



La caliza fosfatada, mejorador del suelo y fuente de nutrientes para *Macroptilium Atropurpureum* cv. Siratro

Phosphate limestone, soil improver and nutrient source for *Macroptilium Atropurpureum* cv. Siratro

 Yúnior Pérez González^{1*},  Pedro José González Cañizares¹,  Juan Francisco Ramírez Pedroso²

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Carretera a Tapaste, km 31/2, San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba. CP-32700. Gaveta Postal No. 1.

²Centro de Plantas Proteicas y Productos Bionaturales (CIPB) Calle 5ta Av. y 246 Complejo Barlovento, Playa. La Habana, Cuba.

RESUMEN: La búsqueda de alternativas de fertilización para cultivos forrajeros a partir del uso de fuentes de nutrientes de producción nacional, constituye un imperativo para disminuir los costos de la producción de alimentos para los animales y reducir el uso de insumos externos. Basado en esta premisa, se realizó un experimento en condiciones semicontroladas, para conocer los efectos de la caliza fosfatada, un mineral de procedencia nacional, en la fertilidad del suelo, el estado nutricional y los rendimientos de *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro, cultivado en un suelo de baja fertilidad. Fueron evaluados cinco tratamientos (1 t ha⁻¹ cal, 50 kg ha⁻¹ P₂O₅, 1 t ha⁻¹ cal+ 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 1 t ha⁻¹ caliza fosfatada y un testigo sin cal y fósforo) en un diseño completamente aleatorizado. Se determinaron indicadores de la fertilidad del suelo, las concentraciones de macronutrientes en la biomasa, la efectividad de la nodulación y los rendimientos del cultivo. La caliza fosfatada redujo la acidez del suelo y aumentó su contenido de P asimilable. Su aplicación incrementó las concentraciones de N, P y Ca de la biomasa, el número y efectividad de los nódulos radicales y los rendimientos de biomasa aérea y radical de las plantas, con resultados similares a los que se obtuvieron con la cal y el fertilizante fosfórico. Se concluye que el uso de la caliza fosfatada constituye una alternativa agrónomicamente efectiva, para mejorar la fertilidad del suelo, reducir el uso de fertilizante fosfórico sintético y aumentar la productividad de *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro.

Palabras clave: estado nutricional, fertilidad del suelo, leguminosa forrajera, rendimiento.

ABSTRACT: The search for fertilization alternatives for forage crops based on the use of domestically produced nutrient sources is imperative to reduce the costs of animal feed production and to reduce the use of external inputs. Based on this premise, an experiment was conducted under semi-controlled conditions to determine the effect of phosphate limestone, a mineral of national origin, on soil fertility, nutritional status and yields of *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro, grown in a low fertility soil. Five treatments (1 t ha⁻¹ lime, 50 kg ha⁻¹ P₂O₅, 1 t ha⁻¹ lime+ 50 kg ha⁻¹ of P₂O₅, 1 t ha⁻¹ phosphate lime and a control without lime and phosphorus) were evaluated in a completely randomized design. Indicators of soil fertility, biomass macronutrient concentrations, nodulation effectiveness and crop yields were evaluated. Phosphate limestone reduced soil acidity and increased its assimilable P content. Its application increased biomass N, P and Ca concentrations, the number and effectiveness of root nodules, and plant aerial and root biomass yields, with results similar to those obtained with lime and phosphoric fertilizer. It is concluded that the use of phosphate limestone constitutes an agronomically effective alternative to improve soil fertility, reduce the use of synthetic phosphoric fertilizer and increase the productivity of *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro.

Key words: nutritional status, soil fertility, forage legume, yield.

*Autor para correspondencia. pyunior617@gmail.com

Recibido: 17/03/2025

Aceptado: 13/08/2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran la no existencia de conflictos de intereses para la publicación del artículo.

Contribución de los autores: Conceptualización, Investigación y Procesamiento de los datos y Escritura: Yúnior Pérez González.

Conceptualización, Investigación y Escritura: Pedro José González Cañizares. **Revisión y Edición Final:** Juan Francisco Ramírez Pedroso.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

La producción ganadera en Cuba se sustenta en el uso de los pastos y forrajes como fuentes principales de alimentos para los animales y ello conlleva la obtención de elevados volúmenes de biomasa con suficiente calidad, para satisfacer sus requerimientos nutricionales (1).

La calidad de los pastizales puede mejorarse mediante la inclusión de leguminosas en los potreros, las cuales, además de proporcionar una dieta mejor equilibrada en cuanto a energía y proteína, especialmente durante el período seco, son fuentes naturales de nitrógeno para el suelo (2). Es reconocido el aporte que hacen las leguminosas forrajeras a los pastizales por la fijación de nitrógeno atmosférico mediante la simbiosis entre las plantas y las bacterias del género *Rhizobium* y otras, resultando en un incremento de los contenidos de proteína en la dieta de los animales (3).

Entre las leguminosas forrajeras, se encuentra la especie *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro, muy aceptada por los rumiantes debido a su excelente calidad nutritiva (4). Su uso en asociación con gramíneas, como parte del componente herbáceo de los sistemas silvopastoriles o como banco de proteína, incrementa la calidad de la dieta de los animales y consecuentemente, sus indicadores productivos.

Aunque el siratro se cultiva en una amplia gama de suelos, se ha demostrado que la elevada acidez y la baja fertilidad limitan su crecimiento y desarrollo. En condiciones de suelos ácidos, su valor nutritivo como forraje disminuye considerablemente. Por otra parte, los bajos contenidos de fósforo del suelo reducen el crecimiento de las raíces y de la parte aérea, y también repercuten negativamente en la formación y efectividad de los nódulos donde se lleva a cabo la fijación biológica del nitrógeno (5). En estos casos, se necesita corregir tales deficiencias para que el cultivo pueda expresar su potencial productivo (4).

El encalado es la práctica agrícola más utilizada para corregir la acidez de los suelos y consecuentemente, elevar la productividad de los cultivos agrícolas (6), y en el caso del siratro, se ha demostrado su contribución a la mejora de su productividad y valor nutritivo (7). La fertilización fosfórica también ha sido una vía para mejorar los rendimientos y la persistencia de las leguminosas forrajeras, tanto en asociaciones con otros cultivos, como en bancos de proteína, en suelos muy deficientes de fósforo (8).

Pero tanto la aplicación de enmiendas como de fertilizantes sintéticos son actividades agrícolas costosas, sobre todo en el caso de los fertilizantes, los cuales deben ser importados y cuyos precios en el mercado internacional experimentan un aumento creciente. De este modo, la búsqueda de

fuentes locales de nutrientes como alternativa para mejorar la productividad de los cultivos forrajeros y a la vez, reducir el uso de insumos externos, constituye un desafío para la producción sostenible de alimentos para el ganado (9).

Basado en tales premisas, se realizó este trabajo con el objetivo de conocer los efectos de la caliza fosfatada, un mineral de procedencia nacional, en la fertilidad del suelo, el estado nutricional y los rendimientos de *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro, cultivado en condiciones semicontroladas, en un suelo ácido de baja fertilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se condujo en condiciones semicontroladas, en el área del invernadero del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en el municipio de San José de las Lajas, provincia de Mayabeque. Se estudiaron cinco tratamientos, conformados por las aplicaciones de 1 t ha⁻¹ de cal, 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 1 t ha⁻¹ de cal + 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 1 t ha⁻¹ de caliza fosfatada y un testigo sin ambas enmiendas ni fertilizante fosfórico, en un diseño completamente aleatorizado con seis repeticiones.

Se utilizaron macetas de plástico de 3.5 L de capacidad, previamente perforadas en el fondo para facilitar el drenaje, las cuales se llenaron con 3 kg de un suelo procedente de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Cascajal, ubicada a los 22° 39' de latitud norte y 80° 24' de longitud oeste, en el municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara. El suelo se clasificó como Gleysol Nodular Ferruginoso petroférrico (9,10) y sus principales características químicas, a la profundidad de 0-20 cm, se presentan en la [Tabla 1](#).

El suelo poseía una elevada acidez, caracterizada por un pH fuertemente ácido, altos valores de acidez intercambiable (H⁺ + Al³⁺) y muy bajo porcentaje de saturación por bases (V), así como bajo contenido de materia orgánica y muy bajos de fósforo asimilable y cationes intercambiables (11).

Procedimiento para el llenado de las macetas y aplicación de los tratamientos

Para el llenado de las macetas, se tomó el suelo a una profundidad de 0-20 cm y se tamizó con malla de 5 mm. En los tratamientos con cal y caliza fosfatada, ambos materiales se aplicaron a razón de 1.5 g por maceta, para una dosis equivalente a 1 t ha⁻¹, y en aquellos donde se aplicó fertilizante fosfórico, se adicionó 75 mg de P₂O₅ por maceta, para una dosis equivalente a 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹, mediante el uso de superfosfato triple como portador.

Tabla 1. Características químicas del suelo utilizado en el experimento (profundidad: 0-20 cm)

pH H ₂ O	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	Bases intercambiables					H ⁺ + Al ³⁺	V (%)
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIB		
			(cmol _c kg ⁻¹)						
4.8	2.52	5.5	3.32	1.12	0.05	0.1	4.59	4.33	51
(0.2)	(0.17)	(0.6)	(0.3)	(0.1)	(0.01)	(0.02)	(0.31)	(0.33)	

MO: materia orgánica; CIB: capacidad de intercambio de bases; H⁺ + Al³⁺: acidez intercambiable; V: saturación por bases. Valores entre paréntesis indican amplitud del intervalo de confianza de las medias ($\alpha = 0.05$)

Todos los tratamientos recibieron fertilización potásica de fondo, a razón de 150 mg de K_2O por maceta, equivalente a 100 kg ha^{-1} , para la cual se utilizó el cloruro de potasio como portador.

La cal utilizada en el experimento procedía del yacimiento ubicado en Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, y tenía un contenido de 95% de $CaCO_3$; la caliza fosfatada, del yacimiento ubicado en Loma de Candela, en el municipio de Güines, también en la provincia de Mayabeque, y tenía un contenido de 65 % de $CaCO_3$ y un 11.5 % de P_2O_5 . Ambos yacimientos pertenecen a la Unidad Empresarial de Base (UEB) "Roberto Coco Peredo", de la Empresa Geominera de Occidente, y para su aplicación, fueron previamente tamizados con malla de 0.25 mm.

Tanto los materiales encalantes como los fertilizantes minerales, fueron íntimamente mezclados con el suelo al momento del llenado de las macetas; posteriormente se regaron cada tres días para mantener el suelo a un 80 % de la capacidad de campo y garantizar su reacción con el suelo. Los riegos se mantuvieron durante el período que duró el experimento.

Siembra e inoculación de las semillas

La siembra se realizó a los 15 días después de la aplicación de los materiales encalantes y los fertilizantes minerales. Se colocaron cinco semillas de siratro (*Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro) con un 80 % de germinación, en un orificio de 0.5 cm de profundidad que se abrió en el centro superior del suelo de cada maceta, y posteriormente fueron cubiertas con el propio suelo. En todos los tratamientos las semillas fueron asperjadas al momento de la siembra con un inoculante líquido producido en el INCA, que contenía un aislado de rizobio con una concentración de 10^9 ufc mL^{-1} , previamente seleccionado por su alta eficiencia para promover el crecimiento del siratro (12). A cada maceta se le colocó un tutor de madera de 50 cm de altura, para garantizar el crecimiento vertical de las plantas, dado su hábito de crecimiento rastrero.

Muestreos y mediciones

Se realizaron dos cortes, el primero, a los 40 días después de la siembra a una altura de 5 cm de la superficie y el segundo a ras del suelo de las macetas, a los 35 días después del primero. En ambos se pesó la masa verde de la parte aérea con una balanza de 0.01 g de precisión, y se llevó a una estufa de circulación de aire a 70 °C durante 72 horas, para determinar el porcentaje de masa seca (MS), el rendimiento de MS y las concentraciones de N, P K y Ca de la biomasa, según las técnicas establecidas en el laboratorio de análisis de suelo y plantas del INCA (13).

En el segundo corte se pesaron la masa verde de las raíces, y mediante el procedimiento descrito anteriormente, se determinó el rendimiento de la MS de este órgano. Antes de llevar las muestras de raíces a la estufa, en cada maceta se procedió a realizar el conteo de nódulos en las raíces cuidadosamente lavadas, junto con la observación

cualitativa de su tonalidad interna; para ello se tomaron al azar 10 nódulos por maceta, cuya efectividad se determinó observando mediante un corte transversal su coloración interna. Se consideraron efectivos aquellos que poseían una coloración roja a rosada, por evidenciar presencia de leghemoglobina (14).

En el área donde se extrajo el suelo para el llenado de las macetas, se tomaron diez muestras de suelo a la profundidad de 0-20 cm por el método del zigzag para su caracterización química inicial; después del último corte, se extrajo una muestra de suelo de cada maceta. Las determinaciones y los métodos analíticos utilizados fueron el pH en H_2O (potenciometría, relación suelo-agua 1:2.5), y los contenidos de materia orgánica (Walkley y Black), P asimilable (extracción con H_2SO_4 0.5 mol L^{-1} y determinación colorimétrica), bases intercambiables (extracción con NH_4Ac 1 mol L^{-1} pH 7 y determinación por titulación con EDTA para Ca y Mg y fotometría de llama para Na y K), capacidad de intercambio de bases (CIB) mediante la suma de bases intercambiables, acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$) a partir de la extracción con KCl 1 mol L^{-1} y titulación y el porcentaje de saturación por bases (V) mediante el cálculo: $CIB / (CIB + (H^+ + Al^{3+}) / 100$. En todos los casos se utilizaron las técnicas establecidas en el laboratorio de suelos y plantas del INCA (13).

Procesamiento estadístico

Los datos, una vez comprobados la normalidad y homogeneidad de varianzas, se procesaron mediante el análisis de varianza de clasificación simple, de acuerdo con el diseño experimental empleado, y en los casos en que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Para la caracterización inicial del suelo se utilizó en intervalo de confianza de las medias ($\alpha = 0.05$) como estadígrafo de dispersión. En todos los casos los datos se procesaron con el programa estadístico SPSS versión 25 (15).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 2](#) se presenta la influencia de los tratamientos en algunas características químicas del suelo, transcurridos 90 días de la aplicación de la cal y la caliza fosfatada. Se observó un efecto significativo de la cal y el fertilizante fosfórico en los contenidos de Ca intercambiable y fósforo asimilable, respectivamente, y en el caso de la cal, aumentos del pH y disminución de la acidez intercambiable.

La influencia de la cal en la disminución de la acidez puede atribuirse al aporte de Ca del material encalante y consecuentemente, al desplazamiento de los iones H^+ desde los sitios de intercambio catiónico hacia la solución del suelo. Se conoce que los mecanismos de reacción de las enmiendas calcáreas neutralizan los iones H^+ en la solución del suelo por medio de los iones OH^- que se producen al entrar la cal en contacto con el agua, dando como resultado la reducción de la acidez (12, 16).

Tabla 2. Efecto de la cal, la fertilización fosfórica y la caliza fosfatada en las características químicas del suelo a los 90 días después de la aplicación de los tratamientos

Tratamientos	MO (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	pH H ₂ O	H + Al	Ca	Mg	K
				(cmol _c kg ⁻¹)			
Testigo	25.8	5.1 b	4.7 d	3.57 a	3.52 b	1.15	0.21
Cal	26.1	5.3 b	5.8 b	2.17 b	4.79 a	1.17	0.23
50 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	25.6	6.9 a	4.9 d	3.53 a	3.55 b	1.16	0.21
Cal + 50 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	26.0	6.8 a	6.0 a	2.18 b	4.81 a	1.19	0.23
Caliza fosfatada	25.9	7.2 a	5.9 a	2.15 b	4.88 a	1.17	0.22
ES ±	1.5	0.1	0.1	0.20	0.32	0.12	0.04
Valor P	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.32

Promedios con letras distintas en la misma columna difieren significativamente según prueba de Tukey (P<0.05)

El efecto del fertilizante fosfórico en el aumento del contenido de P asimilable se atribuye a los bajos contenidos iniciales de este elemento en el suelo y a la dosis aplicada mediante la fertilización, hecho que también ha sido demostrado en condiciones de suelos ácidos, con la aplicación de cantidades de P que exceden su capacidad de fijación de fosfatos (17).

La caliza fosfatada produjo efectos similares a los observados con la aplicación de cal, tanto en el aumento del pH y el contenido de Ca intercambiable, como en la disminución de la acidez intercambiable, lo que también se explica por el aporte de Ca y su influencia en la reducción de la acidez del suelo. De igual modo, produjo incrementos en los contenidos de fósforo asimilable en el suelo, similares a los obtenidos con la fertilización fosfórica, en correspondencia con su aporte de P.

Como pudo observarse, la caliza fosfatada resultó igualmente efectiva que la cal, que es el material encalante que más ha sido utilizado en Cuba, para reducir la acidez del suelo. El incremento del contenido de fósforo asimilable del suelo que se observó en el tratamiento donde se aplicó la caliza fosfatada, se atribuye al contenido de este nutriente en el material encalante, como se señaló anteriormente, y a la propia acidez del suelo. El fósforo contenido en la caliza fosfatada se encuentra en forma no asimilable para las plantas; sin embargo, el contenido de H⁺ presente en la solución del suelo pudo haber contribuido a la solubilización del P, haciéndolo asimilable para las plantas (18).

En este sentido, algunos autores (19), al utilizar la caliza fosfatada como fuente de fósforo para el cultivo del café en suelos con diferentes grados de acidez, observaron que el aumento del contenido de fósforo asimilable fue mayor en aquellos cuyos valores de pH fueron inferiores a 6.

Los tratamientos no influyeron en los contenidos de materia orgánica, K y Mg intercambiables del suelo debido, en el primer caso, a que en ninguno de ellos se aplicaron fuentes orgánicas, y en el segundo, aunque no se dispone de datos sobre los contenidos de ambos nutrientes en los materiales encalantes, se presume que, en caso de estar presentes, no fueron en cantidades suficientes para producir un aumento en el suelo, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por otros autores al utilizar enmiendas minerales con bajos contenidos de ambos elementos (20).

Los resultados de la Tabla 3 indican el efecto de los tratamientos en las concentraciones de nutrientes en la biomasa de la parte aérea. En el primer corte, la aplicación del fertilizante fosfórico, solo o acompañado de la cal, produjo un aumento significativo de las concentraciones de N y P; sin embargo, la cal sola y la caliza fosfatada no tuvieron efectos en estos indicadores. Los tratamientos no influyeron en las concentraciones de Ca.

En el segundo corte, los tratamientos tuvieron un comportamiento diferente, pues a diferencia del primero, con la aplicación de la caliza fosfatada se encontró un aumento en las concentraciones de N y P, similares a las que se alcanzaron en aquel donde se aplicó la cal acompañada del fertilizante fosfórico.

Tabla 3. Efectos de la cal, la fertilización fosfórica y la caliza fosfatada en las concentraciones de nutrientes en la biomasa de la parte aérea del siratro

Tratamientos	Concentraciones de nutrientes en la biomasa (g kg ⁻¹)					
	Primer corte			Segundo corte		
	N	P	Ca	N	P	Ca
Testigo	30.9 b	1.7 b	15.9	30.1 c	1.7 b	15.9 b
Cal	31.1 b	1.9 b	16.1	32.9 b	1.9 b	20.5 a
50 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	33.8 a	2.4 a	15.7	32.7 b	2.3 a	15.7 b
Cal + 50 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	33.5 a	2.5 a	16.3	36.1 a	2.4 a	20.8 a
Caliza fosfatada	31.3 b	1.8 b	15.8	35.5 a	2.3 a	21.1 a
ES	0.4	0.1	0.4	0.4	0.1	0.4
Valor P	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00

Promedios con letras distintas en la misma columna difieren significativamente según prueba de Tukey (P<0.05)

La cal y el fertilizante fosfórico aplicados de forma independiente, también incrementaron las concentraciones de N en la biomasa, pero sus efectos fueron menores a los observados en los tratamientos donde ambos se aplicaron de manera conjunta. La caliza fosfatada produjo aumentos en las concentraciones de Ca, semejantes a las que se alcanzaron con las aplicaciones de cal debido probablemente, al aporte de este nutriente al suelo, como se pudo observar en la [Tabla 2](#).

Varios aspectos merecen destacarse al evaluar los efectos de los tratamientos en las concentraciones de nutrientes en la biomasa, a partir de los resultados de ambos muestreos. A diferencia de la fertilización fosfórica, cuyos efectos se observaron desde el primer corte debido a que este nutriente se aplicó de forma asimilable para las plantas, la influencia de la cal y la caliza fosfatada en el aumento de las concentraciones de N, P y Ca en la biomasa no se observó hasta el segundo corte.

Ello indicó que ambas enmiendas minerales, que aportan nutrientes en formas no disponibles para las plantas y cuya solubilización ocurre lentamente ([20](#)), necesitaron un tiempo de interacción con el suelo, para mejorar el estado nutricional de las plantas. Debe tenerse en cuenta que, aunque los materiales calizos se mezclaron con el suelo quince días antes de la siembra del siratro y las macetas se mantuvieron humedecidas para garantizar su previa reacción con el suelo, el primer corte se realizó a los 40 días después de la siembra y al parecer, este tiempo no fue suficiente para que ambos produjeran un incremento en las concentraciones de nutrientes en la biomasa de la parte aérea de las plantas.

Sin embargo, el segundo corte se realizó a los 35 días después del primero, de modo que ya habían transcurrido 90 días de su aplicación y consecuentemente, un tiempo de reacción que, en las condiciones en que se realizó este trabajo, garantizó una mayor efectividad en el estado nutricional de las plantas, a partir de sus efectos en el suelo, tal como se pudo apreciar en la [Tabla 2](#).

Algunos autores ([21](#)) recomiendan la aplicación de la cal con tiempo suficiente de antelación a la siembra del cultivo, sobre todo en aquellos de ciclo corto, para garantizar una interacción efectiva con el suelo, y su mayor efectividad agronómica.

El efecto de la fertilización fosfórica en el aumento de las concentraciones de N en la biomasa pudiera atribuirse al papel del P y en el transporte de los productos de la fotosíntesis desde las hojas hacia las raíces, donde ocurre la

fijación biológica del N, y en el movimiento de los compuestos que contienen N, desde los nódulos hacia los sitios de crecimiento de las plantas, para la formación de nuevos tejidos ([22](#)).

De igual modo, la influencia de la cal en el aumento del contenido de N de la biomasa, pudiera estar relacionada con una mejora del proceso de fijación biológica del N, pues se conoce que la simbiosis rizobio-leguminosa se restringe en suelos muy ácidos, y que con el encalado las plantas pueden fijar una mayor cantidad de N atmosférico, gracias al adecuado desarrollo de las bacterias que intervienen en este proceso ([23](#)).

Pero el hecho de que las mayores concentraciones de N en la biomasa se hayan alcanzado en los tratamientos donde se aplicó cal y P de manera conjunta o caliza fosfatada, indicó la necesidad de que el encalado vaya acompañado de un adecuado suministro de P para favorecer la nutrición nitrogenada del siratro. Por otra parte, el efecto de la caliza fosfatada en aumento de las concentraciones de Ca y P en la biomasa que se observaron en el segundo corte, confirma que esta enmienda puede ser utilizada como fuente de ambos nutrientes para las plantas, lo cual coincide con los resultados obtenidos en otros trabajos ([24](#)), y concuerda con los efectos de su aplicación en el incremento de los contenidos de Ca y P del suelo.

Al analizar el comportamiento de la nodulación del siratro, se observó que tanto el número de nódulos como la efectividad de la nodulación fueron mayores en los tratamientos donde se aplicaron la cal y el fertilizante fosfórico conjuntamente, y la caliza fosfatada ([Tabla 4](#)). Cuando solo se adicionó cal o fertilizante fosfórico, también se produjo un aumento en ambos indicadores, pero su efecto fue significativamente menor que con los tratamientos anteriores.

Estos resultados demostraron que, aunque el siratro se inoculó con una cepa eficiente de rizobio al momento de la siembra, fue necesario corregir la acidez del suelo y garantizar un suministro de fósforo, ya sea mediante la aplicación del fertilizante sintético o de la caliza fosfatada, para mejorar la efectividad de la nodulación, cuyo efecto también se reflejó en las concentraciones de N en la biomasa de la parte aérea de las plantas.

Tanto el encalado como la fertilización fosfórica, favorecen el proceso de nodulación de las leguminosas forrajeras ([25](#)), lo cual se pudo comprobar en los tratamientos que recibieron los beneficios de estas enmiendas.

Tabla 4. Efectos de la cal, la fertilización fosfórica y la caliza fosfatada en el comportamiento de la nodulación en siratro

Tratamientos	Nódulos por maceta	Efectividad de nodulación (%)
Testigo	18.72 d	63 d
Cal	23.51 c	74 c
50 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	32.83 b	85 b
Cal + 50 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	45.45 a	96 a
Caliza fosfatada	44.31 a	97 a
ES ±	1.4	2.9
Valor P	0.00	0.00

Promedios con Letras distintas en la misma columna difieren significativamente, según prueba de Tukey (p < 0,05)

Tabla 5. Efectos de la cal, la fertilización fosfórica y la caliza fosfatada en el rendimiento (g maceta⁻¹) de biomasa de la parte aérea (MSPA), radical (MSR) y total (MST) del siratro

Tratamientos	Primer corte		Segundo corte	
	MSPA	MSPA	MSR	MST
Testigo	3.31 b	4.12 d	4.07 d	8.20 d
Cal	3.55 b	5.59 c	5.19 c	10.77 c
50 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	5.62 a	6.73 b	6.41 b	13.14 b
Cal + 50 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	5.59 a	7.91 a	7.69 a	15.60 a
Caliza fosfatada	3.47 b	7.93 a	7.72 a	15.65 a
ES ±	0.20	0.25	0.23	0.31
Valor P	0.00	0.00	0.00	0.00

MST (MSPA + MSR del segundo corte). Promedios con letras distintas en la misma columna difieren significativamente, según prueba de Tukey ($p < 0,05$)

La corrección de la acidez provoca un aumento de la actividad microbiana, la cual, en el caso de los rizobios, se traduce en un incremento del número y la efectividad de los nódulos y consecuentemente, en una mayor eficiencia del proceso de fijación del nitrógeno atmosférico (26). También se han demostrado los efectos positivos de la fertilización fosfórica en la nodulación del siratro (3).

El efecto de los tratamientos en el rendimiento de biomasa del siratro se presenta en la **Tabla 5**. La biomasa de la parte aérea en momento del primer corte tuvo un comportamiento similar al que se observó en las concentraciones de nutrientes en la biomasa en ese momento; es decir, sólo se encontraron aumentos significativos con la aplicación del fertilizante fosfórico, y ello indicó que el siratro cultivado en un suelo con muy bajo contenido de P, puede necesitar un suministro de este nutriente desde los primeros estadios.

En el segundo corte, donde era evidente ya era evidente la influencia positiva de la aplicación de los materiales encalantes en el suelo y el estado nutricional de las plantas, según los resultados de las **Tablas 2 y 3**, se observó que, aunque la cal y la fertilización fosfórica aplicadas de forma independiente incrementaron la producción de biomasa, los mayores efectos se obtuvieron con la cal acompañada de la fertilización fosfórica y con la caliza fosfatada, sin diferencias significativas entre ambos tratamientos, dejando claro que el uso de la caliza fosfatada como fuente de Ca y P puede contribuir a mejorar la productividad del siratro

CONCLUSIONES

El uso de la caliza fosfatada constituye una alternativa agronómicamente efectiva para corregir la acidez e incrementar los contenidos de calcio y fósforo asimilable del suelo. Su aplicación mejora el estado nutricional y los rendimientos del siratro, y produce efectos similares a los que se obtienen con el encalado a partir del carbonato de calcio y el fertilizante fosfórico sintético. Se recomienda corroborar en condiciones de campo los resultados obtenidos en este experimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Soto Senra, S. A., Guevara Viera, R. V., & Guevara Viera, G. E. Uso estratégico de la base forrajera en la producción estacional de leche bovina en la zona centro-oriental de Cuba. *Revista de Producción Animal*, (2020). 32(3), 120-132.) Available from: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3668>.
- Rincón-Castillo, A. & Villalobos, Mayra. Producción animal en pasturas de tres leguminosas asociadas con *Urochloa decumbens* en los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 2021. 9 (2):192-205. Available from: [https://doi.org/10.17138/TGFT\(9\)192-205](https://doi.org/10.17138/TGFT(9)192-205).
- Orellana Chirinos, J. A. Trébol blanco (*Trifolium repens*) y roca fosfatada como estrategia de mejora del valor nutritivo de las praderas altoandinas (Internet). Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Agraria La Molina Escuela de posgrado Lima- Perú, 2023. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5972>.
- Kumar, S., Sharma, S.K., Thakral, S.K., Bhardwaj, K.K., Jhariya, M.K., Meena, R.S., Jangir, C.K., Bedwal, S., Jat, R.D., Gaber, A., Atta, A.A. Integrated nutrient management improves the productivity and nutrient use efficiency of *Lens culinaris* Medic. *Sustainability*, 2022. 14 (3), 1284. Available from: <https://doi.org/10.3390/su14031284>.
- Zabala, J. M., Marinoni, L. R., Zuber, N., Fornasero, L., & Pensiero, J. F. Characterization of modulation capacity with native rhizobia in germplasm of underutilized forage species of *Macroptilium* (Benth.) Urb. *Research Square*. (2023). Available from: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3627641/v1>.
- Kryzevicius, Z., Karcauskiene, D., Álvarez-Rodríguez, E., Zukauskaitė, A., Slepetiene, A., & Volungevicius, J. The effect of over 50 years of liming on soil aluminium forms in a Retisol. *The Journal of Agricultural Science*, (2019). 157(1), 12-19. Available from: <https://doi.org/10.1017/S0021859619000194>.
- Dixon, M., Simonne, E., Obreza, T., & Liu, G. Crop Response to Low Phosphorus Bioavailability with a Focus on Tomato. *Agronomy*, (2020). 10(5), 617. Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy10050617>.
- Rama, G., et al. Legume overseeding along with P fertilization increase forage production of temperate natural grasslands. *Agronomy*, (2022). 12(10), 2507. Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102507>.
- Hernández, J. A., Pérez, J. J. M., Bosch, I. D., & Castro, S. N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones-INCA. (2015). Available from: https://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/clasificacion-sueloscuba_%202015.pdf

10. Del Ángel-Lozano, G., Escalona-Aguilar, M. A., Baca del Moral, J., & Cuevas-Reyes, V. Principios y prácticas agroecológicas para la transición hacia una ganadería bovina sostenible. Revisión. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, (2023). 14(3), 6287. Available from: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6287>
11. Paneque, V. M., & Calaña, J. M. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación. La Habana, Cuba: Ediciones INCA, (2001).
12. Hernández Forte, I., Nápoles García, M. C., & Morales Mena, B. Caracterización de aislados de rizobios provenientes de nódulos de soya (*Glycine max* (L.) Merrill) con potencialidades en la promoción del crecimiento vegetal. Cultivos Tropicales, (2015). 36(1), 65-72. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193237111008>
13. Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T. & Caruncho, M. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 2010. Available from: https://ediciones.inca.edu.cu/files/folletos/folleto_suelos.pdf
14. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Les inoculums de légumineuses et leurs applications. (1985). Roma.
15. IBM, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), Version 25, 2017. Chicago, Illinois, U.S.A.
16. Ejigu, W., Selassie, Y. G., Elias, E., & Molla, E. Effect of lime rates and method of application on soil properties of acidic Luvisols and wheat (*Triticum aestivum*, L.) yields in northwest Ethiopia. Heliyon, (2023). 9(3). Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13988>
17. Ibrahim, M., Iqbal, M., Tang, Y.-T., Khan, S., Guan, D.-X., & Li, G. Phosphorus mobilization in plant-soil environments and inspired strategies for managing phosphorus: A review. Agronomy, (2022). 12(2399). Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy12122399>
18. Mwangi, E., Ngamau, C., Wesonga, J., Karanja, E., Musyoka, M., Matheri, F., & Adamtey, N. Managing phosphate rock to improve nutrient uptake, phosphorus use efficiency, and carrot yields. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, (2020). 20, 1350-1365. Available from: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00217-x>
19. Díaz-Poveda, V. C., & Sadegian, S. Eficiencia de enmiendas utilizadas como correctivos de la acidez del suelo en el cultivo del café en Colombia. Revista Cenicafe, (2022). 73(1), e73103-e73103. Available from: <http://dx.doi.org/10.38141/10778/73103>
20. Enesi, R. O., Dyck, M., Chang, S., Thilakarathna, M. S., Fan, X., Strelkov, S., & Gorim, L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability - a meta-analysis. Frontiers in Agronomy, (2023). Available from: <https://doi.org/10.3389/fragr.2023.1194996>
21. Dereje, G., Tamene, D., & Anbesa, B. Effect of lime and phosphorus fertilizer on acid soil properties and sorghum grain yield and yield components at Assosa in Western Ethiopia. World Research Journal of Agricultural Sciences, (2019). 6(2), 167-175. Available from: https://www.researchgate.net/publication/361553631_Effect_of_Lime_and_Phosphorus_Fertilizer_on_Acid_Soil_Properties_and_Sorghum_Grain_Yield_and_Yield_Components_at_Assosa_in_Western_Ethiopia_Effect_of_Lime_and_Phosphorus_Fertilizer_on_Acid_Soil_Properties
22. Tomić, D., Dalibor, T., Vladeta, S., Dragan, Đ., Nikola, B., Branka, P., & Knežević, J. Forage yield of a grass-clover mixture on an acid soil in the third year after soil liming. (2022). Available from: <http://dx.doi.org/DOI:%2010.5513/JCEA01/19.2.2149>
23. Barrios, M. L. La simbiosis rizobio-leguminosa. Árboles fijadores de nitrógeno y su importancia en los ecosistemas. XIX jornada forestales de Gran Canaria Universidad de la Laguna, (2020). 2-3. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12285/mdcte/4178>
24. Lasteros Cáceres, N. R. Efecto comparativo entre el silicato di-tricálcico con la cal agrícola, dolomita y roca fosfórica en la corrección de pH en suelos ácidos de Madre de Dios (Internet). Tesis de Pregrado Puerto Maldonado, 2022. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.14070/878>
25. Mitsuta, A., Lourenço, K. S., Chang, J., Ros, M., Schils, R., Uchida, Y., & Kuramae, E. E. Liming enhances the abundance and stability of nitrogen-cycling microbes: The buffering effect of long-term lime application. Biology and Fertility of Soils. (2025). Available from: <https://doi.org/10.1007/s00374-025-01889-2>
26. Souza, A., Lira, T., Félix, A., Fracetto, F., Fracetto, G., & Lira Junior, M. Biological nitrogen fixation stability of cowpea cultivars with tropical semi-arid rhizobial strains. Revista Caatinga, (2021). 34, 359-369. Available from: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n212rc>