

Response of different *Urochloa* pastures to liming, cultivated in Sabana de Manacas region, Cuba

Respuesta al encalado de pastos del género *Urochloa*, cultivados en la región Sabana de Manacas, Cuba

J. F. Ramírez Pedroso¹, P. J. González Cañizares², R. Rivera Espinosa² and A. Hernández Jiménez²

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Villa Clara. Crucero Digna, Cascajal, Santo Domingo. Villa Clara, Cuba

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Gaveta Postal No. 1, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba

Email: ramirez@pastos.vcl.minag.cu

J. F. Ramírez Pedroso: <https://orcid.org/0000-0003-3384-3904>

Pedro J. González Cañizares: <https://orcid.org/0000-0003-3206-0609>

R. Rivera Espinosa: <https://orcid.org/0000-0001-6621-7446>

A. Hernández Jiménez: <https://orcid.org/0000-0002-6138-0620>

The response of four pasture species to liming, cultivated in a ferruginous nodular gley soil (plintisol) from Sabana de Manacas region, Cuba, was evaluated. Four doses of lime (0, 2, 4 and 6 t ha⁻¹ of CaCO₃) were studied in *Urochloa brizantha* cv. Marandú, *Urochloa decumbens* cv. CIAT-602, *Urochloa hybrid* cv. Mulato II and *Urochloa hybrid* cv. Yacaré, in a random block design with factorial arrangement and four replications. The experiment lasted three years and the variables that characterized soil acidity were evaluated, as well as the concentrations of biomass macronutrients and yields. Liming significantly increased ($P < 0.01$) exchangeable Ca content (6.1 cmolc kg⁻¹), pH in H₂O (6.9), cation exchange capacity (7.3 cmolc kg⁻¹) and the percentage of base saturation (94 %), and the exchangeable acidity of soil decreased (0.91 cmolc kg⁻¹). The best effects were achieved with the dose of 6 t ha⁻¹. With 4 and 6 t ha⁻¹, the highest Ca concentrations ($P < 0.01$) in the biomass (5.5 g kg⁻¹ of dry mass) and the highest yields (up to 11.7 t ha⁻¹) were obtained. The effectiveness of liming was maintained for two years. It is concluded that liming improves calcium nutrition and increases productivity of pastures of *Brachiaria* genus, cultivated in an acid soil with low fertility, in Sabana de Manacas region. Its greatest effects on soil and yields are maintained during the first two years. The application of 4 ha⁻¹ of lime is recommended.

Keywords: soil acidity, liming, forage species, forage yield

Acidity and low fertility of soils are limiting factors for the production of pastures and forages (Dos Santos *et al.* 2016). In Cuba, according to data from the Ministry of Agriculture, cited by Lok (2015), 26 and 46 % are acid soils with low fertility, represented in a significant number of livestock enterprises in the country, and affected, in that order, by both factors. This problem is even more notable when analyzed per region.

Sabana de Manacas geographical region, located in the central area of Cuba, is very important for livestock production of that territory. It has soils of light texture, low natural fertility and high acidity (Hernández *et al.* 2015). Under these edaphic conditions, pastures become not very productive and deteriorate rapidly, which causes the appearance of invasive plants with

Se evaluó la respuesta al encalado de cuatro especies de pastos, cultivados en un suelo gley nodular ferruginoso (plintisol) de la región Sabana de Manacas, Cuba. Se estudiaron cuatro dosis de cal (0, 2, 4 y 6 t ha⁻¹ de CaCO₃) en *Urochloa brizantha* cv. Marandú, *Urochloa decumbens* cv. CIAT-602, *Urochloa híbrido* cv. Mulato II y *Urochloa híbrido* cv. Yacaré, en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial y cuatro réplicas. El experimento duró tres años y se evaluaron las variables que caracterizan la acidez del suelo, así como las concentraciones de macronutrientes en la biomasa y los rendimientos. El encalado aumentó significativamente ($P < 0.01$) el contenido de Ca intercambiable (6.1 cmolc kg⁻¹), el pH en H₂O (6.9), la capacidad de intercambio de bases (7.3 cmolc kg⁻¹) y el porcentaje de saturación por bases (94 %), y disminuyó la acidez intercambiable del suelo (0.91 cmolc kg⁻¹). Los mayores efectos se alcanzaron con la dosis de 6 t ha⁻¹. Con las aplicaciones de 4 y 6 t ha⁻¹ se obtuvieron las concentraciones más altas ($P < 0.01$) de Ca en la biomasa (5.5 g kg⁻¹ de masa seca) y los más altos rendimientos (hasta 11.7 t ha⁻¹). La efectividad del encalado se mantuvo durante dos años. Se concluye que el encalado mejora la nutrición cálcica y aumenta la productividad de pastos del género *Brachiaria*, cultivados en un suelo ácido y de baja fertilidad, de la región Sabana de Manacas. Sus mayores efectos en el suelo y los rendimientos se mantienen durante los dos primeros años. Se recomienda la aplicación de 4 ha⁻¹ de cal.

Palabras clave: acidez del suelo, encalado, especies forrajeras, rendimiento de forraje

La acidez y la baja fertilidad de los suelos constituyen factores limitantes para la producción de pastos y forrajes (Dos Santos *et al.* 2016). En Cuba, según datos del Ministerio de la Agricultura, citados por Lok (2015), 26 y 46 % son suelos ácidos y de baja fertilidad, representados en un número importante de empresas ganaderas del país, y afectados en ese orden por ambos factores. Este problema resulta más notable aún, cuando se analiza por regiones.

La región geográfica Sabana de Manacas, ubicada en la zona central de Cuba, de gran importancia para la producción ganadera de ese territorio, posee suelos de textura ligera, baja fertilidad natural y elevada acidez (Hernández *et al.* 2015). En estas condiciones edáficas, los pastos se vuelven poco productivos y se deterioran rápidamente, lo que origina la aparición de plantas invasoras de escaso valor nutritivo para la alimentación

little nutritional value for animal feeding (Pereira *et al.* 2018). Given these conditions, the application of technologies for their improvement constitutes a first order need to increase the productivity of pastures and extend their useful life.

Liming is the most used agricultural practice to correct soil acidity and, consequently, increase productivity of agricultural crops (Kryzevicius *et al.* 2019). However, pasture response to this labor has not been consistent, since, in some cases, lime applications have not been effective (Magalhães *et al.* 2017 and Pereira *et al.* 2018), and in others, its effect has been evident, even in species and cultivars tolerant to acidity and the presence of high levels of exchangeable aluminum in the soil (Biazatti *et al.* 2020).

The foregoing reinforces the argument that the response to liming may be related not only to the correction of acidity, but to its influence on nutrient availability in soil and with the species or cultivar of grass (Araújo *et al.* 2018 and Holland *et al.* 2018).

Based on these premises, the objective of this study was to evaluate the response of four species of *Urochloa* genus to liming, which are grown in an acidic soil with low fertility of Sabana de Manacas geographical region.

Materials and Methods

The experiment was carried out at Cascajal Pasture and Forage Station, located at 22° 39' 44" North and 80° 29' 36" West, in the Sabana de Manacas geographical region, Villa Clara province, Cuba, in a petroferric ferruginous nodular gley soil (Hernández *et al.* 2015), classified as stagnic fractipetric plintisol, according to the World Reference Base for Soil Resources (IUSS 2007). Table 1 shows its main chemical characteristics.

It is a highly acid soil, characterized by a strongly acid pH, high values of exchangeable acidity ($H^+ + Al^{3+}$) and a very low percentage of base saturation (V), as well as a low content of organic matter and very low amount of assimilable phosphorus and exchangeable cations (Paneque and Calaña 2001).

Rainfall performance during the experimental period is shown in figure 1

Four doses of lime (0, 2, 4 and 6 t ha⁻¹ of CaCO₃) were evaluated in the pasture species *Urochloa brizantha* cv. Marandú, *Urochloa decumbens* cv. CIAT 606, *Urochloa hybrid* cv. 36087 (Mulato II) and

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 55, Number 2, 2021 animal (Pereira *et al.* 2018). Ante estas condiciones, la aplicación de tecnologías para su mejora constituye una necesidad de primer orden para elevar la productividad de los pastos y prolongar su vida útil.

El encalado es la práctica agrícola más utilizada para corregir la acidez de los suelos y, consecuentemente, elevar la productividad de los cultivos agrícolas (Kryzevicius *et al.* 2019). No obstante, la respuesta de los pastos a esta labor no ha sido consistente, pues en algunos casos las aplicaciones de cal no han sido efectivas (Magalhães *et al.* 2017 y Pereira *et al.* 2018), y en otros su efecto se ha hecho evidente, aun en especies y cultivares tolerantes a la acidez y a la presencia de altos tenores de aluminio intercambiable en el suelo (Biazatti *et al.* 2020).

Lo antes expuesto refuerza el argumento de que la respuesta al encalado puede estar relacionada no solo con la corrección de la acidez, sino con su influencia en la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y con la especie o cultivar de pasto (Araújo *et al.* 2018 y Holland *et al.* 2018).

A partir de estas premisas, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta al encalado de cuatro especies del género *Urochloa*, cultivadas en un suelo ácido y de baja fertilidad de la región geográfica Sabana de Manacas.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la Estación de Pastos y Forrajes de Cascajal, ubicada a los 22° 39' 44" de latitud norte y 80° 29' 36" de longitud oeste, en la región geográfica Sabana de Manacas, provincia de Villa Clara, Cuba, en un suelo gley nodular ferruginoso petroférico (Hernández *et al.* 2015), clasificado como plintisol fractipétrico estagnico, según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS 2007). La tabla 1 muestra sus principales características químicas.

Se trata de un suelo que posee elevada acidez, caracterizada por un pH fuertemente ácido, altos valores de acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$) 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 (Paneque y Calaña 2001).

El comportamiento de las precipitaciones durante el período en que se condujo el experimento se muestra en la figura 1.

Se evaluaron cuatro dosis de cal (0, 2, 4 y 6 t ha⁻¹ de CaCO₃) en las especies de pastos *Urochloa brizantha* vc. Marandú, *Urochloa decumbens* vc. CIAT 606, *Urochloa*

Table 1. Soil chemical characteristics (depth 0-20 cm)

| pH H ₂ O | OM (%) | P (mg kg ⁻¹) | Exchangeable bases | | | | CEC | H ⁺ +Al ³⁺ | Al ³⁺ | V(%) |
|------------------------|-----------|-----------------------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------|--------|----------------------------------|------------------|------|
| | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | | | | |
| 4.8 | 2.52 | 5.5 | 3.32 | 1.12 | 0.05 | 0.1 | 4.59 | 4.33 | 0.06 | 51 |
| (0.2) | (0.17) | (0.6) | (0.3) | (0.1) | (0.01) | (0.02) | (0.31) | (0.33) | (0.01) | |

OM: organic matter, CEC: cation exchange capacity, H⁺ + Al³⁺: exchangeable acidity, V: base saturation
Values in parentheses indicate confidence intervals ($\alpha = 0.05$)

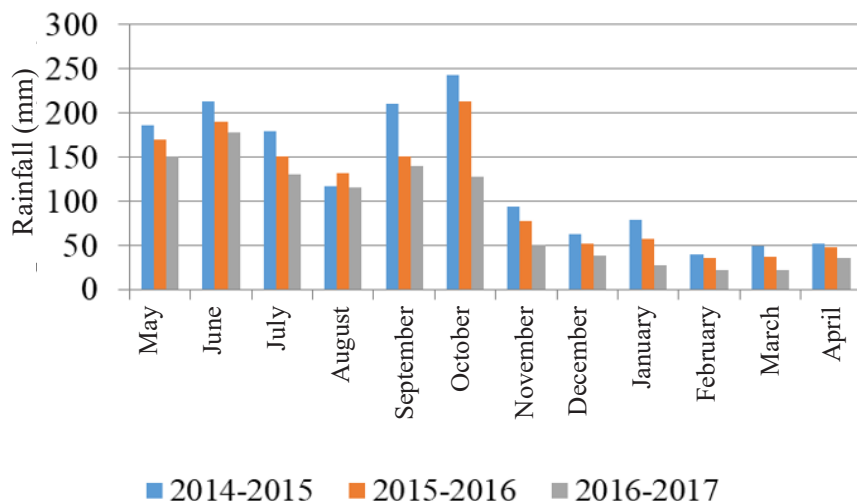


Figure 1. Rainfall performance during the experimental period

Urochloa hybrid cv. CIAT BR02/1752 (Yacaré) in a random block design, with factorial arrangement and four replications. Plots constituted the experimental unit, with a total area of 21 m² and a calculation area of 14 m².

Soil was prepared by plowing (plow), harrowing, crossing (plowing) and harrowing, at approximate intervals of 25 d between each. Lime, with a content of 95 % of CaCO₃ and 90 % of particles smaller than 5 mm, belonged to the Empresa Geominera del Centro, located in Remedios, Villa Clara. It was applied only once on the surface of the plots and it was included into the soil with the last harrowing labor.

Pasture sowing was carried out in May 2014, in rows separated by 50 cm and in drill sowing, with doses of 1 kg of pure germinated seed ha⁻¹ and at 1.5 cm deep. The experiment lasted three years and it was conducted under dry conditions. An amount of 50 kg ha⁻¹ of N of basal fertilization was applied, at 30 d after sowing, and after each cut during rainy season. At the beginning of each rainy season, 60 and 120 kg ha yr⁻¹ of P₂O₅ and K₂O were administered, respectively. Urea, triple superphosphate and potassium chloride were used as carriers.

Cuts were performed at a height of 10 cm from soil surface, at 120 d after sowing, and at intervals of 60 and 90 d during the rainy and dry season, respectively. In each cut, fresh mass of the aerial part of pastures that occupied the calculation area of plots was weighed and 200 g samples were taken. They were placed in an air circulation oven at 70 °C for 72 h to determine dry mass percentage (DM), estimate DM yield, and concentrations of N, P, K and Ca in the biomass (Paneque *et al.* 2010).

From each plot, before the application of treatments (May, 2014), and after the last cut made in each dry period (April, 2015, 2016 and 2017), three soil subsamples were taken with a drill, at a depth of 0-20 cm, to form a compound sample. The pH was determined in H₂O (potentiometry, soil-water

híbrido vc. 36087 (Mulato II) y *Urochloa híbrido* vc. CIAT BR02/1752 (Yacaré) en un diseño de bloques al azar, con arreglo factorial y cuatro réplicas. Las parcelas constituyeron la unidad experimental, con una superficie total de 21 m² y un área de cálculo de 14 m².

El suelo se preparó mediante labores de roturación (arado), grada, cruce (arado) y grada, a intervalos aproximados de 25 d entre cada una. La cal, con un contenido de 95 % de CaCO₃ y 90 % de partículas con tamaño inferior a 5 mm, procedía de la Empresa Geominera del Centro, ubicada en la localidad de Remedios, Villa Clara. Se aplicó una sola vez sobre la superficie de las parcelas y se incorporó al suelo con la última labor de grada.

La siembra de los pastos se realizó en mayo de 2014, en surcos separados a 50 cm y a chorrillo, con dosis de 1 kg de semilla pura germinable ha⁻¹ y a profundidad de 1.5 cm. El experimento duró tres años y se condujo en condiciones de secano. Se aplicó 50 kg ha⁻¹ de N de fertilización de fondo, a los 30 d después de la siembra, y luego de cada corte durante el período lluvioso. Al inicio de cada época de lluvia se administró 60 y 120 kg ha año⁻¹ de P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Se utilizaron como portadores urea, superfosfato triple y cloruro de potasio.

Los cortes se realizaron a una altura de 10 cm de la superficie del suelo, a los 120 d después de la siembra, y a intervalos de 60 y 90 d durante el período lluvioso y poco lluvioso, respectivamente. En cada corte se pesó la masa fresca de la parte aérea de los pastos que ocupaban el área de cálculo de las parcelas y se tomaron muestras de 200 g. Se llevaron a una estufa de circulación de aire a 70 °C durante 72 h, para determinar el porcentaje de masa seca (MS), estimar el rendimiento de MS, y las concentraciones de N, P, K y Ca en la biomasa (Paneque *et al.* 2010).

De cada parcela, antes de la aplicación de los tratamientos (mayo de 2014), y después del último corte realizado en cada período seco (abril de 2015, 2016 y 2017), se tomaron con una barrena tres submuestras de suelo, a profundidad de 0-20 cm, para formar una muestra compuesta. Se determinó el pH en H₂O (potenciometría, relación suelo-agua 1:2.5) y los contenidos de

ratio 1: 2.5) and the contents of organic matter (Walkley and Black), assimilable P (extraction with H_2SO_4 0.5 mol L^{-1} and colorimetric determination) and interchangeable bases (extraction with NH_4Ac 1 mol L^{-1} pH 7, determination by titration with EDTA for Ca and Mg and flame photometry for Na and K). The cation exchange capacity (CEC) was calculated by adding the exchangeable bases and exchangeable acidity ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) from the extraction with KCl 1 mol L^{-1} and titration, Al^{3+} by extraction with NaOH 0.0125 mol L^{-1} and titration, and the percentage of base saturation (V) by calculating $\text{CEC}/\text{CEC} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})/100$. In all cases, the techniques established in the INCA soil and plant laboratory (Paneque *et al.* 2010) were used.

For statistical processing, data normality and homogeneity of variances were checked. The analysis of variance was used according to the experimental design and Duncan (Duncan 1955) multiple range test ($P < 0.05$). For the chemical characterization of soil, as well as to evaluate the influence of lime doses on soil acidity indicators and its effect over time, the confidence interval ($\alpha = 0.05$) was used as an estimator of mean variability and as a criterion for their comparison, respectively (Payton 2000). Regression analyzes were performed among variables related to soil acidity and grass yield, as well as between Ca concentrations in biomass and yields, and the equations with the best fit were selected. In all cases, the statistical program SPSS 25 (2017) was used.

Results

When comparing the results of soil analyzes of each treatment, carried out before lime application, and after the last cut of each dry period (figure 2), it was observed that liming significantly increased exchangeable Ca content, pH, cation exchange capacity and percentage of base saturation, and produced a significant decrease of exchangeable acidity of soil. This effect was proportional to the doses of applied lime, so that the highest results were observed with the addition of 6 t ha^{-1} .

The greatest influence of liming on these variables was observed during the first two years. In the third, although the doses of 4 and 6 t ha^{-1} of lime maintained their effect with respect to the lowest dose and the control without lime, it was significantly lower than in previous years.

There was no interaction among lime doses and pasture species for dry mass yield. However, the levels of both factors showed significant differences between them (table 2). The highest yields, in rainy and dry season, were reached with the doses of 4 and 6 t ha^{-1} of lime during the first two years of its application. In the third, the liming effect disappeared, coinciding with the decrease in the influence of the amendment of exchangeable Ca content and the reduction of soil

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 55, Number 2, 2021 materia orgánica (Walkley y Black), P asimilable (extracción con H_2SO_4 0.5 mol L^{-1} y determinación colorimétrica) y bases intercambiables (extracción con NH_4Ac 1 mol L^{-1} pH 7; determinación por titulación con EDTA para Ca y Mg; fotometría de llama para Na y K). Se calculó la capacidad de intercambio de bases (CIB) mediante la suma de bases intercambiables y la acidez intercambiable ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) a partir de la extracción con KCl 1 mol L^{-1} y titulación; Al^{3+} mediante la extracción con NaOH 0.0125 mol L^{-1} y titulación, y el porcentaje de saturación por bases (V) mediante el cálculo $\text{CIB}/\text{CIB} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})/100$. En todos los casos se utilizaron las técnicas establecidas en el laboratorio de suelos y plantas del INCA (Paneque *et al.* 2010).

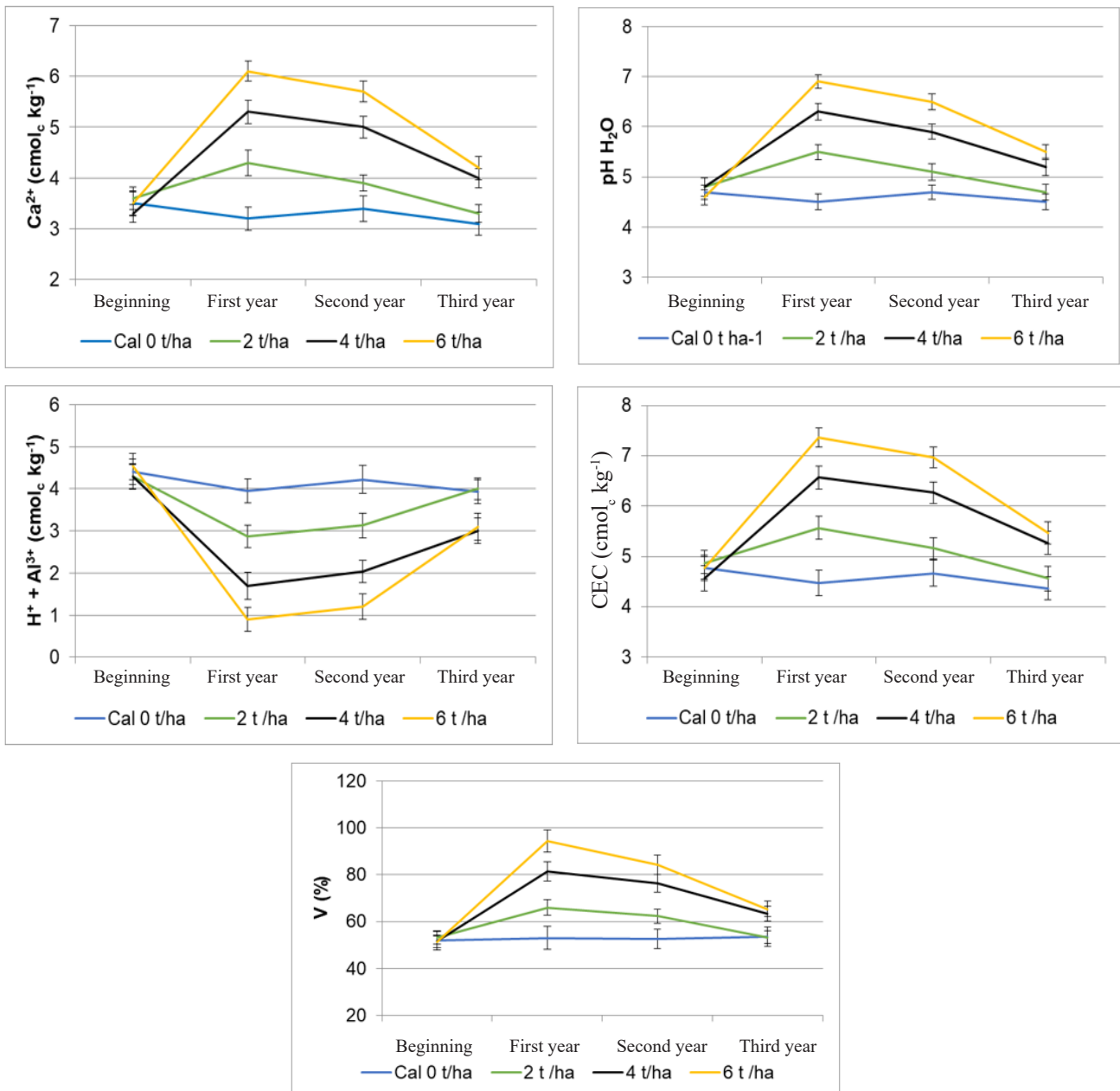
Para el procesamiento estadístico se comprobó la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas. Se utilizó el análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental y la prueba de rangos múltiples de Duncan (Duncan 1955) ($P < 0.05$). Para la caracterización química del suelo, así como para evaluar la influencia de las dosis de cal en los indicadores de la acidez del suelo y su efecto en el tiempo, se empleó el intervalo de confianza ($\alpha = 0.05$) como estimador de la variabilidad de las medias y como criterio para su comparación, respectivamente (Payton 2000). Se realizaron análisis de regresión entre las variables relacionadas con la acidez del suelo y el rendimiento de los pastos, así como entre las concentraciones de Ca en la biomasa y los rendimientos y se seleccionaron las ecuaciones de mayor ajuste. En todos los casos se utilizó el programa estadístico SPSS 25 (2017).

Resultados

Al comparar los resultados de los análisis del suelo de cada tratamiento, realizados antes de la aplicación de la cal, y después del último corte de cada período seco (figura 2), se observó que el encalado aumentó significativamente el contenido de Ca intercambiable, el pH, la capacidad de intercambio de bases y el porcentaje de saturación por bases, y produjo una disminución significativa de la acidez intercambiable del suelo. Este efecto fue proporcional a las dosis de cal aplicadas, de modo que los mayores resultados se observaron con la adición de 6 t ha^{-1} .

La mayor influencia del encalado en estas variables se observó durante los dos primeros años. En el tercero, aunque las dosis de 4 y 6 t ha^{-1} de cal mantuvieron su efecto con respecto a la dosis más baja y el testigo sin cal, fue significativamente menor que en los años anteriores.

No hubo interacción entre las dosis de cal y las especies de pastos para el rendimiento de masa seca. Sin embargo, los niveles de ambos factores mostraron diferencias significativas entre sí (tabla 2). Los mayores rendimientos, en la época de lluvias, como en el período poco lluvioso, se alcanzaron con las dosis de 4 y 6 t ha^{-1} de cal durante los dos primeros años de su aplicación. En el tercero, el efecto del encalado desapareció, coincidiendo con la disminución de la influencia de la enmienda en el contenido de Ca intercambiable y la reducción de la



V: base saturation. Vertical bars show confidence interval of means. Confidence intervals that overlap among them do not differ significantly ($\alpha = 0.05$)

Figure 2. Effect of liming on exchangeable Ca content and soil acidity. CEC: cation exchange capacity.

acidity. Among pasture species, the highest dry mass yields were reached by Yacaré.

By relating annual yields of pastures with the performance of the variables that characterize acidity, according to the results of soil analyzes carried out each year, quadratic trend regression equations were found with high fit levels (values of R^2 higher than 0.90), as shown in table 3. That is, the increase of yields was associated with pH increments, exchangeable Ca content and base saturation percentage, as well as a decrease of soil exchangeable acidity.

Liming and pasture species had no effect on N and P concentrations in the biomass. However, Ca concentrations increased significantly with lime additions, reaching the highest values with doses of 4 and 6 t ha⁻¹ (table 4).

acidez del suelo. Entre las especies de pastos, los mayores rendimientos de masa seca se alcanzaron en el Yacaré.

Al relacionar los rendimientos anuales de los pastos con el comportamiento de las variables que caracterizan la acidez, según los resultados de los análisis de suelo que se realizaron cada año, se encontraron ecuaciones de regresión de tendencia cuadrática con altos niveles de ajuste (valores de R^2 superiores a 0.90), según se muestra en la tabla 3. Es decir, el incremento de los rendimientos estuvo asociado a los aumentos del pH, al contenido de Ca intercambiable y al por ciento de saturación por bases, así como a la disminución de la acidez intercambiable del suelo.

El encalado y las especies de pastos no tuvieron efectos en las concentraciones de N y P en la biomasa. Sin embargo, las concentraciones de Ca aumentaron significativamente con las adiciones de cal, hasta alcanzar los valores más altos

Table 2. Effect of lime doses and pasture species on dry mass yield (t ha⁻¹)

| CaCO ₃ (t ha ⁻¹) | First year | | | Second year | | | Third year | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Rainy season | Dry season | Total | Rainy season | Dry season | Total | Rainy season | Dry season | Total |
| 0 | 6.20 ^c | 2.07 ^c | 8.26 ^c | 5.42 ^c | 2.06 ^c | 7.22 ^c | 5.94 | 1.98 | 7.92 |
| 2 | 7.42 ^b | 2.38 ^b | 9.85 ^b | 6.41 ^b | 2.14 ^b | 8.55 ^b | 6.08 | 2.03 | 8.10 |
| 4 | 8.75 ^a | 2.92 ^a | 11.66 ^a | 7.67 ^a | 2.56 ^a | 10.22 ^a | 6.11 | 2.04 | 8.14 |
| 6 | 8.57 ^a | 2.86 ^a | 11.42 ^a | 7.78 ^a | 2.59 ^a | 10.37 ^a | 5.90 | 1.97 | 7.87 |
| SE | 0.19 ^{**} | 0.07 ^{**} | 0.24 ^{**} | 0.18 ^{**} | 0.06 ^{**} | 0.22 ^{**} | 0.15 | 0.06 | 0.16 |
| Species | | | | | | | | | |
| <i>U. brizantha</i> | 7.22 ^b | 2.41 ^b | 9.62 ^b | 6.41 ^b | 2.14 ^b | 8.55 ^b | 5.59 ^b | 1.86 ^b | 7.45 ^b |
| <i>U. decumbens</i> | 7.33 ^b | 2.44 ^b | 9.77 ^b | 6.47 ^b | 2.16 ^b | 8.62 ^b | 5.20 ^b | 1.73 ^b | 6.93 ^b |
| <i>U. Mulato II</i> | 7.39 ^b | 2.46 ^a | 9.85 ^a | 6.59 ^b | 2.20 ^a | 8.79 ^b | 5.65 ^b | 1.88 ^b | 7.53 ^b |
| <i>U. Yacaré</i> | 8.94 ^a | 2.98 ^a | 11.92 ^a | 7.78 ^a | 2.59 ^a | 10.37 ^a | 7.42 ^a | 2.47 ^a | 9.89 ^a |
| SE± | 0.22 ^{**} | 0.08 ^{**} | 0.27 ^{**} | 0.20 ^{**} | 0.07 ^{**} | 0.25 ^{**} | 0.20 ^{**} | 0.06 ^{**} | 0.18 ^{**} |

Means with different letters in the same column differ significantly at P < 0.05 (Duncan 1955)

Table 3. Relations among chemical characteristics of soil, modified by liming and pasture yield (DM t ha⁻¹)

| Equations | SE ± | R ² |
|---|------|--------------------|
| Y = - 0.71 (±0.525)x ₁ ² + 9.77 (±0.15)x ₁ - 22.75 (±0.87) | 0.55 | 0.92 ^{**} |
| Y = 8.94 (±0.46)x ₂ ² - 64 (±0.13)x ₂ - 20.44 (±0.77) | 0.47 | 0.95 ^{**} |
| Y = - 0.41 (±0.11)x ₃ ² + 0.51(±0.24)x ₃ + 10.99 (0.26) | 0.42 | 0.95 ^{**} |
| Y = - 0.003 (±0.0009)x ₄ ² + 4.95 (±0.11)x ₄ - 12.10 (±0.66) | 0.48 | 0.93 ^{**} |

Y: dry mass yield (t ha⁻¹),

x₁: pH H₂O,

x₂: exchangeable Ca (cmolc kg⁻¹),

x₃: H⁺ + Al³⁺ (cmolc kg⁻¹),

x₄: V (% base saturation)

Values in parentheses indicate standard error of the terms of the equations, ** P < 0.01

Table 4. Effect of liming and *Urochloa* species on macronutrient content (mg kg⁻¹) in biomass

| CaCO ₃ (t ha ⁻¹) | N | | | P | | | K | | | Ca | | |
|--|------|------|------|-----|-----|-----|-------------------|-------------------|------|------------------|------------------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 0 | 16.4 | 15.4 | 16.3 | 2.2 | 1.8 | 2.2 | 14.9 ^a | 14.9 ^a | 15.3 | 3.0 ^c | 3.2 ^c | 3.1 |
| 2 | 15.9 | 16.1 | 15.6 | 2.1 | 1.9 | 2.2 | 15.6 ^a | 15.2 ^a | 14.7 | 4.1 ^b | 4.3 ^b | 3.4 |
| 4 | 15.7 | 15.7 | 16.0 | 2.2 | 2.3 | 2.3 | 15.7 ^a | 14.7 ^a | 15.0 | 5.2 ^a | 5.6 ^a | 3.0 |
| 6 | 16.4 | 15.3 | 15.1 | 2.2 | 2.0 | 2.2 | 13.1 ^b | 13.0 ^b | 15.1 | 5.4 ^a | 5.7 ^a | 3.5 |
| SE ± | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 [*] | 0.4 [*] | 0.3 | 0.1 [*] | 0.1 [*] | 0.2 [*] |
| <i>Urochloa</i> species | | | | | | | | | | | | |
| <i>U. brizantha</i> | 15.7 | 16.0 | 15.2 | 2.3 | 1.9 | 2.3 | 14.9 | 14.9 | 15.3 | 4.5 | 4.6 | 3.5 |
| <i>U. decumbens</i> | 16.5 | 15.2 | 16.1 | 2.2 | 2.0 | 2.4 | 15.6 | 15.2 | 14.7 | 4.3 | 4.7 | 3.4 |
| <i>U. Mulato II</i> | 16.6 | 15.4 | 15.9 | 2.2 | 1.9 | 2.3 | 15.7 | 14.7 | 15.0 | 4.5 | 4.5 | 3.2 |
| <i>U. Yacaré</i> | 15.9 | 16.1 | 15.7 | 2.1 | 1.8 | 2.2 | 13.1 | 13.0 | 15.1 | 4.4 | 4.8 | 3.2 |
| SE± | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |

1: first year,

2: second year,

3: third year

Means with different letters in the same column differ significantly at P < 0.05 (Duncan 1955)

With the addition of the highest dose of lime, there was a decrease of K concentrations in biomass. As in yield, the influence of the amendment in the concentrations of both nutrients was maintained during

con las dosis de 4 y 6 t ha⁻¹ (tabla 4).

Con la adición de la dosis más alta de cal, hubo disminución de las concentraciones de K en la biomasa. Al igual que en el rendimiento, la influencia de la

the two years after its application.

By relating the annual concentrations of Ca in the biomass with dry mass yield ($t\ ha^{-1}\ year^{-1}$), a quadratic trend regression equation and a high value of R^2 were obtained. This showed that the increase of yields was also associated with the increase of contents of this element in forage (table 5).

Table 5. Relation between dry mass yield and Ca concentrations in pasture biomass

| Equations | SE \pm | R^2 |
|---|----------|--------|
| $Y = 3.31 (\pm 0.20)x - 0.33 (\pm 0.06)x^2 - 5.88 (\pm 0.31)$ | 0.19 | 0.96** |

Y: dry mass yield ($t\ ha^{-1}$),

x: Ca concentrations in biomass ($g\ kg^{-1}$ dry mass),

Values in parentheses indicate standard error of the terms of the equations,

** $P < 0.01$

Discussion

The influence of liming on acidity reduction can be attributed to the displacement of exchangeable H and Al by Ca, provided by the liming material and, consequently, to the increase of the concentration of OH ions in the soil solution as a result of these reactions, which agrees with reports of Opala *et al.* (2018) and Dereje *et al.* (2019).

Regarding the permanence of liming effect on the reduction of soil acidity, Da Costa *et al.* (2016) and Abdi *et al.* (2017) observed that it lasted up to 48 and 60 months, respectively, a time longer than that observed in this research. However, it has been shown that lime residuality depends on the nature of the liming material, doses and forms of application, as well as the properties of soil and crop (Li *et al.* 2018).

The relationships found among the modifications of variables that characterize soil acidity and yield increase were interesting, because, although the effect of acidity decrease in biomass production has been evident in other pasture species (Gatiboni *et al.* 2017), it is known that the species of *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) genus tolerate acidic conditions, and even, high levels of exchangeable aluminum (Salgado *et al.* 2017 and Worthington *et al.* 2019). This was not observed in the soil where this experiment was carried out, in which exchangeable acidity was a result, mainly, of the presence of H, since the saturation level of Al, understood as the percentage value of this element in relation to the cation exchange capacity $[CEC + (H^{+} + Al^{3+})]$, was only 0.7 %.

Nevertheless, some authors, in studies with *Urochloa* species, found a response to lime applications due to the reduction of acidity and exchangeable Al contents (Biazatti *et al.* 2020). Other studies observed that the increase of yields was related to the improvement of the nutritional status of plants, from the increase in the content of nutrients in the soil and in the biomass (mainly Ca and P) or with a

enmienda en las concentraciones de ambos nutrientes se mantuvo durante los dos años posteriores a su aplicación.

Al relacionar las concentraciones anuales de Ca en la biomasa con el rendimiento de masa seca ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$), se obtuvo una ecuación de regresión de tendencia cuadrática y alto valor de R^2 . Esto demostró que el aumento de los rendimientos también estuvo asociado al incremento de

los contenidos de este elemento en el forraje (tabla 5).

Discusión

La influencia del encalado en la reducción de la acidez se puede atribuir al desplazamiento del H y Al intercambiables por el Ca aportado por el material encalante y, consecuentemente, al aumento de la concentración de iones OH en la solución del suelo producto de estas reacciones, lo que concuerda con lo informado por Opala *et al.* (2018) y Dereje *et al.* (2019).

Con respecto a la permanencia del efecto del encalado en la reducción de la acidez del suelo, Da Costa *et al.* (2016) y Abdi *et al.* (2017) observaron que se extendió hasta 48 y 60 meses, respectivamente, tiempo mayor que el observado en este trabajo. Sin embargo, se ha demostrado que la residualidad de la cal depende de la naturaleza del material encalante, las dosis y formas de aplicación, así como de las propiedades del suelo y el cultivo (Li *et al.* 2018).

Las relaciones que se encontraron entre las modificaciones de las variables que caracterizan la acidez del suelo y el aumento de los rendimientos resultaron interesantes, pues, aunque en otras especies de pastos el efecto de la disminución de la acidez en la producción de biomasa ha sido evidente (Gatiboni *et al.* 2017), se conoce que las especies del género *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) toleran condiciones de acidez, e incluso, altos tenores de aluminio intercambiable (Salgado *et al.* 2017 y Worthington *et al.* 2019). Esto no se observó en el suelo donde se realizó este experimento, cuya acidez intercambiable se debió, fundamentalmente, a la presencia de H, pues el nivel de saturación del Al, entendido como el valor porcentual de este elemento en relación con la capacidad de intercambio catiónico $[CIB + (H^{+} + Al^{3+})]$, fue solo de 0.7 %.

No obstante a lo anterior, algunos autores en trabajos con especies de *Urochloa* encontraron respuesta a las aplicaciones de cal por efecto de la reducción de la acidez y los contenidos de Al intercambiable (Biazatti *et al.* 2020). En otros estudios se observó que el incremento de los rendimientos estuvo relacionado con la mejora del estado nutricional de las plantas, a partir del aumento del contenido

better use of fertilizers (Costa *et al.* 2012 and Teixeira *et al.* 2018).

Although lime applications of the current study did not influence on N and P contents in the biomass, probably due to the use of a basal fertilization, which guaranteed the nitrogen (at least during rainy season) and phosphoric nutrition of plants under the effects of liming, the high relationship between Ca concentrations in biomass and yields indicate that the contribution of this element helped to improve calcium nutrition and, in fact, to increase pasture productivity. This is logical, if the low initial content of exchangeable Ca in the soil is considered.

Dos Santos *et al.* (2016), in an extensive bibliographic review on the importance of liming for the production of forage plants, pointed out that, in soils with very low exchangeable Ca contents, lime promotes increases in the concentrations of this element in biomass and, consequently, in pasture yields.

The decrease of K concentrations in biomass, registered during the first two years with the application of the highest lime dose, seems to be the consequence of the expression of a possible antagonism, due to the contribution of a quantity of Ca that could have limited absorption of K by plants. Da Costa *et al.* (2016) also observed this effect with the addition of high doses of liming materials in soybean-oat-sorghum crop rotations.

Regarding the performance of yields, during the first two years, the response to liming was evident, even in dry season, despite the fact that nitrogen fertilizer was not applied during this time because the experiment was conducted under non-irrigation conditions. However, it was demonstrated that lime additions stimulate root growth, as a consequence of reducing soil acidity. This facilitates the absorption of nutrients and water and, in fact, favors the growth of plant aerial biomass (Zang *et al.* 2020).

In the third year, yields were reduced by 35 and 22 % compared to the first and second years, respectively. This can not only be attributed to the fact that no response to lime was found during this period, but to the performance of rainfall, which decreased by 27 % compared to previous years.

Another interesting aspect was the best performance of Yacaré grass in relation to the other species evaluated in this study. Although this cultivar has shown better yields and persistence levels compared to other *Urochloa* species (Pentón *et al.* 2018) in some regions of Cuba, the fact that it has reached higher productivity in acidic and low fertility soils indicates that, besides liming, the inclusion of Yacaré grass may also be an option to increase biomass production under these edaphic conditions.

Conclusions

Liming improves calcium nutrition and increases the

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 55, Number 2, 2021
de nutrientes en el suelo y en la biomasa (fundamentalmente Ca y P) o con un mejor aprovechamiento de los fertilizantes (Costa *et al.* 2012 y Teixeira *et al.* 2018).

Si bien en este trabajo las aplicaciones de cal no influyeron en los contenidos de N y P en la biomasa, debido probablemente a la utilización de una fertilización de fondo, que garantizó la nutrición nitrogenada (al menos durante el período lluvioso) y fosfórica de las plantas con los efectos del encalado, la alta relación entre las concentraciones de Ca en la biomasa y los rendimientos indican que el aporte de este elemento contribuyó a la mejora de la nutrición cálcica y, de hecho, al incremento de la productividad de los pastos. Esto resulta lógico, si se tiene en cuenta el bajo contenido inicial de Ca intercambiable del suelo.

Dos Santos *et al.* (2016), en una amplia revisión bibliográfica sobre la importancia del encalado en la producción de plantas forrajeras señalan que, en suelos con muy bajos contenidos de Ca intercambiable, la cal promueve aumentos en las concentraciones de este elemento en la biomasa y, consecuentemente, en los rendimientos de los pastos.

La disminución de las concentraciones de K en la biomasa, registrada durante los dos primeros años con la aplicación de la dosis más alta de cal, parece ser consecuencia de la expresión de un posible antagonismo, debido al aporte de una cantidad de Ca que pudo haber limitado la absorción de K por las plantas. Da Costa *et al.* (2016) también observaron este efecto con la adición de altas dosis de materiales encalantes en rotaciones de cultivo soya-avena-sorgo.

En cuanto al comportamiento de los rendimientos, durante los dos primeros años, se observó que la respuesta al encalado fue evidente, aun en el período poco lluvioso, a pesar de que durante esta época no se aplicó fertilizante nitrogenado porque el experimento se condujo en condiciones de secano. Sin embargo, se ha demostrado que las adiciones de cal estimulan el crecimiento de las raíces, como consecuencia de la reducción de la acidez del suelo. Esto facilita la absorción de los nutrientes y el agua y, de hecho, favorece el crecimiento de la biomasa aérea de las plantas (Zang *et al.* 2020).

En el tercer año, los rendimientos se redujeron en 35 y 22 % en relación con los del primer y segundo año, respectivamente. Esto no solo se puede atribuir a que durante este período no se encontró respuesta a la cal, sino al comportamiento de las precipitaciones, que disminuyeron en 27 % con respecto a los años anteriores.

Otro aspecto interesante resultó ser el mejor comportamiento del pasto Yacaré en relación con las demás especies evaluadas en el trabajo. Aunque en algunas regiones de Cuba este cultivar ha mostrado mayores rendimientos y niveles de persistencia en comparación con otras especies de *Urochloa* (Pentón *et al.* 2018), el hecho de que en suelos ácidos y de baja fertilidad haya alcanzado mayor productividad, indica que además del encalado, la inclusión del pasto Yacaré también puede ser una opción para incrementar la

productivity of *Brachiaria* genus pastures, cultivated in an acidic soil with low fertility in Sabana de Manacas region. Its greatest effects on soil and yields are maintained during the first two years. The application of 4 ha⁻¹ of lime is recommended.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interests among them

Author's contribution

J. F. Ramírez Pedroso: Original idea, design and conducting the experiment, data analysis, manuscript writing

P. J. González Cañizares: Design and conducting the experiment, statistical analyses, manuscript writing

R. Rivera Espinosa: Conducting the experiment, data analysis searching bibliography

A. Hernández Jiménez: Conducting the experiment, data analysis experimento, manuscript revision

producción de biomasa en estas condiciones edáficas.

Conclusiones

El encalado mejora la nutrición cálcica y aumenta la productividad de pastos del género *Brachiaria*, cultivados en un suelo ácido y de baja fertilidad de la región Sabana de Manacas. Sus mayores efectos en el suelo y los rendimientos se mantienen durante los dos primeros años. Se recomienda la aplicación de 4 ha⁻¹ de cal.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses

Contribución de los autores

J. F. Ramírez Pedroso: Idea original, diseño y conducción de la investigación, análisis de los datos, escritura del manuscrito documento

P. J. González Cañizares: Diseño y conducción del experimento, toma de datos, análisis estadísticos, escritura del manuscrito del documento

R. Rivera Espinosa: Conducción del experimento, análisis y procesamiento de datos, búsquedas bibliográficas

A. Hernández Jiménez: Conducción del experimento, análisis y procesamiento de datos, revisión del manuscrito

References

- Abdi, D., Ziadi, N., Shi, Y., Gagnon B., Lalande, R. & Hamel, Ch. 2017. "Residual effects of paper mill biosolids and liming materials on soil microbial biomass and community structure". Canadian Journal of Soil Science, 97(2): 188-199, ISSN: 1918-1841, DOI: <https://dx.doi.org/10.1139/cjss-2016-0063>.
- Araujo, V.S., Rodrigues, K.C.B., R. Galvão, J.R., Yakuwa, T.K.M., Silva, V.F.A., da Silva, D.R., Araújo, L.B., de Souza, F.J.L. & de Souza, J.C. 2018. "Yield of *Brachiaria* in Function of Natural Phosphate Application and Liming in Pará Northeast". Journal of Agricultural Science (Toronto), 10(7): 352-358, ISSN: 1916-9752, DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n7p352>.
- Biazatti, R.M., Bergamin, A.C., Ferreira, W.S., Ferreira, E., de Souza, F.R., de Almeida, P.M. & Dias, J.R.M. 2020. "Fitomassa do capim-Braquiária e atributos químicos de um latossolo sob compactação induzida e doses de calcário". Brazilian Journal of Development, 6(8): 55368- 55387, ISSN: 2525-8761, DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-093>.
- Costa, N.L., Paulino, V.T., Magalhães, J.A., Rodrigues, A.N.A., Bendahan, A.B., Nascimento, L.E.S. & Fernández, R.C.P. 2012. "Resposta de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés a níveis de calagem". PUBVET, 6(13), Art. 1338-1344, ISSN: 1982-1263.
- Da Costa, C.H. & Crusciol, C.A.C. 2016. "Long term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean-oat-sorghum rotation and soil chemical properties". European Journal of Agronomy, 74: 119-132, ISSN: 1161-0301, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.001>.
- Dereje, G. Tamene, D. & Anbesa, B. 2019. "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, 6(2): 167-175, ISSN: 2326-3997.
- Dos Santos, D.R., Tiecher, T., Gonzatto, R, Santanna, M.A., Brunetto, G. & da Silva, L.S. 2018. "Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South Brazilian Campos". Soil & Tillage Research, 180(2018): 222–231, ISSN: 0167-1987, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.03.014>.
- Dos Santos, M.P., Castro, Y.O., Marques, R.C., Pereira, D.R.M., Godoy, M.M. & Reges, N.P.R. 2016. "Importância da calagem, adubações tradicionais e alternativas na produção de plantas forrageiras: Revisão". PUBVET, 10(1): 001-110, ISSN: 1982-1263.
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple Range and Multiple F Tests". Biometrics, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X, DOI: <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Gatiboni, L.C., Ernani, P.L., Predebon, R., de Oliviera, C.M.B., Schmitt, D.E. & Cassol, P.C. 2017. "Liming and application of micronutrients in the establishment of Tifton pasture". Journal of Agrarian Sciences, 45(4): 430-436, ISSN: 1984-5529, DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n4p430-436>.
- Hernández, A, Pérez, J.M., Bosh, D. & Castro, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. 1st Ed. Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, González, O. (ed.), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, p. 93.
- Holland, J.E., Bennett, A.E., Newton, A.C., White, P.J., McKenzie, B.M., George, T.S., Pakeman. R.J., Bailey, J.S., Fornara, D.A., Hayes, R.C. 2018. "Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review". Science of the Total

- Environment, 610: 316–332, ISSN: 0048-9697, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.020>.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma, Italia.
- Kryzevicius, Z., Karcauskiene, D., Álvarez-Rodríguez, E. & Zukauskaitė, A. 2019. "The effect of over 50 years of liming on soil aluminium forms in a Retisol". The Journal of Agricultural Science, 157(1): 12–19, ISSN: 1469-5146, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859619000194>.
- Li, Y., Cui, S., Chang, S.X. & Zhang, Q. 2018. "Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis". Journal of Soils and Sediments, 19: 1393-1406, ISSN: 1614-7480, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>.
- Lok, S. Los suelos dedicados en la ganadería en Cuba: características, manejo, oportunidades y retos. 2015. Memorias V Congreso de Producción Animal Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-7171-70-6.
- Magalhães, A.C.M., Farinatti, L.H.E., Lima, M.O., de Araujo, E.A. & Lopes, F.B. 2017. "Performance of the *Brachiaria hybrid* 'Mulatto II' under different doses and forms of limestone application in the Amazon". African Journal of Agricultural Research, 12(43): 3137-3143, ISSN: 1991-637X, DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12721>.
- Opala, P.A., Odendo, M. & Muyekho. F.N. 2018. "Effects of lime and fertilizer on soil properties and maize yields in acid soils of Western Kenya". African Journal of Agricultural Research, 13(3): 657-663, ISSN: 1991-637X, DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13066>.
- Paneque, V.M. & Calaña, J.M. 2001. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico prácticos para su recomendación. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto de Ciencias Agrícolas. Ed. INCA. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, p. 29.
- Paneque, V.M., Calaña, J.M., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T. & Caruncho, M. 2011. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Ed. INCA. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, p. 153, ISBN: 978-959-7023-51-7.
- Payton, M.E., Miller, A.E. & Raun, W.R. 2000. "Testing statistical hypotheses using standard error bars and confidence intervals". Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31(5-6): 547-551, ISSN: 1532-2416, DOI: <https://doi.org/10.1080/00103620009370458>.
- Pentón, G., Martín G.J., Milera, M.C. & Prieto, M. 2018. "Agroproductive effect of silkworm rearing waste as biofertilizer in two forage species". Pastos y Forrajes, 41(2): 105-112, ISSN: 0864-0394.
- Pereira, L.E.T., Herling, V.R., Avanzi, J.C. & da Silva, S.C. 2018. "Morphogenetic and structural characteristics of signal grass in response to liming and defoliation severity". Pesquisa Agropecuária Tropical, 48(1): 1-11, ISSN: 1983-4063, DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4849212>.
- Salgado, L.R., Lima, R., dos Santos, B.F., Shirakawa, K.T., Vilela, M.A. Almeida. N.F., Pereira, R.M., Nepomuceno, A.L. & Chiari, L. 2017. "De novo RNA sequencing and analysis of the transcriptome of signalgrass (*Urochloa decumbens*) roots exposed to aluminum". Plant Growth Regulation, 83: 157-170, ISSN: 1573-5087, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0291-2>.
- SPSS. 2017. Statistical Software, Version 25. SPSS Institute, Chicago, Illinois, U.S.A.
- Teixeira. R.N.V., Pereira, C.E., Hamilton, K.H., Bemincis, B.B., Valente, T.N.P. & Valente, T.N.P. 2018. "Productive capacity of *Brachiaria brizantha* (Syn. *Urochloa brizantha*) cv. Marandu subjected to liming and nitrogen application". African Journal of Agricultural Research, 13(36): 1901-1906, ISSN: 1991-637X, DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13266>.
- Worthington, M., Pérez, J.G., Mussurova, S., Silva-Córdova, A., Castiblanco, V., Jones, C., Fernandez-Fuentes, N., Skot, L., Dyer, S., Tohme, J., Di Palma, F., Arango, J., Armstead, I. & Vega, J. 2019. "A new *Brachiaria* reference genome and its application in identifying genes associated with natural variation in tolerance to acidic soil conditions among *Brachiaria* grasses". bioRxiv, 843870, DOI: <https://doi.org/10.1101/843870>.
- Zang, Q.H., Zhao, X.Q., Chen, Y.L., Wang, J.L. & Shen, R.F. 2020. "Improved root growth by liming aluminum-sensitive rice cultivar or cultivating an aluminum-tolerant one does not enhance fertilizer nitrogen recovery efficiency in an acid paddy soil". Plants, 9(6): 765, ISSN: 2223-7747, DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9060765>.

Received: December 9, 2020

Accepted: April 12, 2021