

Efecto de enmiendas calcáreas en la productividad y la calidad de *Medicago sativa* (L.) en Colombia

Effect of calcareous amendments on the productivity and quality of *Medicago sativa* (L.) in Colombia

Jose Libardo Lerma-Lasso¹ <https://orcid.org/0000-0003-4920-9801>, Jenny Jackeline Zapata-Molina¹ <https://orcid.org/0000-0002-4259-5538>, Harold Andres Chañag-Miramag² <https://orcid.org/0000-0002-2749-0367>, Diego Hernán Meneses-Buitrago¹ <https://orcid.org/0000-0003-3033-3079>, Hugo Ruiz-Eraso² <https://orcid.org/0000-0001-5611-4830>, Hernán Ojeda-Jurado² <http://orcid.org/0000-0003-0891-0482> y Edwin Castro-Rincón^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Obonuco. Pasto, Colombia. ²Universidad de Nariño (UDENAR). Calle 18, Cr 50, Ciudadela Universitaria, Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: ecastro@agrosavia.co

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto de enmiendas calcáreas en la productividad y la calidad de *Medicago sativa* (L.) cv. Moapa 69 en el trópico alto del departamento de Nariño, Colombia.

Materiales y Métodos: El estudio se desarrolló en las localidades de Pasto y Sapuyes. Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados, con arreglo en parcelas divididas. Se establecieron 12 tratamientos, resultantes de la interacción de tres fuentes de enmienda (cal dolomita, cal agrícola y yeso agrícola) y cuatro dosis (D1-testigo sin aplicación de cal, D2-según análisis de suelo, D3-½ D2 y D4-1 t. ha⁻¹), con tres réplicas. Las variables fueron altura de la planta, el rendimiento de forraje verde y de materia seca, la proteína, la fibra detergente neutro, la fibra detergente ácido, el calcio y el fósforo. Se utilizó el análisis de varianza para el procesamiento de los datos mediante el programa R V 3.6.2.

Resultados: En la época de altas precipitaciones, en la localidad de Pasto, T4 fue el más sobresaliente en fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, con valores de 41,0 y 25,5 %, respectivamente. En Sapuyes, T4 se destacó por su contenido de proteína (30,9 %). Durante las bajas precipitaciones, en Pasto, las variables no presentaron diferencias estadísticas. En Sapuyes, T3 fue el mejor en cuanto a la fibra detergente ácido (29,3 %) mientras que, T8 se destacó en altura (2,57 cm) y T12 en el rendimiento de forraje verde (5,52 t ha⁻¹) y de materia seca (0,97 t ha⁻¹).

Conclusiones: En el establecimiento y desarrollo de *M. sativa* influyó positivamente la práctica de encalado. El comportamiento de la *M. sativa* varió en correspondencia con la disponibilidad hídrica. En la época de altas precipitaciones, los rendimientos de materia seca se mantuvieron constantes. Mientras, en la de bajas precipitaciones, la cal dolomita, tuvo los mejores resultados.

Palabras clave: carbonato de calcio, *Medicago sativa*, productividad

Abstract

Objective: To evaluate the effect of calcareous amendments on the productivity and quality of *Medicago sativa* (L.) cv. Moapa 69 in the high tropic of the Nariño department, Colombia.

Materials and Methods: The study was conducted in the Pasto and Sapuyes localities. A complete randomized block design was used, with split-plot arrangement. Twelve treatments were established, resulting from the interaction of three amendment sources (dolomitic limestone, agricultural limestone and agricultural gypsum) and four doses (D1-control without application of limestone, D2-according to soil analysis, D3-½ D2 and D4-1 t. ha⁻¹), with three replicates. The variables were plant height, green forage, dry matter, protein, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, calcium and phosphorus. The program R V 3.6.2 was used for the statistical analysis. Variance analysis was applied.

Results: In the rainy season, in the Pasto locality, T4 was the most outstanding in neutral detergent fiber and acid detergent fiber, with values of 41,0 and 25,5 %, respectively. In Sapuyes, T4 stood out for its protein content (30,9 %). During the dry season, in Pasto, the variables did not show statistical differences. In Sapuyes, T3 was the best regarding acid detergent fiber (29,3 %), T8 stood out in height (2,57 cm) and T12 in green forage (5,52 t ha⁻¹) and dry matter (0,97 t ha⁻¹).

Conclusions: The practice of limestone application positively influenced the establishment and adequate development of *M. sativa*. The performance of alfalfa varied in correspondence with the water availability. In the rainy season, the DM yields remained constant. Meanwhile, in the dry season, dolomitic limestone, with 1 t. ha⁻¹, had the best yields.

Keywords: calcium carbonate, *Medicago sativa*, productivity.

Recibido: 24 de marzo de 2020

Aceptado: 13 de julio de 2020

Como citar este artículo: Lerma-Lasso, J. L.; Zapata-Molina, Jenny J.; Chañag-Miramag, H. A.; Meneses-Buitrago, D. H.; Ruiz-Eraso, H.; Ojeda-Jurado, H. & Castro-Rincón, E. Efecto de enmiendas calcáreas en la productividad y calidad de *Medicago sativa* (L.) en Colombia. *Pastos y Forrajes*. 43 (3):190-200, 2020.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

En la región Andina colombiana, el departamento de Nariño se ubica entre las zonas agroecológicas del trópico de altura, cuyas características edafoclimáticas particulares favorecen la producción especializada de leche. Solarte (2009) refiere que el área dedicada a la producción de cultivos forrajeros en el trópico de altura es de 10 103 ha, de las cuales 20,2 % corresponde a cultivares de *Lolium* sp.; 27,5 % a cultivos naturalizados; 36,4 % a mezclas de cultivos naturalizados, como el azul orchero (*Dactylis glomerata* L.), kikuyo [*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone] y falsa poa (*Holcus lanatus* L.) y 15,9 % a cultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.), brasilero (*Phalaris* sp.) y trébol (*Trifolium* sp.) en mezcla con los citados anteriormente.

Los cultivos forrajeros del Altiplano de Nariño demuestran diferentes grados de tolerancia a la acidez de los suelos y las leguminosas particularmente, la alfalfa es una especie sensible a esta condición. El establecimiento de este cultivo, así como garantizar una buena producción es una labor que requiere de prácticas adecuadas, sobre todo por las altas demandas de Ca^{2+} , Mg^{2+} y un pH de 6,0 a 6,5 (Berenji *et al.*, 2017). Sin embargo, con la aplicación de enmiendas básicas, se corrigen los problemas de acidez, mejora la disponibilidad de nutrientes como el P, se promueve la fijación biológica de N y se favorecen los procesos de mineralización, con lo que se obtienen alfalfares vigorosos, con buena nodulación (Damian-Suclupe *et al.*, 2018).

La aplicación de productos como la cal agrícola, el yeso agrícola y la cal dolomita, suministran al suelo altos contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} , que promueven la precipitación del Al^{3+} y reducen su toxicidad (Calva y Espinosa, 2017). Asimismo, estas bases mejoran la calidad de los cationes estructurales del suelo, al disminuir la resistencia a la penetración, lo que facilita la dinámica del aire y del agua en suelos de uso ganadero (Vázquez *et al.*, 2012).

Definir la enmienda y dosis a aplicar implica considerar el grado de acidez actual y potencial del suelo, la capacidad de intercambio catiónico (CICE), el porcentaje de saturación de bases y las relaciones Ca:Mg:K para condiciones microclimáticas particulares. De igual manera, se debe contemplar el poder de neutralización del producto a utilizar, su velocidad de reacción, pureza y tamaño de partículas (Vázquez *et al.*, 2012). Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes fuentes y dosis de enmiendas en la productividad y calidad de *M. sativa* cv. Moapa 69 durante las épocas de altas y bajas precipitaciones, en el trópico alto del departamento de Nariño.

Materiales y Métodos

Localización. El estudio se desarrolló en dos localidades del departamento de Nariño (Pasto y Sapuyes), Colombia; los indicadores agroclimáticos promedio se muestran en la tabla 1.

Diseño experimental y tratamientos. Se aplicó un diseño de bloques, completamente aleatorizado, con arreglo en parcelas divididas; con 12 tratamientos y tres réplicas (tabla 2), que resultaron de la interacción de tres fuentes de enmienda (cal dolomita, cal agrícola y yeso agrícola), y cuatro dosis de aplicación (D1-testigo sin aplicación de cal, D2-según análisis químico del suelo, D3-½ D2 y D4-1 t. ha⁻¹). Las parcelas principales se correspondieron con las fuentes de enmienda (6 x 48 m); mientras que las subparcelas, con las dosis de aplicación (6 x 12 m).

Procedimiento experimental. En ambas localidades la densidad de siembra de *M. sativa* cv. Moapa 69 fue de 15 kg ha⁻¹. La fertilización se formuló de acuerdo con el análisis químico del suelo (tabla 3) y se fraccionó en dos aplicaciones: en el momento de la siembra, y 120 días después. En el municipio de Pasto, se utilizaron 890 kg de N ha⁻¹, 134 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 672 kg de K₂O ha⁻¹, 60 kg de MgO ha⁻¹ y 57 kg de S ha⁻¹. En Sapuyes, se usaron 85,3 kg de N ha⁻¹, 1 393 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 64 kg de K₂O ha⁻¹ y 30,5 kg de MgO ha⁻¹.

Tabla 1. Ubicación y características climáticas y edáficas de las fincas.

Municipio	Localidad	Coordenadas	Altitud, m s n m	Temperatura media anual, °C	Precipitación media anual, mm	Textura del suelo
Pasto	Centro de Investigación Obonuco AGROSAVIA	N 01° 11' 4.13''	2 905	13,8	1 273	franco arenoso
		W 77° 19' 0.19''				
Sapuyes	Granja Exp. Chimangual Universidad de Nariño	N 01° 02' 6.55''	3 157	11,2	1 061	franco arenoso-gravilloso
		W 77° 45' 3.88''				

Fuente: Climate-Data.org (2020)

Tabla 2. Tratamientos evaluados por localidad en la época de altas y bajas precipitaciones.

Tratamientos	Fuente	Descripción	Localidad	
			Dosis (t ha ⁻¹)	
			Pasto	Sapuyes
T1 = CD + D1		D1: Testigo	0	0
T2 = CD + D2	CD: cal dolomita (CaCO ₃ MgCO ₃)	D2: Según análisis químico de suelo (normal)	2,5	3
T3 = CD + D3		D3: 1/2 D2 (Media)	1,25	1,5
T4 = CD + D4		D4: 1 (Alta)	3,4	11
T5 = CA + D1		D1: (Testigo)	0	0
T6 = CA + D2	CA: cal agrícola (CaCO ₃)	D2: Según análisis químico de suelo (Normal)	1,5	2,9
T7 = CA + D3		D3: 1/2 D2 (Media)	0,75	1,45
T8 = CA + D4		D4: 1 (Alta)	3,4	11
T9 = YA + D1		D1: (Testigo)	0	0
T10 = YA + D2	YA: yeso agrícola (CaSO ₄ 2H ₂ O)	D2: Según análisis químico de suelo (Normal)	2,5	2,8
T11 = YA + D3		D3: 1/2 D2 (Media)	1,25	1,4
T12 = YA + D4		D4: 1 (Alta)	3,4	11

Tabla 3. Análisis químico del suelo.

Municipio	Localidad	pH	MO, %	P, mg/kg)	Ca	Mg	K	CICE	B	Cu	Mn	Fe	Zn
					meq/100g					ppm			
Pasto	Centro de Investigación Obonuco AGROSAVIA	5,8	5,1	13,9	8,1	1,9	0,6	10,9	0,4	4,8	12,8	796,9	3,6
Sapuyes	Granja Exp. Chimangual Universidad de Nariño	5,0	19,4	11,4	3,2	1,0	0,4	41	0,4	0,8	5,5	224	2,7

CICE: capacidad de intercambio catiónico

El período de establecimiento fue de 90 días (junio a septiembre de 2018). Posteriormente, se realizó un corte de homogenización.

Se realizaron cuatro cortes, dos en la época de altas precipitaciones (octubre a diciembre de 2018, fig. 1) y dos en la de bajas (enero a marzo de 2019, fig. 2). Las evaluaciones se desarrollaron con la misma frecuencia para todos los tratamientos. En cada unidad experimental se hicieron muestreos a los 45 días después del corte.

Las variables en estudio fueron altura de la planta (Alt), rendimiento de forraje verde (FV) y materia seca (MS), según la metodología propuesta por Toledo (1982); proteína cruda (PB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), calcio (Ca) y fósforo (P). Para los análisis bromatológicos, se utilizó la metodología NIRS (espectros-

copia de reflectancia en el infrarrojo cercano), de acuerdo con Ariza-Nieto *et al.* (2018) para cada uno de los cortes en cada época.

Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante el programa estadístico R V.3.6.2 (R Core Team, 2018), con el paquete Agricolae (Mendiburu, 2017). Se tuvo en cuenta la varianza y su distribución normal. Se realizó análisis de varianza para las variables en estudio, acompañado de la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados y Discusión

En la época de altas precipitaciones, en la localidad de Pasto, las condiciones edafoclimáticas, el tipo de fuente y dosis de cal influyeron en la producción y contenido nutricional de la alfalfa; ello generó un comportamiento diferente en algunas va-

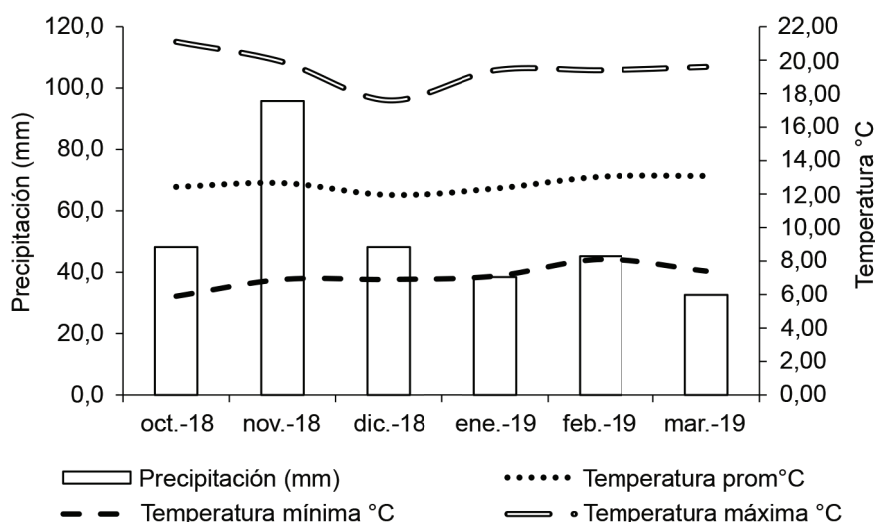


Figura 1. Precipitación acumulada, octubre de 2018 a marzo de 2019.

Fuente: Estación Meteorológica Vintage pro 2. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Pasto, Nariño, Colombia.

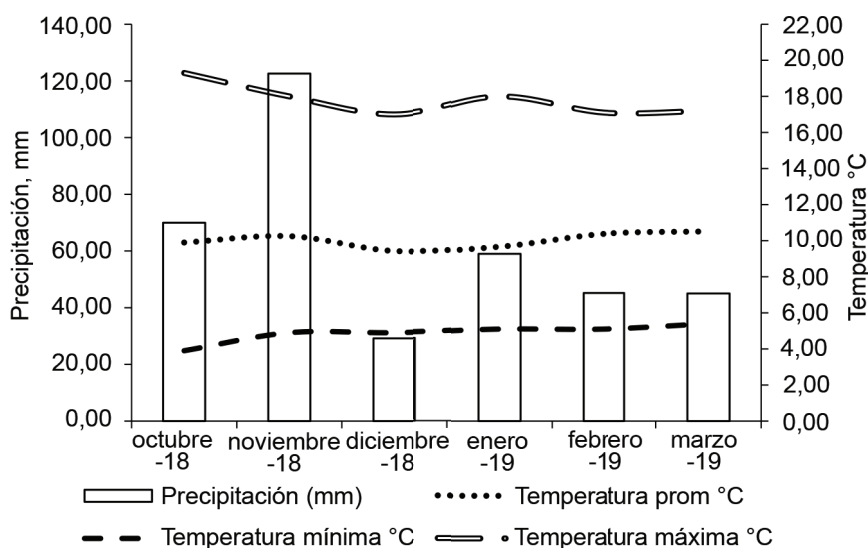


Figura 2. Precipitación acumulada, octubre de 2018 a marzo de 2019.

Fuente: Estación meteorológica Vintage pro 2, Universidad de Nariño (UDENAR). Sapuyes, Nariño, Colombia.

riables (tabla 4). T4 se destacó en FDA y FDN, con 41,0 y 25,5 %, respectivamente.

Capacho-Mogollón *et al.* (2017) hallaron valores de FDA de 38,6 % y FDN de 49,5 %, que fueron superiores a los de este estudio. Estos resultados se atribuyeron a las condiciones edafoclimáticas de la zona donde se realizó la investigación y al estado fenológico en que se encontraba el cultivo al hacer el corte de evaluación.

El T3 alcanzó el mayor valor de Ca (0,83 %). Ello no coincide con lo obtenido por Capacho-Mogollón *et al.* (2017), quienes informaron un valor de 1,47 % de Ca. Esta diferencia se debe a que en la zona donde se realizó dicha investigación el proceso de transpiración del cultivo fue menor al del presente estudio. Esto permite que el Ca^{2+} del suelo extraído por la planta se fije adecuadamente a la pared celular.

Tabla 4. Valores medios para las variables en los diferentes tratamientos durante la época de altas precipitaciones en la localidad de Pasto.

Tratamiento	Altura, cm	Forraje verde, t ha ⁻¹	Materia seca, t ha ⁻¹	PB, %	FND, %	FAD, %	Ca, %	P, %
T1	63,1	14,9	3,5	23,8	38,3 ^{ab}	19,3 ^b	0,8 ^{ab}	0,2
T2	64,7	14,5	3,0	23,0	37,8 ^b	23,1 ^{ab}	0,8 ^{ab}	0,2
T3	67,8	17,3	3,5	23,5	37,8 ^b	24,0 ^{ab}	0,8 ^a	0,2
T4	65,0	14,7	3,0	22,5	41,0 ^a	25,5 ^a	0,7 ^{ab}	0,2
T5	69,7	17,3	3,3	24,8	37,8 ^b	23,8 ^{ab}	0,7 ^{ab}	0,3
T6	67,4	14,2	2,9	24,1	40,8 ^a	24,8 ^{ab}	0,6 ^b	0,2
T7	68,9	15,4	3,1	24,1	37,8 ^b	24,5 ^{ab}	0,7 ^{ab}	0,3
T8	72,0	16,6	3,3	23,5	37,5 ^b	24,5 ^{ab}	0,7 ^{ab}	0,3
T9	70,7	16,9	3,5	23,5	38,0 ^b	24,0 ^{ab}	0,8 ^{ab}	0,2
T10	72,5	17,1	3,5	23,5	38,3 ^{ab}	24,1 ^{ab}	0,8 ^{ab}	0,2
T11	71,5	15,3	3,1	23,3	37,1 ^b	24,3 ^{ab}	0,8 ^{ab}	0,2
T12	73,6	15,2	3,05	23,5	36,8 ^b	23,1 ^{ab}	0,7 ^{ab}	0,3
EE ±	0,855	0,362	0,076	0,001	0,002	0,003	0,008	0,001
Valor - P	0,918	0,332	0,647	0,806	> 0,0005 ***	0,17	0,606	0,048
Fuente								
CD	65,1 ^b	15,3	3,2	23,2 ^b	38,7 ^a	23,0	0,8 ^a	0,2 ^b
CA	69,5 ^{ab}	15,9	3,1	24,1 ^a	38,5 ^{ab}	24,4	0,7 ^b	0,2 ^a
YA	72,1 ^a	16,1	3,3	23,4 ^{ab}	37,5 ^b	23,9	0,7 ^{ab}	0,2 ^{ab}
EE ±	2,061**	0,725	0,142	0,002*	0,001*	0,003	0,021**	0,000**
Valor - P	0,005	0,691	0,811	0,022	0,015	0,26	0,003	0,005
Dosis								
D1	67,8	16,4	3,4	24,0	38,0 ^{ab}	22,3	0,7	0,2
D2	68,2	15,3	3,1	23,5	39,0 ^a	24,0	0,7	0,2
D3	69,4	16,0	3,2	23,6	37,6 ^b	24,2	0,8	0,2
D4	70,2	15,5	3,1	23,1	38,4 ^{ab}	24,3	0,7	0,2
EE ±	1,865	0,661	1,545	0,002	0,004*	0,012	0,014	0,003
Valor - P	0,741	0,742	0,509	0,188	0,033	0,165	0,286	0,481

*p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001

a, b, c: medias con letras diferentes en una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Tukey (p ≤ 0,05).

Dosis: D1-testigo sin fertilización, D2- dosis de aplicación según análisis químico de suelo (normal), D3- 1/2 D2 (dosis media) y D4: 1 (dosis alta)

Tratamientos: T1-cal dolomita + D1, T2-cal dolomita + D2, T3-cal dolomita + D3, T4-cal dolomita + D4, T5- cal agrícola + D1, T6-cal agrícola + D2, T7-cal agrícola + D3, T8-cal agrícola + D4, T9- yeso agrícola + D1, T10: yeso agrícola + D2, T11: yeso agrícola + D3 y T12: yeso agrícola + D4.

Desde el punto de vista estadístico, las variables Alt, FV, MS, PB y P no presentaron diferencias significativas para la interacción de dos factores. Por esta razón, se analizó el efecto de cada uno por

separado, donde el factor fuente mostró diferencias significativas para las variables Alt, PB y P.

El yeso agrícola se destacó en Alt, con 72,1 cm. En este sentido, Pérez-Vargas (2016) y Silva *et al.*

(2019) argumentaron que esta fuente permite mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, que incrementa la altura del forraje.

Por otra parte, la cal agrícola se destacó en P y PB con 0,29 y 24,2 %, respectivamente. Mora (2005) obtuvo 0,27 % de P, el cual es similar al encontrado en la presente investigación. Este resultado se puede atribuir al alto contenido de Ca^{2+} que aporta esta fuente, el cual condiciona la disponibilidad de P en el tejido foliar.

En cuanto a la PB, Damborg *et al.* (2018) hallaron 21,8 %, que resulta inferior al de este estudio, debido al contenido de materia orgánica de la zona. Contreras *et al.* (2019) obtuvieron en la localidad de Huaytará un contenido de PB similar al encontrado en el presente estudio, lo que pudo deberse a que ambas localidades presentan condiciones edafoclimáticas similares.

En la localidad de Sapuyes, las condiciones edáficas, climáticas y el tipo de enmienda incorporada al suelo influyeron en los rendimientos y en el contenido nutricional de *M. sativa* cv. Moapa 69, lo que generó un comportamiento diferente en algunas variables (tabla 5). T4 sobresalió por su contenido de PB (30,9 %); Corner-Thomas *et al.* (2018) informaron un 26,0 %, el cual es inferior al encontrado en el presente estudio. Esto se debe a que el contenido de materia orgánica en el suelo de la zona fue menor que el de Sapuyes. Por su parte, T8 sobresalió por su contenido de Ca (2,18 %), lo cual fue inferior a lo hallado por Rodríguez-Ramírez *et al.* (2013). Esto puede ser atribuido a que en la localidad de Sapuyes se aplicó una dosis alta de cal agrícola, la cual influyó en el contenido de Ca en los tejidos celulares de *M. sativa* cv. Moapa 69.

Las variables Alt, FV, MS, FND, FAD y P no presentaron diferencias significativas para la interacción de dos factores, por lo que se analizó el efecto de cada uno por separado y el factor fuente presentó diferencias estadísticas en el contenido de P; CA fue la que mayor porcentaje de P presentó (0,39 %) y fue superior al hallado por Rodríguez-Ramírez *et al.* (2013) en condiciones edafoclimáticas diferentes al del presente estudio.

La época de altas precipitaciones, las condiciones edáficas, el manejo agronómico, las fuentes y las dosis calcáreas utilizadas influyeron en los rendimientos y generaron un comportamiento diferente en el contenido nutricional de *M. sativa* cv. Moapa 69 en ambas localidades.

En la época de bajas precipitaciones, en la localidad de Pasto, las condiciones edafoclimáticas, el tipo de fuente y las dosis de cal empleadas no

influyeron en la producción y contenido nutricional de la alfalfa, lo que no generó un comportamiento diferente en las variables (tabla 6). Sin embargo, T5 mostró cifras ligeramente mayores para las variables Alt, FV, MS con un promedio de 73,4 cm; 16,58 y 3,58 t ha⁻¹, respectivamente.

Ello se puede atribuir a la respuesta de *M. sativa* cv. Moapa 69 frente a las condiciones edáficas inalteradas de esta localidad. Por su parte, T11 presentó un valor ligeramente mayor en PB, con 24,8 %, debido a que la cantidad aplicada de yeso agrícola respondió mejor al desarrollo radicular de la *M. sativa* y permitió una mayor extracción del nitrógeno disponible en el suelo. Por otro lado, T6 y T10 tuvieron un valor ligeramente alto de FDN (39,2 %). De igual forma, T6 se destacó en Ca y T10 en FDA. Este resultado se puede atribuir a la capacidad de extracción de nutrientes de la especie en esas condiciones (tipo de fuente y dosis calcárea). T1 presentó un valor ligeramente mayor de P (0,29 %), debido a las condiciones edafoclimáticas de esta época, que mejoraron la extracción de Ca de la solución del suelo, lo que permite mejor expresión del P en la parte foliar de *M. sativa* cv. Moapa 69.

En Sapuyes, las propiedades fisicoquímicas del suelo y el clima influyeron en la producción y contenido nutricional de *M. sativa*, lo que generó un comportamiento diferente en las variables (tabla 7). T3 se destacó por su contenido de FDA. Este resultado difiere con el que informaron Damborg *et al.* (2018), quienes hallaron 29,3 % de FDA. Esta diferencia puede ser consecuencia de que durante la época de bajas precipitaciones, los niveles de celulosa y lignina de *M. sativa* cv. Moapa 69 son altos, ya que existe mayor conversión de productos fotosintéticos en los tejidos estructurales.

Por otro lado, T8 se destacó por su altura (53,67 cm), y por el Ca (2,57 %). En contraste con lo señalado por López-Báez *et al.* (2018), los autores del presente estudio definen que la aplicación de cal agrícola moviliza el Al^{3+} y aumenta la CICE, la disponibilidad y absorción de fosfatos en el suelo, lo que permite el desarrollo óptimo de *M. sativa* cv. Moapa 69.

Por su parte, T12 predominó por su contenido de FV y de MS. Baquero-Peñuela *et al.* (2018) refieren que la aplicación de yeso agrícola en el suelo contribuye al crecimiento y desarrollo radicular de *M. sativa* cv. Moapa 69, lo que permite mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo.

Tabla 5. Valores medios para las variables en los diferentes tratamientos durante la época de altas precipitaciones. Sapuyes.

Tratamiento	Altura, cm	Forraje verde, t ha ⁻¹	Materia seca, t ha ⁻¹	PB, %	FDN, %	FDA, %	Ca, %	P, %
T1	38,3	3,5	0,4	29,6 ^{ab}	31,5	21,1	1,6 ^b	0,0
T2	45,1	4,9	0,7	29,1 ^{ab}	32,0	22,3	1,7 ^{ab}	0,4
T3	43,3	3,4	0,4	30,4 ^{ab}	32,4	22,2	1,6 ^b	0,4
T4	46,2	5,3	0,7	30,9 ^a	31,3	22,7	1,8 ^{ab}	0,4
T5	45,5	4,4	0,6	28,8 ^{ab}	28,8	21,3	1,6 ^{ab}	0,3
T6	41,6	4,1	0,6	29,4 ^{ab}	30,0	21,1	1,8 ^{ab}	0,3
T7	41,9	4,3	0,6	29,5 ^{ab}	29,6	21,2	2,1 ^{ab}	0,4
T8	49,3	6,8	0,9	29,4 ^{ab}	31,8	23,4	2,1 ^a	0,3
T9	40,5	2,7	0,4	28,4 ^{ab}	29,8	19,3	1,6 ^b	0,3
T10	40,6	3,4	0,5	29,7 ^{ab}	29,8	20,5	1,7 ^{ab}	0,3
T11	44,5	5,6	0,8	29,0 ^{ab}	33,0	23,4	1,7 ^{ab}	0,3
T12	44,2	5,5	0,8	27,4 ^b	31,6	22,2	1,9 ^{ab}	0,3
EE ±	1,149	0,405	0,054	0,002	0,005	0,003	0,0003	0,005
Valor - P	0,773	0,744	0,721	0,254	0,939	0,703	0,459	0,950
Fuente								
CD	43,2	4,3	0,6	30,0 ^a	31,8	22,1	1,7 ^b	0,4 ^a
CA	44,6	4,9	0,7	29,3 ^{ab}	30,1	21,8	1,9 ^a	0,3 ^a
YA	42,5	4,3	0,6	28,6 ^b	31,0	21,4	1,1 ^b	0,3 ^b
EE ±	2,223	0,701	0,092	0,002*	0,012	0,005	0,000**	0,012***
Valor - P	0,714	0,737	0,701	0,033	0,49	0,733	0,005	< 0,0005
Dosis								
D1	41,5	3,5	0,5	28,9	30,0	20,6	1,6 ^b	0,3
D2	42,4	4,1	0,6	29,4	30,6	21,3	1,7 ^{ab}	0,3
D3	43,2	4,4	0,6	29,6	31,7	22,3	1,8 ^{ab}	0,3
D4	46,6	5,9	0,8	29,2	31,5	22,8	1,9 ^a	0,3
EE ±	1,865	0,661	0,152	0,002	0,004	0,013	0,012**	0,003
Valor - P	0,37	0,145	0,105	0,685	0,729	0,169	0,003	0,746

*p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001

a, b, c: medias con letras diferentes en una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Dosis: D1-testigo sin fertilización, D2-dosis de aplicación según análisis químico de suelo (normal), D3-1/2 D2 (dosis media) y D4-1 (dosis alta)

Tratamientos: T1-cal dolomita + D1, T2- cal dolomita + D2, T3- cal dolomita + D3, T4- cal dolomita + D4, T5- cal agrícola + D1, T6-cal agrícola + D2, T7- cal agrícola + D3, T8-cal agrícola + D4, T9-yeso agrícola + D1, T10- yeso agrícola + D2, T11-yeso agrícola + D3 y T12-yeso agrícola + D4

La época de bajas precipitaciones, las condiciones edáficas, el manejo agronómico, las fuentes y las dosis calcáreas utilizadas influyeron en el contenido nutricional de *M. sativa* cv. Moapa 69 en ambas localidades de estudio, ya que el proceso

fotosintético se afectó por el aumento de la temperatura durante este período.

Conclusiones

En las condiciones de este estudio, la práctica del encalado influyó positivamente en el establecimiento

Tabla 6. Valores medios para las variables en los diferentes tratamientos en la época de bajas precipitaciones. Pasto.

Tratamiento	Altura, cm	Forraje verde, t ha ⁻¹	Materia seca, t ha ⁻¹	PB, %	FDN, %	FDA, %	Ca, %	P, %
T1	68,0	14,7	3,0	24,8	38,1	23,6	0,4	0,2
T2	72,8	15,3	3,2	24,0	37,6	23,5	0,5	0,2
T3	67,0	15,6	3,2	24,0	38,8	23,3	0,5	0,2
T4	70,3	15,3	3,2	24,5	38,1	22,6	0,5	0,2
T5	73,3	16,5	3,5	23,3	39,0	23,1	0,5	0,2
T6	69,6	13,8	3,0	24,3	39,1	23,0	0,6	0,2
T7	71,7	14,8	3,1	24,1	39,0	23,0	0,5	0,2
T8	67,2	13,6	2,8	23,8	38,6	23,6	0,5	0,2
T9	73,3	15,0	3,1	24,1	38,6	23,6	0,5	0,2
T10	71,8	15,1	3,2	23,8	39,1	24,1	0,5	0,2
T11	72,7	15,4	3,2	24,8	38,0	23,0	0,4	0,2
T12	72,2	15,8	3,3	24,1	39,0	23,0	0,5	0,2
EE ±	0,711	0,322	0,0008	0,001	0,001	0,001	0,026	0,002
Valor - P	0,416	0,628	0,294	0,255	0,647	0,507	0,983	0,328
Fuente								
CD	69,5	15,2	3,1	24,3	38,2	23,2	0,5	0,2
CA	70,5	14,7	3,1	23,9	38,9	23,2	0,5	0,2
YA	72,5	15,3	3,2	24,2	38,7	23,4	0,5	0,2
EE±	1,445	0,615	0,124	0,002	0,003	0,002	0,042	0,004
Valor - P	0,209	0,617	0,815	0,354	0,255	0,769	0,761	0,396
Dosis								
D1	71,5	15,4	3,2	24,1	38,6	23,5	0,5	0,2
D2	71,4	14,7	3,1	24,0	38,6	23,5	0,5	0,2
D3	70,5	15,2	3,2	24,3	38,6	23,1	0,5	0,2
D4	69,9	14,9	3,1	24,1	38,6	23,1	0,5	0,2
EE ±	1,412	0,623	0,114	0,002	0,002	0,002	0,052	0,0045
Valor - P	0,821	0,857	0,926	0,872	0,999	0,548	0,896	0,956

Dosis: D1-testigo sin fertilización, D2-dosis de aplicación según análisis químico de suelo (normal), D3- 1/2 D2 (dosis media) y D4-1 (dosis alta)

Tratamientos: T1-cal dolomita + D1, T2- cal dolomita + D2, T3- cal dolomita + D3, T4-cal dolomita + D4, T5- cal agrícola + D1, T6- cal agrícola + D2, T7- cal agrícola + D3, T8- cal agrícola + D4, T9-yeso agrícola + D1, T10- yeso agrícola + D2, T11- yeso agrícola + D3 y T12-yeso agrícola + D4

y desarrollo de *M. sativa* cv. Moapa 69. El comportamiento de la especie varió en correspondencia con de la disponibilidad hídrica. En condiciones de altas precipitaciones, los rendimientos de materia seca se mantuvieron constantes, mientras que en la época de bajas precipitaciones el encalamiento con cal dolomita mostró los mejores rendimientos.

Agradecimientos

Se agradece a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y a la Universidad de Nariño (UDENAR) por el desarrollo del proyecto «Mejoramiento de la oferta forrajera, optimización de sistemas de alimentación y aseguramiento de la calidad e inocuidad de la leche en el trópico alto de Nariño», financiado por el Sistema General de Regalías.

Tabla 7. Valores medios para las variables en los diferentes tratamientos en la época de bajas precipitaciones. Sapuyes.

Tratamiento	Altura, cm	Forraje verde, t ha ⁻¹	Materia seca, t ha ⁻¹	PB, %	FDN, %	FDA, %	Ca, %	P, %
T1	43,6 ^d	2,3 ^{cd}	0,3 ^{cd}	30,1	36,0	23,2 ^c	2,0 ^{bc}	0,3
T2	53,2 ^{ab}	3,6 ^{abcd}	0,5 ^{abcd}	29,8	36,4	23,9 ^{abc}	1,8 ^c	0,3
T3	45,9 ^{bcd}	3,8 ^{abcd}	0,6 ^{abcd}	30,3	40,1	25,9 ^a	1,8 ^c	0,4
T4	51,2 ^{abc}	4,6 ^{abc}	0,7 ^{abc}	29,9	40,0	25,6 ^{ab}	2,2 ^{abc}	0,4
T5	44,8 ^{cd}	2,7 ^{bcd}	0,4 ^{bcd}	29,6	37,6	24,7 ^{abc}	1,9 ^{bc}	0,3
T6	46,9 ^{abcd}	3,3 ^{abcd}	0,5 ^{abcd}	29,9	36,3	23,6 ^{abc}	2,0 ^{bc}	0,3
T7	47,7 ^{abcd}	4,1 ^{abc}	0,6 ^{abc}	29,2	37,9	24,3 ^{abc}	1,9 ^{bc}	0,4
T8	53,6 ^a	5,2 ^{ab}	0,8 ^{ab}	30,2	37,2	24,1 ^{abc}	2,5 ^a	0,4
T9	44,0 ^{cd}	1,5 ^d	0,2 ^d	28,5	37,4	25,2 ^{abc}	1,9 ^{bc}	0,3
T10	48,0 ^{abcd}	3,2 ^{abcd}	0,5 ^{abcd}	28,0	37,6	24,0 ^{abc}	2,1 ^{bc}	0,3
T11	47,8 ^{abcd}	2,8 ^{bcd}	0,4 ^{bcd}	28,6	39,2	23,5 ^{bc}	2,1 ^{abc}	0,3
T12	46,6 ^{abcd}	5,5 ^a	0,9 ^a	29,0	37,5	22,9 ^c	2,3 ^{ab}	0,3
EE ±	0,788	0,223	0,0365	0,002	0,005	0,002	0,0004	0,005
Valor - P	0,011*	0,025*	0,448	0,855	0,871	0,023	0,505	0,997
Fuente								
CD	48,5	3,6	0,5	30,0 ^a	38,1	24,7	1,9	0,4 ^a
CA	48,3	3,8	0,6	29,7 ^a	37,2	24,2	2,1	0,4 ^a
YA	46,6	3,3	0,5	28,5 ^b	37,9	23,9	2,1	0,3 ^b
EE ±	1,361	0,462	0,075	0,004**	0,012	0,004	0,001	0,000**
Valor - P	0,178	0,291	0,479	0,001	0,774	0,288	0,197	0,003
Dosis								
D1	41,1 ^b	2,2 ^c	0,3 ^c	29,4	37,0	24,4	1,9 ^b	0,3
D2	49,4 ^a	3,4 ^b	0,5 ^b	29,2	36,7	23,9	1,9 ^b	0,3
D3	47,1 ^{ab}	3,6 ^b	0,5 ^b	29,3	39,1	24,5	1,9 ^b	0,3
D4	50,4 ^a	5,1 ^a	0,8 ^a	29,7	38,2	24,2	2,3 ^a	0,3
EE ±	1,101***	0,365***	0,054***	0,003	0,012	0,003	0,000***	0,006
Valor - P	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,809	0,373	0,675	< 0,0005	0,471

*p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001

a, b, c: medias con letras diferentes en una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Tukey (p ≤ 0,05).

Dosis: D1-testigo sin fertilización, D2-dosis de aplicación según análisis químico de suelo (normal), D3- 1/2 D2 (dosis media) y D4: 1 (dosis alta)

Tratamientos: T1-cal dolomita + D1, T2-cal dolomita + D2, T3-cal dolomita + D3, T4-cal dolomita + D4, T5-cal agrícola + D1, T6-cal agrícola + D2, T7-cal agrícola + D3, T8-cal agrícola + D4, T9- yeso agrícola + D1, T10-yeso agrícola + D2, T11-yeso agrícola + D3 y T12-yeso agrícola + D4

Contribución de los autores

- Jose Libardo Lerma-Lasso. Desarrollo de la investigación, la redacción del borrador original y el análisis de los datos.
- Jenny Jackeline Zapata-Molina. Desarrollo de la investigación, la redacción del borrador original y el análisis de los datos.

- Harold Andres Chañag-Miramag. Desarrollo de la investigación, la redacción del borrador original y el análisis de los datos.
- Hernán Ojeda-Jurado. Desarrollo de la investigación y la redacción del borrador original.
- Diego Hernán Meneses-Buitrago. Redacción del borrador original y el análisis de datos.
- Hugo Ruiz-Eraso. Diseño de la metodología, la redacción, la revisión y la edición del manuscrito.
- Edwin Castro-Rincón. Diseño de la metodología, la redacción, la revisión y la edición del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses entre ellos.

Referencias bibliográficas

- Baquero-Peñuela, J.; Yacomelo-Hernandez, M. & Orduz-Rodriguez, J. Efecto del yeso sobre las características químicas de un Oxisol de la Orinoquia colombiana cultivado con lima ácida Tahiti. *Temas Agrarios*. 23 (2):154-163, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1299>.
- Berenji, S.; Moot, J.; Moir, J.; Ridgway, H. & Rafat, A. Dry matter yield, root traits, and nodule occupancy of lucerne and Caucasian clover when grown in acidic soil with high aluminium concentrations. *Plant Soil*. 416:227-241, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3203-3>.
- Calva, Carmen & Espinosa, J. Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*. 4 (1):110-120, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.505>.
- Capacho-Mogollón, A. E.; Flórez-Delgado, D. F. & Hoyos-Patiño, J. F. Biomasa y calidad nutricional de cuatro variedades de alfalfa para introducir en Pamplona, Colombia. *Ciencia y Agricultura*. 15 (1):61-67, 2018. DOI: <http://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7757>.
- Climate-Data.Org. *Clima: Pasto y Sapuyes*. Clima: Pasto y Sapuyes. Oedheim, Alemania. <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/colombia/narino/pasto-3811/>, 2020.
- Contreras, J. L.; Cordero, A. G.; Curasma, J.; Thimothée, J. A. & Del Solar, J. M. Influencia ambiental sobre el valor nutritivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en los Andes Peruanos. *Compend. cienc. vet.* 9 (1):7-14, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2019.09.01.07-14>.
- Corner-Thomas, R. A.; Cranston, Lydia M.; Kemp, P. D.; Morris, S. T. & Kenyon, P. R. The influence of three herbage types on the liveweight change of twin-bearing hoggets and their lambs. *New Zeal. J. Agr. Res.*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00288233.2018.1556165>.
- Damborg, V. K.; Stødtkilde, L.; Jensen, S. K. & Weisbjerg, M. R. Protein value and degradation characteristics of pulp fibre fractions from screw pressed grass, clover, and lucerne. *Anim. Feed Sci. Technol.* 244:93-103, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.08.004>.
- Damian-Suclupe, M. J.; Gonzáles-Veintimilla, F.; Quiñones-Paredes, P. & Terán-Iparraguirre, J. R. Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*. 25 (1):141-158, 2018. DOI: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25109>.
- López-Báez, W.; Urbina-Hernández, L. H.; Reynoso-Santos, R. & Martínez-Sánchez, J. Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*Coffea arabica* L.) en la reserva de la biósfera el Triunfo, Chiapas, México. *Agroproductividad*. 11 (4):55-60, 2018.
- Mendiburu, F. de. *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. Version 1.2-8. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html>. 2017.
- Miller, A. J. *Plant mineral nutrition*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- Mora-Salazar, J. S. *Adaptación de ocho variedades comerciales de alfalfa (Medicago sativa) sobre los 2 900 msnm en el sector de Pailones en la Hcda. El Prado*. Informe del proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agropecuario. Sangolquí, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ciencias Agropecuarias-IASA. "Grad. Carlomagno Andrade Paredes", 2005.
- Pérez-Vargas, G. P. *Evaluación de dos fuentes de calcio (cal agrícola, dolomita) con cuatro niveles, en el cultivo de alfalfa (Medicago sativa) en el Cantón Pillaro-provincia de Tungurahua en el 2015*. Tesis de grado presentada previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Latuncunga, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2016.
- R Core Team. *A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>, 2018.
- Rodríguez-Ramírez, M. R.; González-Sotelo, A.; Yáñez-Muñoz, A.; Silva-Luna, M. & Gómez-Escobar, C. I. *Composición química de recursos forrajeros para la alimentación de ovinos en Colima*. Colima, México: INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Tecmán, 2013.

Silva, J.; Santos, M.; Agra, R. da; Dimas, A.; Regio, C. & Canuto, L. dos. Composição bromatológica de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cv. “Crioula”, cultivada no sertão paraibano sob dois sistemas de plantio em diferentes idades de cortes. *XV Semana de Agronomia*. Brasil: Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2019.

Solarte, C. E. *Caracterización y evaluación genética de la población bovina lechera del trópico alto*

de Nariño, para la conformación de núcleos de selección. Pasto, Colombia: Producción y Sanidad Animal-Línea de Genética y Mejoramiento Animal, Universidad de Nariño, 2009.

Vázquez, Mabel E.; Terminiello, A.; Casciani, A. & Millán, G. Respuesta de la soja (*Glycine max* L. Merr) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ciencia del Suelo, Argentina*. 30 (1):43-45, 2012.