



Efecto de enmienda calcárea sobre la producción de *Brachiaria* spp. y *Sorghum vulgare* en suelos degradados en Riberalta, Bolivia

Effect of calcareous amendment on *Brachiaria* spp. and *Sorghum vulgare* production in degraded soils, in Riberalta, Bolivia

Bezaleel PAREDES-SUBIRANA^{1*} , Armelinda ZONTA² , Mariely CAMACHO-DELGADO¹ , Mario RODRÍGUEZ-OJOPI¹ , Alcira JUSTINIANO-DORADO¹ 

¹Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Instituto de Investigaciones Forestales de la Amazonia, Riberalta, Beni, Estado Plurinacional de Bolivia.

²Universidad Autónoma del Beni José Ballivián, Carrera de Ingeniería Forestal, Riberalta, Beni, Bolivia.

Autor para correspondencia*: bparedessubirana@uabjb.edu.bo

RESUMEN

Esta investigación evaluó el efecto de la cal dolomita (28% de calcio y 17% de magnesio) en la corrección de la acidez de suelos oxisoles degradados y su impacto en la producción de biomasa de forrajes del género *Brachiaria* y sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) en Riberalta. Los suelos de esta región presentan acidez elevada ($\text{pH} < 5.0$), baja capacidad de intercambio catiónico y deficiencia de macronutrientes esenciales. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos de cal dolomita (1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 t/ha) y un testigo, con cuatro repeticiones. La dosis de 2.5 t/ha produjo el mayor incremento de pH, alcanzando un pH de 6.34 frente al valor inicial/testigo de aproximadamente 4.03. *Brachiaria humidicola* mostró respuesta positiva con 2.5 t/ha, aumentando el rendimiento en 6.1 t/ha comparado con el testigo, mientras que *B. brizantha* no presentó diferencias significativas. El sorgo forrajero mostró diferencias significativas entre tratamientos, con las dosis de 1.5 y 2.0 t/ha, presentando rendimientos superiores estadísticamente iguales. La cal dolomita es una estrategia efectiva para mejorar la acidez del suelo y optimizar la producción de biomasa de sorgo forrajero y *B. humidicola* en oxisoles amazónicos degradados.

PALABRAS CLAVE: Pasto forrajero, enmienda calcárea, oxisoles, rendimiento forrajero, Amazonia boliviana.

ABSTRACT

This research evaluated the effect of dolomite lime (28% calcium and 17% magnesium) on acidity correction of degraded oxisols and its impact on biomass production of *Brachiaria* genus forages and forage sorghum (*Sorghum vulgare*) in Riberalta. Regional soils have high acidity ($\text{pH} < 5.0$), low cation exchange capacity, and essential macronutrient deficiency. A randomized complete block design included four dolomite lime treatments (1.0, 1.5, 2.0, and 2.5 t/ha) and a control, with four replications. The 2.5 t/ha dose produced the largest pH increase, reaching 6.34 from the initial/control value of approximately 4.03. *Brachiaria humidicola* responded positively to the 2.5 t/ha dose, increasing yield by 6.1 t/ha compared to the control. *Brachiaria brizantha* showed no significant differences. Forage sorghum showed significant differences between treatments, with 1.5 and 2.0 t/ha doses presenting statistically equal superior yields. Dolomite lime is an effective strategy to improve soil acidity and optimize biomass production of forage sorghum and *B. humidicola* in degraded Amazonian oxisols.

KEYWORDS: Forage grass, lime amendment, oxisols, forage yield, Bolivian Amazon.

INTRODUCCIÓN

En la Amazonia boliviana, los suelos de tierra firme suelen presentar baja fertilidad natural, alta acidez, baja saturación de bases y limitaciones asociadas a la disponibilidad de nutrientes, condiciones frecuentes en oxisoles y otros suelos tropicales altamente meteorizados. En estos ambientes, la acidez del suelo y la toxicidad por aluminio pueden limitar el establecimiento y la productividad de cultivos y pasturas, por lo que el encalado constituye una práctica ampliamente utilizada para elevar el pH, reducir la toxicidad del aluminio e incrementar la disponibilidad de calcio, magnesio y otros nutrientes esenciales (Espinosa & Molina, 1999; Fageria & Baligar, 2008; Carvalho & Nascente, 2018).

Las pasturas tropicales de raíces profundas pueden contribuir a mejorar propiedades físicas y químicas del suelo, especialmente cuando forman parte de estrategias de recuperación de áreas degradadas en oxisoles (Amézquita *et al.*, 2004). Las especies de pasto conocidas como braquiarias —actualmente incluidas en el género *Urochloa*— son ampliamente utilizadas en sistemas ganaderos tropicales por su adaptación relativa a suelos ácidos y de baja fertilidad. Sin embargo, la tolerancia a la acidez y al aluminio no es uniforme entre especies y genotipos, por lo que la respuesta al encalado puede diferir entre materiales forrajeros evaluados bajo las mismas condiciones (Arroyave *et al.*, 2013; Rao *et al.*, 2016).

El sorgo forrajero constituye otra alternativa relevante para sistemas productivos en ambientes limitantes, debido a su plasticidad agronómica, su tolerancia relativa a la sequía y la capacidad de su sistema radicular para explorar capas más profundas del suelo. Estas características explican su valor como cultivo forrajero en contextos tropicales y subtropicales, aunque

su rendimiento sigue dependiendo del manejo de la fertilidad y de la reducción de restricciones químicas del suelo (Bustos, 1968; Assefa *et al.*, 2010; Tari *et al.*, 2013). Esta investigación evalúa el efecto de diferentes dosis de cal dolomita sobre la corrección de la acidez del suelo y la producción de biomasa húmeda y seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú —actualmente *Urochloa brizantha*— *Brachiaria humidicola* —actualmente *Urochloa dictyonera*— y sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) en suelos oxisoles degradados del municipio de Riberalta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

Este estudio fue realizado en dos comunidades campesinas: Palmira (11°01'09" S, 65°57'12" O) y Bolívar (11°00'44" S, 65°55'42" O) en el municipio de Riberalta, departamento del Beni, Bolivia, durante el período 2021–2023.

Ambas comunidades presentan condiciones climáticas similares; los terrenos se ubican a una altitud aproximada de 170 m snm, con una precipitación media anual de 1700 mm, una temperatura media de 25° C y una humedad relativa media del 85%.

Los suelos estudiados son oxisoles de tierra firme, con un pH inicial de 4.4; clasificados como fuertemente ácidos frente a los patrones internacionales de clasificación de suelos.

Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completos al azar (BCA), recomendado para ensayos agrícolas en campo cuando se busca comparar tratamientos bajo posibles variaciones espaciales del terreno, agrupando las unidades experimentales en bloques relativamente homogéneos (Gómez & Gómez, 1984). El ensayo incluyó cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Cada

unidad experimental correspondió a una parcela de 100 m² (10 m × 10 m). Los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes dosis de cal dolomita: T1 = 1.0 t/ha, T2 = 1.5 t/ha, T3 = 2.0 t/ha, T4 = 2.5 t/ha y Tt = 0 t/ha, correspondiente al tratamiento testigo sin aplicación de cal.

Manejo del ensayo

El área experimental se limpió y se aró a una profundidad de 20 cm. La enmienda calcárea se aplicó al voleo de forma uniforme 30 días antes de la siembra, en las cantidades establecidas para cada tratamiento. Adicionalmente, se realizó una fertilización de base distribuyendo 2 kg de N, P, K 16:16:16 en cada parcela de 100 m². Previo a la siembra, se efectuó un segundo arado para incorporar la enmienda y el fertilizante al suelo. La siembra se realizó en hileras con un espaciamiento de 30 cm entre plantas por 60 cm entre surcos, utilizando un punzón para la apertura de los hoyos. Para el control de las malezas se aplicó una única vez el herbicida de acción sistémica glifosato.

Muestreo y Análisis de Datos

Al inicio del ensayo y 30 días después del encalado, se tomaron muestras de suelo para el análisis del efecto de la enmienda. Posteriormente, a los 120 días post siembra, se evaluó nuevamente el pH mediante el

envío de muestras de suelo al laboratorio del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT) en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Además, se realizó el muestreo colectando la biomasa húmeda de las tres especies de pasto en áreas de 4 m² en cada parcela de los cuatro tratamientos y del testigo, se masó y se retiró una cantidad de 500 gramos de material húmedo por tratamiento para el secado en horno eléctrico a temperaturas entre 80 a 100° C hasta alcanzar una masa constante. Los valores de biomasa húmeda y seca se extrapolaron a toneladas por hectárea.

Para determinar la significancia estadística de las diferencias entre tratamientos se aplicó un análisis de varianza al 5% de error. Cuando el $F_{\text{calculado}}$ fue mayor que el $F_{\text{crítico}}$, se utilizó la prueba de Tukey para determinar la diferencia mínima significativa entre las medias de las variables evaluadas.

RESULTADOS

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($F_{\text{calculado}} = 12$) para el pH del suelo. A través de la prueba de Tukey se estableció una diferencia mínima significativa de 0.25 unidades de pH (Figura 1).

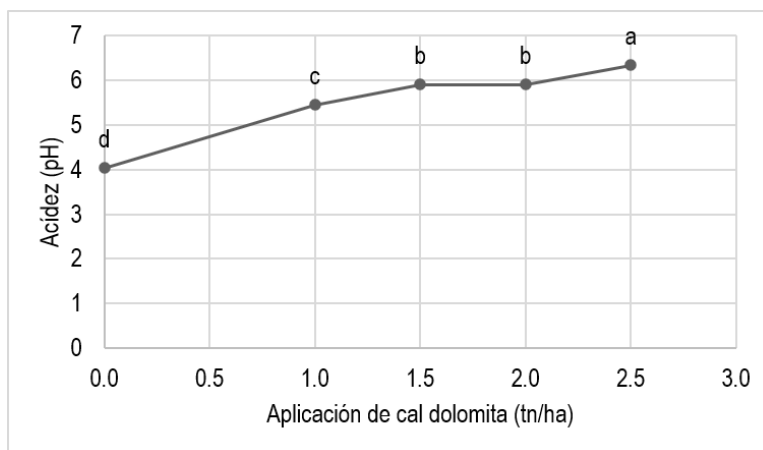


Figura 1. Variación de la acidez del suelo, 120 días después de la aplicación con diferentes enmiendas de cal dolomita.

El análisis de varianza aplicado a las variables biomasa húmeda y seca del pasto *B. brizantha* al 5% de error determinó un $F_{\text{calculado}}$ menor que el $F_{\text{crítico}}$ lo que

indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados (Figura 2).

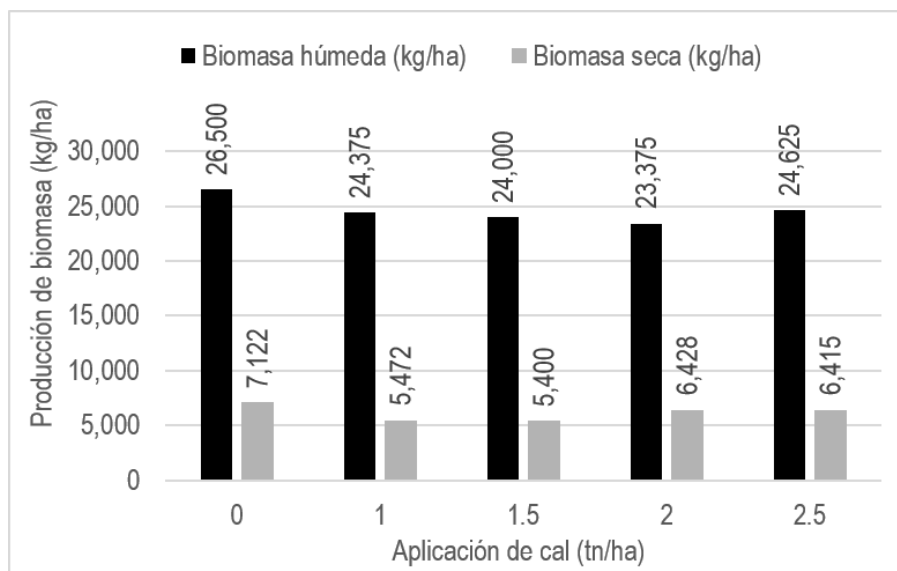


Figura 2. Producción de biomasa húmeda y seca de pasto *B. brizantha* cv. Marandú en suelos de tierra firme con diferentes enmiendas de cal dolomita.

El análisis de varianza aplicado a las variables biomasa húmeda y biomasa seca del pasto *B. humidicola* a 5% de error determinó un $F_{\text{calculado}}$ mayor que el $F_{\text{crítico}}$, lo que indica que existe diferencia significativa entre los

tratamientos aplicados. A través de la prueba de Tukey se estableció una diferencia mínima significativa (Figura 3).

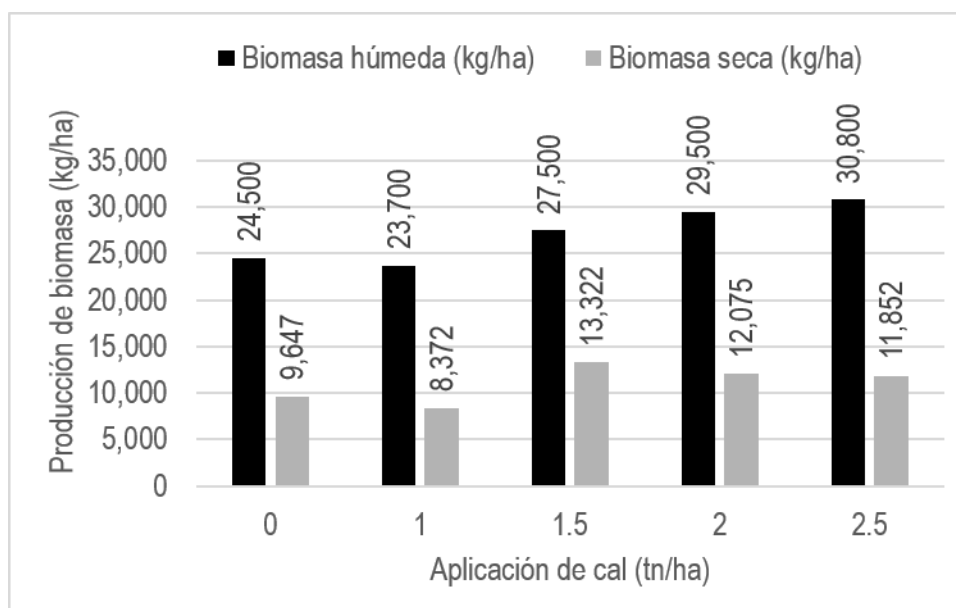


Figura 3. Producción de la biomasa húmeda y seca de pasto *B. humidicola* en suelos de tierra firme con diferentes enmiendas de cal dolomita.

Los rendimientos alcanzados con sorgo forrajero (*S. vulgare*) cuando se aplicaron las enmiendas al suelo con diferentes dosis de cal dolomita y se sometieron al análisis de varianza al 5% de error, determinaron valores de $F_{\text{calculado}}$ mayores que el $F_{\text{crítico}}$, lo que expresa una diferencia estadística significativa entre

los tratamientos aplicados y el tratamiento testigo. La prueba de Tukey presentó una diferencia mínima significativa entre los tratamientos, siendo las dosis de 1.5 t/ha y 2.0 t/ha estadísticamente iguales y diferentes de los demás tratamientos y del testigo (Tabla 1).

Tabla 1. Producción de la biomasa húmeda de Sorgo (*S. vulgare*) en suelos de tierra firme con diferentes enmiendas de Cal Dolomita.

Dosis cal dolomita (t/ha)	Biomasa húmeda (kg/ha)	Grupo Tukey
0 (testigo)	4 354	c
1.0	4 260	c
1.5	13 234	a
2.0	15 886	a
2.5	7 889	b

DISCUSIÓN

Los resultados demuestran una relación directa y positiva entre la cantidad de cal dolomítica aplicada y el incremento del pH del suelo. En la máxima dosis de T4 (2.5 t/ha) se obtuvo el mayor incremento del pH, alcanzando 6.34 frente al valor inicial/testigo de aproximadamente 4.03, con superioridad estadística frente a los demás tratamientos (Figura 1). Este resultado es coherente con el efecto esperado del encalado en suelos ácidos, donde la aplicación de materiales calcáreos contribuye a neutralizar la acidez, reducir la toxicidad por aluminio y aumentar la disponibilidad de bases intercambiables (Espinosa & Molina, 1999; Fageria & Baligar, 2008; Carvalho & Nascente, 2018).

Para *B. brizantha*, cultivada en suelos con pH inicialmente ácido, el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas en la producción de biomasa húmeda ni seca entre los tratamientos con cal y el testigo. Este resultado sugiere que, bajo las condiciones específicas del ensayo, esta especie presentó una respuesta limitada al encalado durante el periodo

evaluado. En cambio, *B. humidicola* mostró una respuesta positiva, con mayores valores de biomasa en los tratamientos con dosis más altas de cal dolomita, lo que confirma que la respuesta al encalado puede variar entre especies forrajeras del grupo de las braquiarias.

Para el sorgo forrajero, la aplicación de 2.0 y 1.5 t/ha de cal dolomita permitió alcanzar las mayores producciones de biomasa húmeda, con valores de 15.8 t/ha y 13.2 t/ha, respectivamente. Estos valores contrastan con el tratamiento testigo, que registró 4.35 t/ha (Tabla 1). Bajo las condiciones del estudio, el sorgo mostró una alta sensibilidad positiva al encalado, aunque la dosis máxima de 2.5 t/ha no produjo el mayor rendimiento, lo que sugiere que las dosis intermedias fueron más eficientes para este cultivo durante el periodo evaluado.

En conjunto, los resultados indican que la cal dolomita tuvo mayor efecto productivo sobre *B. humidicola* y sorgo forrajero que sobre *B. brizantha* durante el periodo evaluado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amézquita, E.; Thomas, R. J.; Rao, I. M.; Molina, D. L. & Hoyos, P. 2004. Use of deep-rooted tropical pastures to build-up an arable layer through improved soil properties of an oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 103: 269–277.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.017>
- Arroyave, C.; Tolrà, R.; Thuy, T., Barceló, J. & Poschenrieder, C. 2013. Differential aluminum resistance in *Brachiaria* species. *Environmental and Experimental Botany* 89: 11–18.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.01.001>
- Assefa, Y.; Staggenborg, S. A. & Prasad, V. P. V. 2010. Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. *Crop Management* 9: 1–11.
<https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>
- Bustos, W. 1968. Cultivo del sorgo. *El Campesino (Chile)* 99: 14–19.
- Carvalho, M. da C. S. & Nascente, A. S. 2018. Application of lime, phosphogypsum and fertilization rates affect soil fertility and common bean development in no-tillage system in a Cerrado Oxisol. *Acta Scientiarum. Agronomy* 40: e39322.
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39322>
- Espinosa, J. & Molina, E. 1999. Acidez y Encalado de los Suelos. Instituto de la Potasa y el Fósforo.
- Fageria, N. K. & Baligar, V. C. 2008. Chapter 7 ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in Agronomy* 99: 345–399.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)00407-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0)
- Gómez, K. A. & Gómez, A. A. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
- Rao, I. M.; Miles, J. W.; Beebe, S. E. & Horst, W. J. 2016. Root adaptations to soils with low fertility and aluminium toxicity. *Annals of Botany* 118: 593–605.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcw073>
- Tari, I.; Laskay, G.; Takács, Z. & Poór, P. 2013. Response of sorghum to abiotic stresses: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science* 199: 264–274.
<https://doi.org/10.1111/jac.12017>