidad de Nariño.

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue evaluar el contenido nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y el suelo, tras la incorporación de tres tipos de enmiendas calcáreas, con el fin de buscar un mejor aprovechamiento de los terrenos dedicados a pasturas y forrajes.

El estudio se desarrolló en las instalaciones de la Granja Experimental Chimangual de la Universidad de Nariño; ubicada en el municipio de Sapuyes; a una altura de 3.154 m.s.n.m. con precipitaciones anuales de 1.200 mm con temperatura promedio de 10° C. Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar en parcelas divididas, se estableció en un lote de 5000 m² dividido en tres bloques de 15 x 96 m correspondiendo a las enmiendas utilizadas en este ensayo (cal agrícola, cal dolomita y yeso agrícola), y a la vez cada bloque se separó en cuatro subparcelas incluyendo el testigo cero, en cada parcela se realizaron tres repeticiones. La evaluación se realizó en un ciclo de corte del cultivo, luego del periodo de tiempo de incubación de los materiales enclantes, y posterior al corte de homogeneización del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Los resultados mostraron que los contenidos de elementos esenciales en el suelo sufrieron modificaciones al comparar el análisis inicial y final de suelo, encontrándose que se mejoró la saturación de Al y también se mejoró la disponibilidad del P asimilable presente en el suelo lo que permite un mejor desarrollo radicular. En cuanto a las variables de cultivo se encontró que el rendimiento con 2,78 t ha⁻¹/corte e I.A.F 2,79; mientras que en las variables bromatológicas no presentaron ninguna diferencia estadísticamente significativa que influya en los contenidos nutricionales de la alfalfa con respecto al tipo de enmienda aplicada o dosis.

Palabras clave: Fertilización, enmiendas, alfalfa.

ABSTRACT

The main objective of the research was to evaluate the nutritional content of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and the soil, after the incorporation of three types of calcareous amendments, in order to seek a better use of the land dedicated to pastures and forages.

The study was developed in the facilities of the Experimental Farm Chimangual of the University of Nariño; located in the municipality of Sapuyes; at a height of 3,154 m.a.s.l. with annual rainfall of 1,200 mm with an average temperature of 10 °C. An experimental design was used in completely randomized blocks in divided plots, it was established in a 5000 m² lot divided into three blocks of 15 x 96 m corresponding to the amendments used in this test (agricultural lime, dolomite lime and agricultural gypsum), and at the same time each block was separated into four subplots including the zero control, in each plot three repetitions were carried out. The evaluation was carried out in a crop cutting cycle, after the incubation period of the liming materials, and after the homogenization cut of the alfalfa (*Medicago sativa* L.) crop.

The results showed that the contents of essential elements in the soil underwent modifications when comparing the initial and final soil analysis, finding that the saturation of al was improved and the availability of the assimilable P present in the soil was also improved, which allows a better root development. Regarding the cultivation variables, it was found that the yield with 2.78 t ha⁻¹ / cut and I.A.F 2.79; while in the bromatological variables they did not present any statistically significant difference that influences the nutritional content of alfalfa with respect to the type of amendment applied or dose.

Keywords: Fertilization, amendments, alfalfa.

Tabla de contenido

Nota De Responsabilidad	3
Nota De Aceptación	4
Agradecimientos	5
Dedicatoriat	6
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	11
Materiales Y Métodos	12
Localización	12
Análisis De Suelo, Labores Culturales, Muestreos.	12
Variables De Rendimiento En Cultivo De Alfalfa (<i>Medicago Sativa</i> L.)	12
Variables Bromatológicas	13
Área Y Diseño Experimental	13
Modelo Matemático	13
Tratamientos	14
Resultados Y Discusión	15
Variables De Rendimiento En El Cultivo De Alfalfa (<i>Medicago Sativa</i> L.).	17
Índice De Área Foliar	19
Altura De Planta	19
Diámetro Basal	20
Variables Bromatológicas En Cultivo De Alfalfa (<i>Medicago Sativa</i> L.).	20
Materia Seca	21
Extracto Libre De Nitrógeno Y Fibra Cruda	21
Proteína Cruda	22
Fibra Detergente Neutra	22
Discusión Análisis Inicial Y Final De Suelos	23
Conclusiones	24
Bibliografía	25
Anexos	28

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros de rendimiento	12
Tabla 2. Parámetros de bromatología (Laboratorios especializados UDENAR, 2019)	13
Tabla 3. Listado de tratamientos	15
Tabla 4. Análisis inicial del suelo antes del proceso de enclamiento.	16
Tabla 5. Análisis final de suelo.	16
Tabla 6. Cuadrados medios de las variables de rendimiento de Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) bajo diferentes fuentes y dosis de enmiendas calcáreas.	17
Tabla 6.1. Comparación de las medias de las clases de cal en variables de rendimiento de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	18
Tabla 6.2. Comparación de las medias de los tipos de dosis de cal en variables de rendimiento de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	18
Tabla 7. Cuadrados medios de las variables bromatológicas, en cultivo de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), bajo diferentes fuentes y dosis de enmiendas calcáreas.	20
Tabla 7.1. Comparación de las medias de las clases de cal en variables bromatológicas de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	21
Tabla 7.2. Comparación de las medias de los tipos de dosis de cal en variables bromatológicas de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	21

INTRODUCCIÓN

Los forrajes representan en el sector ganadero el principal recurso alimenticio para las diferentes especies animales, que sustentan su nivel productivo alto o bajo, de leche, carne o fibra, precisamente en la condición que muestran los pastos en determinado momento. (PRA BUENAVENTURA, 2016)

Por otra parte, Viloria (2007) dice que en Nariño gran parte del Departamento se dedica a la ganadería, siendo una actividad de vital importancia para los productores y las familias que se sostienen con esta actividad, desde la producción primaria, transporte e industrialización. Eduardo Bravo, director ejecutivo de la Sociedad de Agricultores y Ganaderos de Nariño, SAGAN, asegura que el departamento es muy significativo para la cadena láctea en Colombia, pues es generador del 5% de la producción láctea nacional. La alfalfa (*Medicago sativa* L.) conocida por su riqueza en proteínas, por sus virtudes agronómicas y ecológicas, se presenta como embajadora de una agricultura sostenible y productiva, ellas ayudan a fijar nitrógeno en el suelo así pueden generar su propio alimento y aportar este nutriente al suelo. Las leguminosas usan las bacterias llamadas rizobios (*Rhizobium leguminosarum*) en las raíces. Los rizobios atrapan el nitrógeno de la atmósfera y lo transforman en nutrientes para la planta. Según ACO (2016), este cultivo tiene la ventaja de que una vez implantado, asegura una producción de forraje durante unos 3 a 5 años, esta leguminosa aporta proteína de gran calidad, minerales y vitaminas al ganado (Martín, 2018).

Existe una problemática para la producción de forrajes que es la presencia de suelos ácidos con altos contenidos de aluminio, el cual en altas cantidades resulta tóxico para las plantas además de influir en otras deficiencias. Aproximadamente el 80% del territorio colombiano tiene suelos ácidos, pertenecientes a la zona andina, amazonia y Orinoquia, zona húmeda y cálida, que por ser mayoritariamente húmedo y por exceso de precipitación se lavan las bases que están en el suelo como el Ca, Mg, K, Na y cuando estos elementos se lixivian, los suelos pasan a tener condiciones ácidas Malagón (2003) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2003).

Estos suelos ácidos requieren un adecuado manejo para corregir o enmendar sus problemas oportunamente y de esta manera lograr cosechas rentables. Pero el manejo de la acidez del suelo por parte de la mayoría de los agricultores en Colombia y en Nariño es todavía un mito, pues existen muchas creencias y desconocimientos sobre las enmiendas para encalar, específicamente en lo relacionado con: tipo de producto, época y dosis apropiada de aplicación, calidad y poder neutralizante (Osorno, 2012).

Con el proyecto se busca evaluar el efecto de tres diferentes enmiendas agrícolas en un cultivo establecido, sobre los contenidos nutricionales de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y del suelo, en la granja experimental de la Universidad de Nariño, corregimiento de Chimangual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El proyecto se llevó a cabo en el municipio de Sapuyes, en la granja experimental de la universidad de Nariño, con coordenadas geográficas de 1°02'35,59'' N 77°45'14,20'' O, con una altitud de 3150 m.s.n.m., precipitación de 1200 mm y temperatura promedio de 9°C.

Análisis de suelo, labores culturales, muestreos.

Antes de establecer el cultivo se realizó un análisis de suelo inicial con el que se estableció el plan de fertilización (ver tabla 4), que consistió en la aplicación de 34k de urea/ha⁻¹, 106k de DAP/ha⁻¹ y 6k de Kcl/ha⁻¹ los cuales se aplicaban al cultivo después de cada corte. Para la implementación de las dosis de las enmiendas se realizaron diferentes cálculos, donde se tuvo en cuenta el Índice químico (IQ), el PRNT (Poder relativo de neutralización total) y el tamaño de partícula de los materiales encalantes a utilizar en la investigación, por cual se observa valores diferenciales entre materiales y dosis utilizadas, pero están en equivalencia con respecto a la calidad de los mismos (Figura 1).

Se realizaron los respectivos cálculos de las enmiendas teniendo en cuenta las necesidades del cultivo, y en la finalización del proyecto un análisis final. Para la elaboración de este proyecto se tuvo en cuenta que el cultivo ya estaba establecido aproximadamente nueve meses. La siembra se realizó 30 días después de haber realizado la aplicación de las enmiendas, la variedad utilizada fue alfalfa SW-8210 de la casa comercial impulse semillas.

La toma de muestras se realizó bajo el protocolo establecido por el laboratorio de bromatología de la universidad de Nariño (Universidad de Nariño, 2018) y se encontró con una metodología ya establecida, donde las evaluaciones de toma de muestras de suelo y vegetal se realizaron cada 45 días.

Variables de rendimiento en cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Tabla 1. Parámetros de rendimiento

PARÁMETRO	MÉTODO	AUTOR
Rendimiento	corte y pesaje del total de la parcela	
Altura de planta	Medición en cm desde la base de la planta al ápice de la misma (meristemo apical) del tallo principal.	Gaudet and Keddy (1988)
Número de Tallos en corona	Conteo del total de tallos por planta	Timana (2015)
Diámetro basal	Medición en mm de un tallo al azar a 5 cm de la base	Timana (2015)

Índice de área foliar	se calculó por registro fotográfico de 2 tallos con sus hojas utilizando el software Image J 1.45s, finalmente se determinó por fórmula ($\{\text{área foliar} \cdot \text{densidad de población}\} / \text{área sembrada}$)	National Institutes of Health de USA (1997) warren (1965)
-----------------------	--	---

Variables bromatológicas

Tabla 2. Parámetros de bromatología (Laboratorios especializados UDENAR, 2019)

PARÁMETRO	MÉTODO	AUTOR
Materia seca	Secado estufa	
Fibra cruda	Digestión ácido-básica. Bolsas Ankom	Ankom (2005)
Proteína	Kjeldahl (N*6,25)	Johan Kjeldahl (1883)
Extracto. No Nitrogenado	Cálculo matemático	
Fibra Detergente Neutro	Van Soest Secuencial. Bolsas Ankom	Van Soest Peter (1963)

Área y diseño experimental

Se utilizó un lote de 5000 m², y se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, cada bloque de 15 m por 96 m, la parcela principal de 15 m x 32 m correspondiendo a las enmiendas utilizadas (cal dolomita, cal y yeso agrícolas) y las subparcelas de 8 x 15 m cada una, representando las dosis. Los resultados obtenidos de la investigación en el programa estadístico Infostat v.2020 con un análisis de varianza (ANDEVA).

Modelo matemático

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_k + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki} + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Representa a la parcela

Representa a la subparcela

Y_{ijk} = obs de la unidad experimental

μ = media general del ensayo.

γ_k = efecto de los bloques.

τ_i = efecto del tratamiento τ de la parcela.

$(\gamma\tau)_{ki}$ = Error de la parcela [E(a)]

β_j = Efecto del tratamiento β de la subparcela.

$(\tau\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de los tratamientos de la parcela y subparcela.

ε_{ijk} = error de la subparcela [E(b)].

Tratamientos

Las parcelas principales hicieron referencia al tipo de enmienda comercial (cal agrícola, cal dolomita y yeso agrícola), las subparcelas correspondieron a las cuatro dosis de enmienda, las cuales se determinaron con base en el análisis de suelos inicial, una vez realizado los cálculos siguiendo la metodología propuesta por Espinosa y Molina (1999), donde se consideró la pureza química, el tamaño de partículas y el poder relativo de neutralización, den cada uno de los materiales, obteniendo como resultado las dosis propuestas en la figura 1. del presente documento. Contrastadas estas dosis con un testigo absoluto que no tuvo ninguna aplicación de enmienda (en el presente ensayo (ver figura 1, mapa de campo y tabla 3). Es importante resaltar que la dosis de 11 t/ha, se incluyó como sugerencia de la Corporación AGROSAVIA, en el este trabajo de investigación hace parte, como insumo de un macroproyecto sobre renovación de praderas que está financiado por el Sistema General de Regalías (SGR).

Figura 1. Mapa de campo con la distribución de los tratamientos

Y es o A g rí c ol a	D3	C al A g rí c ol a	D2	C al D ol o m it a	D2	Fuente 1: Cal Agrícola	Dosis:	Fuente 1: Yeso Agrícola
	D4		D1		D4		D1: 2,9 t ha ⁻¹	
	D2		D3		D1		D2: 1,45 t ha ⁻¹	
	D1		D4		D3		D3: 11 t ha ⁻¹	
C al D ol o m it a	D4	Y es o A g rí c	D4	C al A g rí c ol a	D2	Fuente 2: Cal Dolomita	D4: Testigo	Dosis:
	D2		D2		D1		D1: 2,8 t ha ⁻¹	
	D1		D3		D3		D2: 1,4 t ha ⁻¹	
	D3		D1		D3		D3: 11 t ha ⁻¹	

C al A g rí c ol a	D1	ol a C al D ol o m it a	D1	Y es o A g rí c ol a	D2	Dosis: D1: 3 t ha ⁻¹ D2: 1,5 t ha ⁻¹ D3: 11 t ha ⁻¹ D4: Testigo	D4: Testigo
	D3		D3		D1		
	D4		D2		D4		
	D2		D4		D3		
BLOQUE 1		BLOQUE 2		BLOQUE 3			

Tabla 3. Listado de tratamientos

T1	CAL AGRICOLA	D1 (2,9 t ha ⁻¹)
T2		D2 (1,45 t ha ⁻¹)
T3		D3 (11 t ha ⁻¹)
T4		D4 (0 t/ha ⁻¹)
T5	CAL DOLOMITA	D1 (3 t ha ⁻¹)
T6		D2 (1,5 t ha ⁻¹)
T7		D3 (11 t ha ⁻¹)
T8		D4 (0 t/ha ⁻¹)
T9	YESO AGRICOLA	D1 (2,8 t ha ⁻¹)
T10		D2 (1,4 t ha ⁻¹)
T11		D3 (11 t ha ⁻¹)
T12		D4 (0 t/ha ⁻¹)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la investigación se presentan en las tablas 4, 5, 6 y 7 correspondientes, se presentan los valores obtenidos de las tablas de cuadrados medios, la comparación de medias y su significancia estadística para cada una de las variables evaluadas y se incluye el análisis inicial y final de suelo. Además, es conveniente afirmar que los resultados que se presentan a

continuación corresponden al primer corte del cultivo luego de haber realizado el corte de homogenización que se hizo a los 45 días después de la emergencia, por lo cual en tiempo de corte en la presente investigación corresponde a los 90 días después de emergencia, ciclos que se desarrollan ajustados al manejo del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la zona de estudio.

Para la discusión de los contenidos nutricionales del suelo se realizó una comparación entre el análisis químico inicial y final de suelo (Tabla 4 y 5), donde se encontró que en el análisis final hubo un aumento en la cantidad de fósforo disponible, mientras que en los demás nutrientes no se encontraron fluctuaciones.

Tabla 4. Análisis inicial del suelo antes del proceso de encalamiento.

PARÁMETROS QUÍMICOS	
ENSAYOS	LOTE #39
pH	4,99
Nitrógeno	0,62 %
Fósforo	11,4 mg/Kg
Potasio	0,36 cmol+ /Kg
Calcio	3,24 cmol+ /Kg
Magnesio	0,99 mg/Kg
Aluminio	1,91 cmol+ /Kg

Tabla 5. Análisis final de suelo.

	PARÁMETROS QUÍMICOS						
	ENSAYOS LOTE #39						
Enmienda	pH	NITRÓGENO	FÓSFORO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	ALUMINIO
CAD1	5,01	0,63	16,6	0,23	3	0,83	1,29
CAD2	5,06	0,62	12,6	0,22	3,23	0,77	1,23
CAD3	5,2	0,58	14,1	0,18	5,09	0,55	0,64
CAD4	5,07	0,58	14	0,54	2,75	0,65	1,17
CDD1	5,1	0,62	15,9	0,28	4,09	1,48	1,01
CDD2	5,1	0,63	15,7	0,22	3,12	1,12	1,09
CDD3	5,19	0,64	16,3	0,23	4,75	1,73	0,98
CDD4	5,04	0,64	15	0,36	2,84	0,86	1,29
YAD1	4,82	0,61	16,3	0,27	3,74	0,28	1,07
YAD2	4,96	0,63	10,9	0,22	3,37	0,28	1,11
YAD3	4,91	0,61	10,1	0,28	0,82	0,29	1,17
YAD4	4,95	0,62	15,2	0,57	3,5	0,34	1,32

CA (cal agrícola), CD (cal dolomita), YA (yeso agrícola)
D1 (dosis 1), D2 (dosis 2), D3 (dosis 4), D4 (dosis 4)

Como se puede observar, las enmiendas utilizadas fueron cal agrícola CaCO_3 , cal dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ las cuales presentan una reacción de neutralización frente al aluminio, que sucede de la siguiente manera según lo reportado por IPNI (2018) al aplicar CaCO_3 en un suelo ácido, la molécula de CaCO_3 se disocia en iones de Ca^{++} y en iones de CO_3 , por lo cual los iones OH^- son removidos de la solución del suelo a través de la neutralización del H^+ y la formación del agua. Finalmente se precipita el Al^{3+} como $\text{Al}(\text{OH})_3$.

La otra enmienda que se utilizó fue el yeso agrícola (CaSO_4) el cual tiene un efecto como mejorador del ambiente radicular de la planta en suelos ácidos. Después de aplicar el yeso sucede un proceso de disociación del cual se obtiene Ca^{++} y SO_4^{-2} como iones en la solución, después de esta reacción sucede un proceso de intercambio catiónico y formación de pares iónicos, esto le permite al suelo un enriquecimiento de cationes en las capas inferiores, pero en este caso lo más importante es que elimina el Al^3 al formarlos en AlSO_4 que no es tóxico para las plantas.

Variables de rendimiento en el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

En la tabla 6 se puede observar que en el ensayo existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para la interacción encalamiento x dosis, siendo esta interacción la más representativa para las variables de rendimiento con 2,78 t ha^{-1} /corte, e Índice de Área Foliar (IAF) con 2,79.

Tabla 6. Cuadrados medios de las variables de rendimiento de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo diferentes fuentes y dosis de enmiendas calcáreas.

F. VARIACIÓN	GL	RENDIMIEN TO	I. A. F	A. P	D. B	T. C
Modelo	23	0,98**	0,75**	40,34*	0,17 ^{ns}	54,25**
Cal	2	2,03 ^{ns}	0,65 ^{ns}	108,67 ^{ns}	0,01 ^{ns}	112,03 ^{ns}
Bloque	2	1,57*	2,39**	15,05 ^{ns}	0,40*	140,03**
Cal*Bloque	4	0,42 ^{ns}	0,65**	40,16 ^{ns}	0,16 ^{ns}	80,07**
Dosis	3	3,13**	2,07**	64,94*	0,21 ^{ns}	21,29 ^{ns}
Cal*Dosis	6	0,38 ^{ns}	0,38*	45,43*	0,19 ^{ns}	41,95*
Bloque*Dosis	6	0,33 ^{ns}	0,04 ^{ns}	8,71 ^{ns}	0,11 ^{ns}	17,95 ^{ns}
Error	12	0,23 ^{ns}	0,08 ^{ns}	13,43 ^{ns}	0,08 ^{ns}	11,33 ^{ns}
Total	35					
R²		0,89	0,95	0,85	0,81	0,90
CV		25,12	13,08	8,22	8,43	19,45

*: diferencias significativas ($p < 0,05$); **: diferencias altamente significativas ($p < 0,01$)
ns: no hay diferencias significativas

REND (Rendimiento); IAF (Índice de área foliar); AP (Altura de planta), DB (Diámetro basal); TC (Tallos por corona).

Tabla 6.1. Comparación de las medias de las clases de cal en variables de rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Cal	Rendimiento	Índice área Foliar	Altura de Planta	Diámetro Basal	Tallos por Corona
Agrícola	2,23 a	2,38 a	43,67 a	3,27 a	15,58 a
Dolomita	2,05 a	1,92 a	47,94 a	3,34 a	20,83 a
Yeso	1,44 a	2,17 a	42,14 a	3,29 a	15,50 a

Tabla 6.2. Comparación de las medias de los tipos de dosis de cal en variables de rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Dosis de cal	Rendimiento	Índice área Foliar	Altura de Planta	Diámetro Basal	Tallos por Corona
D1	1,63 b	2,21 b	44,21 a b	3,12 a	18,44 a
D2	1,76 b	1,97 b c	42,85 b	3,30 a	16,33 a
D3	2,78 a	2,79 a	48,49 a	3,50 a	18,78 a
D4	1,47 b	1,66 c	42,79 b	3,27 a	15,67 a

Esto se corrobora con Salas (2006) quien encontró en su trabajo de investigación que, si se compara la producción de materia seca con el testigo, se observa un incremento, el cual corresponde con el incremento de la dosis de cal aplicada, logrando los tratamientos intervenidos con las enmiendas alcanzar una producción de más del cincuenta por ciento que el testigo; nos dice también que la parcela con mayor encalado fue la de mayor producción, superando al testigo en más del sesenta por ciento. Este resultado coincide con el presente ensayo, el tratamiento con mayor rendimiento que se obtuvo fue en el que se aplicó la mayor dosis, la cual tenía mayor cantidad del ion carbonato (CO_3) que es el que realmente eleva el pH al hidrolizarse y producir iones OH^- dando como efecto final la reducción de H^+ en H_2O y de esta manera generando un incremento de pH dando lugar a la precipitación del Al^{3+} como $\text{Al}(\text{OH})_3$ que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma el efecto tóxico del Al en las plantas y la principal fuente de H^+ , (Espinosa y Molina, 1999). Por otra parte, el de menor rendimiento fue la dosis D4 que es el testigo con un rendimiento de $1,47 \text{ t ha}^{-1}/\text{corte}$, los resultados obtenidos presentaron una relación con la cantidad de dosis de cal aplicada y el incremento de la producción.

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) sin la intervención de una enmienda calcárea en suelos ácidos probablemente no lograría presentar un rendimiento óptimo. El exceso del Al interfiere la división celular en las raíces de la planta y por esta razón el sistema radicular de plantas creciendo en suelos ácidos es atrofiado y pobremente desarrollado. Espinoza (1999) Cuando se añade cal al suelo, como carbonatos de calcio o calcio y magnesio el incremento en pH induce la precipitación del Al y Mn como compuestos insolubles, la condición fisicoquímica de los suelos ácidos mejora reduciendo la actividad del Al en capas subsuperficiales. De esta manera se ayuda a incrementar la eficiencia de los nutrientes disponibles en el suelo para alcanzar su máximo rendimiento. (Torres *et al.*,2013).

Índice de área foliar

En esta variable la dosis D3 (2,79), logró presentar diferencias estadísticas significativas con las demás dosis, la dosis D1 (2,21) y D2 (1,97) se comportaron de manera similar, sin presentar diferencias significativas entre ellas, la dosis D4 fue la que presentó el menor índice de área foliar con una media para el ciclo 2 de 1,66. Mejía, (1941) Las plantas leguminosas, no prosperan convenientemente si el calcio faltara en el terreno, lo cual concuerda con el resultado obtenido por la dosis D4 (testigo) la cual no tuvo ninguna aplicación de las enmiendas y por lo tanto fue la que presentó el menor índice de área foliar. La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es un ejemplo, en el que la falta de elementos como Ca o S, atenúan los rendimientos de la planta, debido a que no hay ningún elemento que ayude a neutralizar la presencia del Al.

Según lo reportado por INTAGRI (2016) el primer lugar de contacto que tiene el Al con la planta es el ápice radicular, donde se acumula en gran parte. El Al dentro de la raíz tiene afinidad por componentes de la pared celular, lo cual altera sus propiedades mecánicas, dando como síntoma más perceptible la reducción del crecimiento radical en longitud, las raíces laterales se ven afectadas, ya que crecen poco y se vuelven frágiles, por esta razón el volumen radicular se ve reducido dando como resultado un volumen de exploración más pequeño, con lo cual se ve afectada la absorción de agua y nutrientes, influyendo de manera negativa en el crecimiento y desarrollo de la planta. De esta manera la planta no puede recibir los nutrientes adecuados para su óptimo desarrollo, como lo ocurrido con la dosis D4 la de menor cantidad de IAF.

Por otra parte, la implementación de las enmiendas y el poder neutralizante de los carbonatos frente al Al ayudó a neutralizar la acidez del suelo permitiendo un buen desarrollo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), según lo reportado por Carvajal *et al.* (2016) el calcio, elemento importante de las enmiendas, es el principal nutriente encargado de la actividad celular, interviniendo en la elongación de las células para el crecimiento de las plantas. Todo esto hace referencia a la dosis D3 que tuvo la mayor cantidad de enmienda aplicada y por ende la mayor cantidad de carbonato, dando como resultado una mayor cantidad de Ca suministrado al suelo y una mejor absorción de nutrientes en la planta y un mejor porcentaje de IAF.

Para las demás variables como A.P (altura de planta) y D.B (diámetro basal) en el análisis estadístico que se obtuvo no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ninguna de las interacciones.

Altura de planta

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los tipos de enmienda, ni en las diferentes dosis. Según los datos obtenidos por Basigalup (2007) explica que el grado de crecimiento de las plantas depende fuertemente de las condiciones ambientales en las que se desarrollaron, esto nos indica que la aplicación que se realizó de las enmiendas calcáreas no tuvo interacción con la variable altura de planta. Por otra parte, la aplicación que se realizó de los fertilizantes los cuales fueron 34k de urea, 106k de DAP y 6k de KCl, fue uniforme, por ende, no se encontró alguna diferencia significativa.

Diámetro basal

Se realizó el análisis de varianza en el cual no se encontró diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre enmiendas ni entre dosis. Según Timana (2015) la variable diámetro basal del tallo obtuvo un valor medio de 3,5 mm el cual difiere con el resultado que se encontró en la presente investigación.

Variables bromatológicas en cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

En la tabla No. 7 correspondiente al ciclo 2 se presentan los resultados que se obtuvieron de las variables bromatológicas evaluadas en el transcurso de la investigación, las cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en ninguna de las variables de interés en interacción con el tipo de cal aplicado o dosis, teniendo todas las variables bromatológicas un comportamiento estadísticamente similar o no significativo.

Tabla 7. Cuadrados medios de las variables bromatológicas, en cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.), bajo diferentes fuentes y dosis de enmiendas calcáreas.

F. VARIACIÓN	GL	MATERIA SECA	E. LIBRE DE N	P. CRUDA	F. CRUDA	FDN
Modelo	23	2,34*	10,56*	5,19*	4,87*	4,06 ^{ns}
Cal	2	2,69 ^{ns}	3,61 ^{ns}	2,28 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Bloque	2	16,77**	96,66**	36,41**	34,92**	9,01 ^{ns}
Cal*Bloque	4	0,61 ^{ns}	2,24 ^{ns}	1,34 ^{ns}	3,45 ^{ns}	5,78 ^{ns}
Dosis	3	0,17 ^{ns}	1,30 ^{ns}	3,16 ^{ns}	4,53 ^{ns}	6,57 ^{ns}
Cal*Dosis	6	0,43 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,60 ^{ns}
Bloque*Dosis	6	0,58 ^{ns}	3,75 ^{ns}	3,19 ^{ns}	0,90 ^{ns}	3,71 ^{ns}
Error	12	0,88 ^{ns}	3,52 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,47 ^{ns}	3,80 ^{ns}
Total	35					
R²		0,84	0,85	0,86	0,86	0,67
CV		4,89	3,94	4,82	9,07	6,52

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

ns: no hay diferencias significativas

MS (Materia seca), ELN (Extracto libre de nitrógeno), PC (Proteína Cruda), FC (Fibra cruda), FDN (Fibra detergente neutro).

Teniendo en cuenta los valores obtenidos de r^2 en las variables bromatológicas evaluadas se observa que, para MS, ELN, PC y FC, los rangos están entre 0.84, 0.85 y 0.86 lo que nos indica que el modelo está en un 85% de fiabilidad a la variable real y que tan bueno es el ajuste del modelo seleccionado para el proyecto, sabiendo que por encima del 80% el modelo es aceptable.

En cuanto al r^2 de FDN está en 0,67 el cual nos muestra que el ajuste del modelo es bajo por esta razón la dispersión de los datos, en ellos se encontró una mayor variabilidad y menos fiabilidad de

los datos en comparación con las otras variables evaluadas lo cual puede deberse a la calidad del pasto, las enmiendas aplicadas, el clima, entre otras.

Tabla 7.1. Comparación de las medias de las clases de cal en variables bromatológicas de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Cal	Materia seca	E. libre de N	P. cruda	F. cruda	FDN
Agrícola	19,51 a	47,50 a	27,04 a	13,34 a	29,76 a
Dolomita	18,68 a	47,04 a	26,98 a	13,65 a	30,10 a
Yeso	19,49 a	48,13 a	26,26 a	13,16 a	29,84 a
Promedio	19,22	47,55	26,76	13,38	29,9

Tabla 7.2. Comparación de las medias de los tipos de dosis de cal en variables bromatológicas de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Dosis de cal	Materia seca	E. libre de N	P. cruda	F. cruda	FDN
D1	19,03 a	47,14 a	26,41 a	13,97 a	31,05 a
D2	19,29 a	47,34 a	27,09 a	13,47 a	29,81 a
D3	19,35 a	47,80 a	27,41 a	12,36 a	28,98 a
D4	19,23 a	47,95 a	26,13 a	13,74 a	29,77 a
Promedio	19,22	47,55	26,76	13,38	29,90

Materia Seca

En el análisis de varianza no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) tanto entre tipo de enmienda, ni en cantidad de dosis aplicada, el % de esta no varió obteniéndose fluctuaciones en los tipos de cales del 18,68% al 19,51% con una media del 19,22% de MS y un 19,03% al 19,35% con una media de 19,22% de MS para la cantidad de dosis aplicada. Estos resultados se asemejan con los obtenidos por Delgado et al. (2007) en su investigación sobre un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) quienes reportan que la distribución por cortes de la MS fue de 15,2% para el primer corte, 21,4% para el segundo, 22,0% para el tercero, 17,7% para el cuarto, 13,5% para el quinto y 10,2% para el sexto corte.

Extracto Libre de Nitrógeno y Fibra Cruda

En cuanto al contenido de Extracto Libre de Nitrógeno, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en tipo de enmienda, ni en cantidad de dosis aplicada. Los contenidos de ELN en cuanto a tipo de enmienda variaron entre el 47,04% y el 48,13% con una media del 47,55% y para la cantidad de dosis aplicada se obtuvo 47,14% al 47,95% con una media del 47,55%; en el contenido de Fibra Cruda para el tipo de cales este varió entre 13,16% a 13,65%, con una media del 13,38%; y para la cantidad de dosis aplicada varió entre 12,36% a 13,97% con una media de 13,38%. Destacándose en estos análisis algunos como ELN dando un contenido de 47,55% de Extracto Libre de Nitrógeno (carbohidratos solubles) y un 13,38% de Fibra Cruda (carbohidratos complejos) una relación muy buena ya que es muy superior la cantidad de carbohidratos de rápida

asimilación y más solubles para el rumen en comparación con la cantidad de carbohidratos que se desaprovecharon.

Proteína Cruda

En el análisis de varianza, los datos referentes a Proteína Cruda no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tipo de enmienda, ni en cantidad de dosis aplicada, el % no varió y se obtuvieron fluctuaciones en los tipos de cales de 26,26% a 27,04% con una media del 26,76% y para la cantidad de dosis aplicada fluctuó entre 26,13% a 27,41% con una media del 26,76%. Estos resultados se ajustan a lo obtenido por Delgado et al. (2007) donde reportan que en el segundo corte obtuvo un 21,42%, rango que se mantiene cerca con los obtenidos en esta investigación. La FOOS (2018) describe la PC como un método químico usado para describir la porción indigerible del material vegetal. Sin embargo, algunas de estas sustancias pueden ser digeridas parcialmente por microorganismos en el rumen del ganado. Con respecto a esto el INTAGRI (2018) expresa que la proteína cruda es uno de los componentes más variables en los forrajes, los factores que inciden sobre el valor nutritivo modificarán notoriamente el contenido de proteína.

Para Delgado et al. (2007) en su investigación las diferencias en el forraje en porcentaje de PB fueron escasas; el mayor porcentaje presentado por los cortes 1°, 2°, 5° y 6° cuando se efectuaron en el estadio más precoz, se compensa con una producción inferior de MS. Datos que corroboran los obtenidos en este trabajo, donde en el corte dos se obtuvo un mayor % de PB y se compensa con un menor % de MS.

Fibra Detergente Neutra

En el análisis de varianza no se encontraron diferencias estadísticamente significativas con ($p < 0,05$) para la Fibra Detergente Neutra; en el tipo de cales se obtuvo valores que están entre 29,76% a 30,10%, con una media del 29,90%; y para la cantidad de dosis aplicada valores entre 28,98 a 31,05% con una media del 29,90%. Siendo el corte dos el que mejor balance presenta con un 29,90% de FDN y un 19,22% de MS. En un análisis que realizó la FOSS (Analytics Beyond Measure) (2018) expresa que los valores de la FDN son importantes ya que reflejan la cantidad de forraje que puede consumir el animal. A medida que aumenta el porcentaje de la FDN, la ingesta de materia seca por lo general se reduce.

En concordancia con Delgado et al. (2007), los resultados encontrados reflejan la gran plasticidad de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) para adaptarse a todos los manejos ensayados; si se adelanta un corte, pero se retrasa el siguiente para facilitar el restablecimiento de las reservas nutritivas de la planta, el alfalfar se recupera y se alcanzan altas producciones.

Teniendo en cuenta los resultados bromatológicos que se obtuvieron, las variables nutricionales evaluadas se encontraron en unos niveles adecuados en que la planta logró un buen desarrollo, esto posiblemente se deba a la aplicación de las enmiendas agrícolas. Comparando el análisis inicial y final de suelo nos pudimos dar cuenta que el contenido de Al bajó, haciendo que los demás nutrientes estén disponibles para la planta principalmente el fósforo y de esta manera se logró una nutrición óptima.

Discusión análisis inicial y final de suelos

Según Demanet (2017) expresa que la aplicación de enmiendas además de incrementar el valor de pH y disminuir el porcentaje de saturación de aluminio, dos índices claros de acidez del suelo permiten incrementar la disponibilidad de fósforo, reduciendo así su fijación en los coloides del suelo, aumentando la actividad microbiana capaz de mineralizar fósforo e incrementando el desarrollo radical que permite una mayor exploración de las raíces en el suelo. Afirmación que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación, donde se encontraron niveles de fósforo inicial de 11,4 mg/Kg y fluctuaciones de hasta 16,6 mg/Kg de fósforo disponible en el análisis final. Así mismo el contenido de Al paso de 1,91 cmol+ /Kg a rangos de 0,64 y 0,83 en los valores más bajos. De esta manera al aplicar cal (CaCO_3) a un suelo ácido, la molécula de CaCO_3 se disocia en iones de Ca^{++} y CO_3^- ; estos iones de Ca^{++} desplazan al Aluminio presente en la fase intercambiable del suelo y lo envían a la solución del suelo para que hidrolice hasta formar $\text{Al}(\text{OH})_3$, el cual participa con aumentos de pH. Finalmente, la fase intercambiable del suelo queda ocupada por calcio y las formas tóxicas del Al se precipitan como $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Durán, 2010).

Por otra parte, las dosis D4 que representan el testigo cero de cada tratamiento también presentaron un aumento en el contenido de fósforo, esto posiblemente se deba a los residuos de fertilizantes que quedaron en el suelo después de que se realizó la fertilización, el cultivo se fertilizaba 15 días después de cada corte. Es posible que la última toma de muestras se haya tomado en estos días.

Las variaciones que se encontraron en el aumento del pH con la implementación de las enmiendas calcáreas son muy mínimas, teniendo en cuenta que la aplicación de las enmiendas se realizó solo una vez y no se ha vuelto a encalar y entre la toma del análisis inicial y el análisis final de suelo transcurrió un tiempo de 25 meses. Se espera que la cal tenga efecto residual, pero este puede variar por muchos factores como el tipo de suelo, los requerimientos del cultivo, entre otros. Osorno (2012) propone que se debe hacer un nuevo encalado mínimo cada dos años para el sostenimiento y equilibrio de las bases. En la misma idea, Demanet (2017) expresa que el manejo de las enmiendas calcáreas debe obedecer a un programa permanente, en el cual es necesario realizar una aplicación inicial con una dosis alta que permita una corrección rápida y posteriormente aplicar dosis periódicas de mantención en los años siguientes, con el objetivo de controlar los procesos de acidificación, que en suelos derivados de cenizas volcánicas forma parte de un proceso natural de degradación.

Por otra parte, los datos aportados por Osorno *et al.* (2010) nos dice que la alta capacidad buffer del suelo impide que la adición de cal cambie significativamente el pH, esto se debe a la presencia de coloides orgánicos y minerales de carga variable dependientes del pH como sucede en Andisoles, que es exactamente el tipo de suelo en el que se implementó el cultivo un andisol *Andic dystrudepts* con baja densidad aparente y altos contenidos de Al y Fe. En otras palabras, a pesar del encalamiento, el pH tiende a mantener un valor constante, o al menos, los cambios son muy pequeños Zapata (2004). Se requiere una gran cantidad de cal para que haya un cambio del pH; estas cantidades pueden ser económicamente inadecuadas para los agricultores.

CONCLUSIONES

Dentro de las dosis de enmiendas aplicadas la D3 (11 t ha^{-1}) presentó los mejores resultados en cuanto a rendimiento $2,78 \text{ t ha}^{-1}$ /corte de alfalfa y a la vez se obtuvo de mayor I.A.F con 2,79.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tipos de enmiendas aplicadas, sin embargo, se encontró que, al evaluar el contenido de aluminio en el suelo, el porcentaje más bajo lo presentó la cal agrícola con la dosis D3 (11 t/ha), con $0,64 \text{ cmol}^+ / \text{Kg}$ de Al.

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a tipo de enmienda y dosis en las variables bromatológicas. Pero se observó que el mayor valor de proteína cruda lo presentó el tratamiento con cal agrícola en dosis de 11 t/ha .

BIBLIOGRAFÍA

- Aco. (2016). Cómo cultivar alfalfa orgánica en casa. Recuperado de: <https://consumidoresorganicos.org/2016/11/25/como-cultivar-alfalfa-organica-en-casa/>
- Basigalup D. (2007). El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA Institución Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-el_cultivo_de_la_alfalfa_en_la_argentina.pdf
- Bravo. (2017). Foros regionales de ganadería sostenible. Sociedad de Agricultores y Ganaderos de Nariño - SAGAN. Recuperado de: <http://ganaderiacolombianasostenible.co/web/wp-content/uploads/2017/11/Relator%C3%ADa-Foro-Ganader%C3%ADa-Sostenible-Pasto.pdf>
- Carvajal K & Gómez C. (2016). Efecto de la aplicación de cal dolomita sobre el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño en suelos de uso agrícola, Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5927/1/CPA-2016-T020.pdf>
- Delgado I, Muñoz F & Andueza D. (2007). Producción de forraje y proteína bruta de la alfalfa en función del calendario de siega en el valle medio del ebro. Recuperado de: <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1337>
- Demanet. (2017). Enmiendas Calcáreas. Recuperado de: <https://www.watts.cl/docs/default-source/charlas-a-productores/enmienda-calcarea.pdf?sfvrsn=4>
- Durán J. (2010). Fertilización de cultivo en plantillas y socas. Recuperado de: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_4/mod_virtuales/modulo2/tema_32.html
- Espinosa & Molina. (1999). Acidez y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute. Primera edición. Recuperado de: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf>
- Foos. (2018). El análisis de la fibra en el pienso animal. Extraído de: <https://www.fossanalytics.com/-/media/files/documents/papers/laboratories-segment/ebook-fibre-analysis-of-animal-feed-es.pdf>
- Igac. (2003). Instituto geográfico Agustín Codazzi. Mapa de suelos de Colombia (Escala 1:500). Memorias. Artículo. Bogotá.
- Intagri. (2016). El Aluminio y el Desarrollo Radical de los Cultivos. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-aluminio-y-el-desarrollo-radical-de-los-cultivos>
- Intagri. (2018). Valor Nutritivo de los Forrajes y su Relación con la Nutrición Proteica de Rumiantes. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/valor-nutritivo-de-los-forrajes-y-su-relacion-con-la-nutricion-proteica>

- Ipni. (2013). International Plant Nutrition Institute. Fuentes de Nutrientes Específicos. Recuperado de [https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/0248CCB8DFC442E985257BBA0059D03A/\\$FILE/NSS-ES-18.pdf](https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/0248CCB8DFC442E985257BBA0059D03A/$FILE/NSS-ES-18.pdf)
- Mejía P. (1941) enmiendas calcáreas, Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, revistas.unal.edu.co. vol. 4. No 10.
- Malagón C. (2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos-Énfasis en génesis y aspectos ambientales. Revista. Acad. Colomb. Cienc.
- Martin. (2018). El cultivo de alfalfa, técnica y precisión para obtener rentabilidad. Recuperado de: <https://www.innovagri.es/comunidad/el-cultivo-de-alfalfa-tecnica-y-precision-para-obtener-rentabilidad.html>
- Osorno H. (2012). MITOS Y REALIDADES DE LAS CALES Y ENMIENDAS EN COLOMBIA. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9810/70660741.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Osorno H. & Osorno L. (2010). DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CAL. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Laura-Osorno/publication/317303413_ARTICULO_DE_REVISION_DETERMINACION_DE_LOS_REQUERIMIENTOS_DE_CAL_HOW_TO_DETERMINE_LIME_REQUIREMENTS_FOR_CULTIVATED_SOILS/links/593100310f7e9beee765a9fa/ARTICULO-DE-REVISION-DETERMINACION-DE-LOS-REQUERIMIENTOS-DE-CAL-HOW-TO-DETERMINE-LIME-REQUIREMENTS-FOR-CULTIVATED-SOILS.pdf
- PRA BUENAVENTURA (2016). Instalación y manejo de alfalfa en zonas altoandinas. Recuperado de: <https://media-ashoka.oiengine.com/attachments/a5415f5b-18bc-408a-a52c-7eef0ac827e0.pdf>
- Salas R. (2006). EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UNA ENMIENDA CALCÁREA EN LA PRODUCCIÓN DE (*Brachiaria brizantha*) EN UN SUELO ULTISOL DE POCOSOL, SAN CARLOS. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA SEDE REGIONAL SAN CARLOS. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5894/Evaluaci%20del%20efecto%20de%20una%20enmienda%20calc%20a%20rea%20en%20la%20producci%20de%20Brachiaria%20brizantha%20en%20un%20suelo%20ultisol%20de%20Pocosol%20San%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Timana N. (2015). Efectos de la fertilización química-orgánica en el rendimiento de dos variedades de Alfalfa (*Medicago sativa* L.), en la Comunidad de Calpaqui, provincia de Imbabura. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. Tesis de Grado. Pág 41.
- Torres M., Rodríguez M. & Lamelas J. (2013). El azufre en los agro-ecosistemas: corrección de suelos y fertilización de cultivos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Recuperado de: <http://www.tecnoagro.com.ar/notas/fertilidad/torres-duggan-azufre-en-agroecosistemas.pdf>
- Universidad de Nariño. (2018). Sección de laboratorios, protocolo: Toma de muestras de alimentos de consumo animal, muestras vegetales, abonos orgánicos y envió al laboratorio. versión No 1
- Viloria. (2007). Economía del Departamento de Nariño: Ruralidad y Aislamiento Geográfico. Banco de la República. Documento de investigación. Rescatado de: <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-87.pdf>

- Zapata R. (2004). Química de la acidez del suelo. Corrección de la toxicidad por aluminio en el suelo. Primera Edición. pp. 125-175

ANEXOS

Anexo 1: Trazado de área experimental.



Anexo 2: Cultivo de alfalfa establecido



Anexo 3: Toma de muestras de suelo.



Anexo 4: Muestras bromatológicas.

