

Organic fertilization for the beginning of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivation in savanna soils

Fertilización orgánica para introducir el cultivo de camote (*Ipomoea batatas* L.) en suelos de la sabana

Elton da Silva Dias¹; João Luiz Lopes Monteiro Neto^{2*}; Brito Luís Dresch¹; Rannyonara Oliveira Rodrigues¹; Wellington Farias Araújo²; Edvan Alves Chagas³; Sonicley da Silva Maia²; Raphael Henrique da Silva Siqueira⁴; Pollyana Cardoso Chagas²; Roberto Tadashi Sakazaki²; Edgley Soares-da-Silva²; José de Anchieta Alves de Albuquerque²; Carlos Abanto-Rodríguez⁵

¹Faculdade Roraimense de Ensino Superior. Av. Presidente Juscelino Kubitschek, Bairro Canarinho, Boa Vista, Roraima, CEP. 69306-535, BRASIL.

²Universidade Federal de Roraima – Campus Cauamé. BR 174 km 12, Monte Cristo, Boa Vista, Roraima, CEP. 69300-000, BRASIL.

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rodovia BR 174 km 8, Distrito Industrial, Boa Vista, Roraima, CEP. 69301-970, BRASIL.

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima – Campus Amajari. Rodovia Antonino Menezes da Silva km 03, Amajari, Roraima, CEP. 69343-000, BRASIL.

⁵Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Carretera Federico Basadre km 12400, Yarinacocha, Ucayali, PERU.

*Corresponding author: joao.monteiro.neto@hotmail.com, tel. 559 59 91 59 61 81.

Abstract

Due to limited information on sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivation in uncultivated savanna areas, the objective of this research was to determine the ideal dose and type of organic fertilizer for sweet potato cultivation in savanna soils with no history of use. In four experiments, the following fertilizer doses were tested: cattle manure (0, 10, 20, 30, and 40 t·ha⁻¹), poultry manure (0, 5, 10, 15, and 20 t·ha⁻¹), compost A (0, 0.75, 1.5, 2.25, and 3.0 t·ha⁻¹), and compost B (0, 0.75, 1.5, 2.25, and 3.0 t·ha⁻¹). The fifth experiment consisted of an organic fertilizer efficiency test using applications already recommended for sweet potato crops, which resulted in six treatments: control (without organic fertilization), cattle manure (20 t·ha⁻¹), poultry manure (10 t·ha⁻¹), compost A (1.5 t·ha⁻¹), compost B (1.5 t·ha⁻¹), and compost C (0.375 t·ha⁻¹). In the first four experiments, the products and their recommended doses were defined in order of production efficiency, as follows: poultry manure (doses between 13 and 20 t·ha⁻¹) > cattle manure (doses between 30 and 40 t·ha⁻¹) > compost B (doses between 0.75 and 2.25 t·ha⁻¹) = compost A (doses between 2.25 and 3.00 t·ha⁻¹). The fifth experiment concluded that: 1) poultry manure was the most suitable starting point for sweet potato cultivation in savanna soils and 2) sweet potato yield was directly linked to the commercial root mass, number of commercial roots, and branch productivity, which, in turn, were maximized by an increase in organic matter and satisfactory amounts of phosphorus in the soil.

Keywords: nutrient management, savanna soil, organic material.

Resumen

Debido a la limitada información sobre el cultivo de camote (*Ipomoea batatas* L.) en áreas silvestres de la sabana, el objetivo de este estudio fue determinar la dosis ideal y el tipo de fertilizante orgánico para el cultivo de camote en suelos de la sabana sin antecedentes de explotación. Se probaron diferentes dosis de fertilizantes en cuatro experimentos: estiércol de ganado (0, 10, 20, 30 y 40 t·ha⁻¹), pollinaza (0, 5, 10, 15 y 20 t·ha⁻¹), compost A (0, 0.75, 1.5, 2.25 y 3.0 t·ha⁻¹) y compost B (0, 0.75, 1.5, 2.25 y 3.0 t·ha⁻¹). El quinto experimento consistió en una prueba de eficiencia de fertilizantes orgánicos utilizando dosis recomendadas para el cultivo de camote, lo cual resultó en seis tratamientos: testigo (sin fertilización orgánica), estiércol de ganado (20 t·ha⁻¹), pollinaza (10 t·ha⁻¹), compost A (1.5 t·ha⁻¹), compost B (1.5 t·ha⁻¹) y compost C (0.375 t·ha⁻¹). En los primeros cuatro experimentos, los productos y dosis recomendadas se definieron en orden de eficiencia de producción: pollinaza (dosis entre 13 y 20 t·ha⁻¹) > estiércol de ganado (dosis entre 30 y 40 t·ha⁻¹) > compost B (dosis entre 0.75 y 2.25 t·ha⁻¹) = compost A (dosis entre 2.25 y 3.00 t·ha⁻¹). Con el quinto experimento se concluyó que: 1) la pollinaza fue el fertilizante inicial más adecuado para el cultivo de camote en suelos de la sabana y 2) el rendimiento del camote estuvo vinculado directamente a la masa de las raíces comerciales, el número de raíces comerciales y la productividad de tallos; las cuales, a su vez, fueron maximizadas al incrementar la materia orgánica y las cantidades de fósforo en el suelo.

Palabras clave: manejo de nutrientes, suelo de la sabana, material orgánico.

Please cite this article as follows (APA 6): da Silva Dias, E., Lopes Monteiro Neto, J. L., Dresch, B. L., Oliveira Rodrigues, R., Farias Araújo, W., Alves Chagas, E., da Silva Maia, S., da Silva Siqueira, R. H., Cardoso Chagas, P., Tadashi Sakazaki, R., Soares-da-Silva, E., Alves de Albuquerque, J. A., & Abanto-Rodríguez, C. (2021). Organic fertilization for the beginning of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivation in savanna soils. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(1), 27-42. doi: 10.5154/r.rchsh.2020.05.011



Revista Chapingo
Serie Horticultura

Introduction

The sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) is a storage root used as staple food in many developing countries. It is used as a source of vitamins and minerals in the human diet, standing out for its high yield, broad edaphoclimatic adaptation, drought tolerance, and high genetic variability (Amaro, Fernandes, Silva, Mello, & Castro, 2017; la Bonte, Clarck, Smith, & Villordon, 2011; Vizzotto, dos Santos-Pereira, Suita-de Castro, de Oliveira-Raphaelli, & Krolow, 2018).

In Roraima State, as well as in a large part of the northern region of Brazil, sweet potato crops are being grown in new, small farms, with incipient technical information and a low technological level (Araújo-da Silva et al., 2018). However, its cultivation is potentially viable due to local socioeconomic growth and high demands for this food product. In addition, the natural conditions of savanna soils are limited by their low natural fertility and inappropriate physical conditions (Garcia-Benedetti, Frutuoso-do Vale, Reynaud-Schaefer, Ferreira-Mello, & Pereira-Uchôa, 2011). Because this species has a storage root, savanna soils require intensive preparation (small cultivated ridges), due to their sensitivity to compaction, inadequate aeration, and poor drainage (Rós, 2017). However, adequate conditions can be established by supplying different forms of fertilization (Rós, Narita, & Hirata, 2014).

Organic fertilization is an alternative to mineral fertilization, with advantages in yield, due to the improved availability of nutrients, such as N, P, K, Ca, Mg, and organic C in the soil (Agbede & Adekiya, 2011; Rós et al., 2014). Besides these qualities, which are essential for planting, the application of organic fertilizers has resulted in an increase in the nutritional quality of potatoes, as reported by Atuna et al. (2018). These authors identified a significant increase in β -carotene levels and protein content in sweet potatoes grown with different amounts of poultry manure. Furthermore, an increase in yield reported in sweet potato cropping areas, its economic viability (influenced by the availability of the product), and the residual capacity in the soil for consecutive cultivation should all be analyzed prior to the implementation of commercial-scale cultivation.

Different types of manure and commercial organic conditioners used as fertilizers may lead to a significant increase in production costs, depending on the crop region (Dias-Arieira, dos Santos-Morita, de Oliveira-Arieira, & Codato, 2008). Among these commercial products, some, such as organic soil conditioners, compost A (compound based on humic-rich peat), compost B (composed of 17 % total organic carbon), and compost C (contains N, P_2O_5 , S, B, Cu, Mn,

Introducción

El camote (*Ipomoea batatas* L.) es una raíz de almacenamiento que se utiliza como alimento básico en muchos países en desarrollo. Esta raíz es una fuente de vitaminas y minerales en la dieta humana, y destaca por su alto rendimiento, amplia adaptación edafoclimática, tolerancia a la sequía y alta variabilidad genética (Amaro, Fernandes, Silva, Mello, & Castro, 2017; la Bonte, Clarck, Smith, & Villordon, 2011; Vizzotto, dos Santos-Pereira, Suita-de Castro, de Oliveira-Raphaelli, & Krolow, 2018).

En el estado de Roraima, así como en gran parte de la región norte del Brasil, se han introducido cultivos de camote en explotaciones pequeñas con una incipiente información técnica y un bajo nivel tecnológico (Araújo-da Silva et al., 2018). Sin embargo, su cultivo es potencialmente viable debido al crecimiento socioeconómico local y a la gran demanda de este producto alimenticio, pese a que las condiciones naturales de los suelos de la sabana están limitadas por su baja fertilidad natural y sus condiciones físicas inapropiadas (García-Benedetti, Frutuoso-do Vale, Reynaud-Schaefer, Ferreira-Mello, & Pereira-Uchôa, 2011). El camote tiene una raíz de almacenamiento, por lo que los suelos de la sabana requieren una preparación intensiva (pequeños surcos cultivados) debido a su sensibilidad a la compactación, aireación inadecuada y drenaje deficiente (Rós, 2017). No obstante, se pueden establecer condiciones adecuadas mediante el suministro de diferentes tipos de fertilización (Rós, Narita & Hirata, 2014).

La fertilización orgánica es una alternativa a la fertilización mineral, la cual ofrece ventajas en el rendimiento debido a la mayor disponibilidad de nutrientes como N, P, K, Ca, Mg y C orgánico en el suelo (Agbede & Adekiya, 2011; Rós et al., 2014). Además de estas cualidades, que son esenciales para la siembra, la aplicación de fertilizantes orgánicos ha producido un aumento de la calidad nutricional de los camotes, como lo informan Atuna et al. (2018). Estos autores identificaron un aumento significativo de los niveles de β -caroteno y contenido de proteínas en camotes cultivados con diferentes cantidades de pollinaza. No obstante, antes de implementar el cultivo a escala comercial, es necesario analizar el incremento en el rendimiento registrado en las zonas de cultivo de camote, la viabilidad económica (influenciada por la disponibilidad del producto) y la capacidad residual del suelo para el cultivo consecutivo.

Los diferentes tipos de estiércol y de mejoradores orgánicos comerciales utilizados como fertilizantes pueden provocar un aumento significativo en los costos de producción dependiendo de la región de cultivo (Dias-Arieira, dos Santos-Morita, de

Zn, and humic substances), have been widely used for various crops.

Sweet potato is mainly intended for fresh consumption and the manufacture of flour and starch (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2018), being the eighth most produced crop in Roraima, with 1,486 t per year in an area of 76 ha. However, information on the cultivation of sweet potatoes under edaphoclimatic conditions in the savanna of Roraima is necessary due to an increase in demand and a lack of recommendations regarding organic fertilization. In this context, the objective of this work was to determine the effect of different organic fertilizers on sweet potato production in savanna soil in Roraima, Brazil, during the first year of cultivation.

Material and methods

The experimental work was performed from March to September 2017 in a privately-owned area (Santa Cruz Farm) in the municipality of Boa Vista, Roraima State, Brazil (02° 45' 42.1" NL and 60° 51' 11.8" WL, at 96 m a. s. l.). The climate in the region is Awi type, according to the Köppen classification, with an average annual rainfall of 1,678 mm, 70 % relative humidity, and a mean temperature of 27.4 °C, with a well-defined rainy season from April to September and a dry season from October to March (Araújo, Andrade, Medeiros, & Sampaio, 2001).

Soil characterization in the experimental area

The soil, without cultivation records, was characterized as yellow oxisol, with the following physicochemical composition in the 0-20 cm layer, as determined according to the methodology of Claessen, de Oliveira-Barreto, Lopes-de Paula, and Nascimento-Duarte (1997): pH (H₂O) = 4.48, Ca²⁺ = 0.80 cmol_c·dm⁻³, Mg²⁺ = 0.40 cmol_c·dm⁻³, K⁺ = 0.02 cmol_c·dm⁻³, Al³⁺ = 0.20 cmol_c·dm⁻³, H+Al = 3.0 cmol_c·dm⁻³, P = 1.80 mg·dm⁻³, sum of bases = 1.22 cmol_c·dm⁻³, total cation exchange capacity – total CEC (T) = 4.22 cmol_c·dm⁻³, effective CEC (t) = 1.42 cmol_c·dm⁻³, base saturation (BS) = 28.92 %, aluminum saturation (AS) = 14.08 %, organic matter (OM) = 5.06 g·kg⁻¹, clay = 4.0 %, silt = 4.0 %, and sand = 92.0 %. According to Rós et al. (2014), these nutrient levels are low for the cultivation of sweet potatoes. The experimental field preparation consisted of constructing raised beds of 2 x 1 m (2 m²) and applying 2 t·ha⁻¹ of dolomitic limestone and incorporating it to a depth of 20 cm.

Experimental design, treatments, and analyzed variables

In the present study, five independent simultaneous experiments were performed with the aim of offering

Oliveira-Arieira, & Codato, 2008). Algunos productos comerciales, como los mejoradores orgánicos de suelos, el compost A (compuesto a base de turba rica en humus), el compost B (integrado de 17 % de carbono orgánico total) y el compost C (contiene N, P₂O₅, S, B, Cu, Mn, Zn y sustancias húmicas), han sido ampliamente utilizados en diversos cultivos.

El principal destino del camote es el consumo en fresco, así como la elaboración de harina y almidón (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística [IBGE], 2018), siendo el octavo cultivo más producido en Roraima, con un total de 1,486 t anuales en una superficie de 76 ha. Sin embargo, es necesario contar con información sobre este cultivo en las condiciones edafoclimáticas de la sabana de Roraima, debido al aumento de su demanda y a la falta de recomendaciones sobre su fertilización orgánica. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de diferentes fertilizantes orgánicos en la producción de camote en suelos de la sabana de Roraima, Brasil, durante su primer año de cultivo.

Materiales y métodos

El trabajo experimental se realizó de marzo a septiembre de 2017 en el Rancho Santa Cruz ubicado en el municipio de Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil (02° 45' 42.1" latitud norte y 60° 51' 11.8" longitud oeste, a 96 m s. n. m.). El clima de la región es del tipo Awi de acuerdo con la clasificación de Köppen, con una precipitación media anual de 1,678 mm, una humedad relativa de 70 % y una temperatura media de 27.4 °C, con una estación de lluvias bien definida de abril a septiembre y una estación seca de octubre a marzo (Araújo, Andrade, Medeiros, & Sampaio, 2001).

Caracterización del suelo en el área experimental

El suelo, sin antecedentes de cultivo, se caracterizó como oxisol amarillo con la siguiente composición físico-química en la capa de 0 a 20 cm, determinada mediante la metodología de Claessen, de Oliveira-Barreto, Lopes-de Paula y Nascimento-Duarte (1997): pH (H₂O) = 4.48, Ca²⁺ = 0.80 cmol_c·dm⁻³, Mg²⁺ = 0.40 cmol_c·dm⁻³, K⁺ = 0.02 cmol_c·dm⁻³, Al³⁺ = 0.20 cmol_c·dm⁻³, H+Al = 3.0 cmol_c·dm⁻³, P = 1.80 mg·dm⁻³, suma de bases = 1.22 cmol_c·dm⁻³, capacidad total de intercambio catiónico - CIC total (T) = 4.22 cmol_c·dm⁻³, CIC efectiva (t) = 1.42 cmol_c·dm⁻³, saturación de bases (SB) = 28.92 %, saturación de aluminio (SA) = 14.08 %, materia orgánica (MO) = 5.06 g·kg⁻¹, arcilla = 4.0 %, limo = 4.0 % y arena = 92.0 %. De acuerdo con Rós et al. (2014), estos niveles de nutrientes son bajos para el cultivo de camote. La preparación del terreno experimental consistió en formar camas elevadas de 2 x 1 m (2 m²) y aplicar 2 t·ha⁻¹ de caliza dolomítica a una profundidad de 20 cm.

two options for the use of organic fertilizers for sweet potato crops in previously uncultivated savanna soils. The first four experiments were performed to determine the most efficient doses of four organic fertilizers. These included experiment (EX) 1-4: cattle manure (0, 10, 20, 30, and 40 t·ha⁻¹), poultry manure (0, 5, 10, 15, and 20 t·ha⁻¹), compost A (0.00, 0.75, 1.5, 2.25, and 3.00 t·ha⁻¹), and compost B (0.00, 0.75, 1.5, 2.25, and 3.00 t·ha⁻¹).

The fifth experiment (EX 5) aimed to compare organic fertilizers in commercially recommended application amounts to provide easily usable information for sweet potato growers in savanna regions. The same sources of organic fertilizer from the previous experiments were used, however, now with the addition of a new compost (C) and a control treatment, totaling six treatments: 1) control (without organic fertilization), 2) cattle manure (20 t·ha⁻¹), 3) poultry manure (10 t·ha⁻¹), 4) compost A (1.5 t·ha⁻¹), 5) compost B (1.5 t·ha⁻¹), and 6) compost C (0.375 t·ha⁻¹).

Poultry and cattle manure, acquired from a commercial farm and from extensively reared animals, respectively, were sieved through a 10 mm mesh. The other products (compost A [Ribumim®], compost B [Fertium®], and compost C [MAP Gold®]) were purchased commercially and had the following specifications: compost A, soil conditioner based on humic-rich peat, with a total CEC of 80 cmolc·dm⁻³, a water-retention capacity (WRC) of 80 %, and a total organic carbon (TOC) content of 14 %; compost B, soil conditioner with a high content of humic substances from the humification of organic materials, with 17 % TOC, 90 cmolc·dm⁻³ total CEC, 60 % WRC, a dark color, and a density of 0.95 g·cm⁻³; compost C, soil conditioner with 9 % N, 40 % P₂O₅, 15 % S, 0.1 % B, 0.05 % Cu, 0.3 % Mn, 0.5 % Zn, and 0.6 % humic substances.

In these five experiments, a randomized block design was used, using three blocks (repetitions) in each experiment. Each experimental unit consisted of 14 plants cultivated in layers containing double rows of 0.3 m between plants x 0.4 m between rows, corresponding to a stand of 70,000 plants·ha⁻¹.

At 107 days after planting, the following variables were evaluated in the first four experiments: branch productivity (BP; t·ha⁻¹), number of commercial roots (NCR; ha⁻¹), commercial root productivity (CRP; t·ha⁻¹), total productivity (TP; t·ha⁻¹), and commercial root mass (CRM; g). For TP, roots with a mass equal to or greater than 40 g were considered. For CRP and NCR, roots with a mass of fresh matter between 80 and 1,000 g and of good appearance (uniform and smooth) were considered (Rós et al., 2014). BP was measured using dry matter obtained after 72 h in the oven, which is a necessary period to obtain a constant mass.

Diseño experimental, tratamientos y variables analizadas

Se realizaron cinco experimentos simultáneos e independientes con el fin de ofrecer dos opciones para el uso de fertilizantes orgánicos en el cultivo de camote en suelos de la sabana no cultivados anteriormente. Los primeros cuatro experimentos se establecieron para determinar las dosis más eficientes de cuatro fertilizantes orgánicos (experimento [EX] 1 a 4): estiércol de ganado (0, 10, 20, 30 y 40 t·ha⁻¹), pollinaza (0, 5, 10, 15 y 20 t·ha⁻¹), compost A (0.00, 0.75, 1.5, 2.25 y 3.00 t·ha⁻¹) y compost B (0.00, 0.75, 1.5, 2.25 y 3.00 t·ha⁻¹).

El quinto experimento (EX 5) tuvo por objeto comparar fertilizantes orgánicos en las cantidades comerciales recomendadas para proporcionar información útil para los agricultores de camote en las regiones de la sabana. Se utilizaron las mismas fuentes de fertilizante orgánico de los experimentos anteriores, más una adicional (compost C) y un tratamiento testigo, lo cual dio un total de seis tratamientos: 1) testigo (sin fertilización orgánica), 2) estiércol de ganado (20 t·ha⁻¹), 3) pollinaza (10 t·ha⁻¹), 4) compost A (1.5 t·ha⁻¹), 5) compost B (1.5 t·ha⁻¹) y 6) compost C (0.375 t·ha⁻¹).

La pollinaza y el estiércol de ganado se adquirieron en una granja comercial y una de animales criados extensivamente, respectivamente; ambos se cernieron con una malla de 10 mm. Los otros productos (compost A [Ribumim®], compost B [Fertium®] y compost C [MAP Gold®]) se adquirieron comercialmente y tuvieron las siguientes especificaciones: el compost A (mejorador de suelo basado en turba rica en humus) tenía una CIC total de 80 cmolc·dm⁻³, una capacidad de retención de agua (CRA) de 80 % y un contenido total de carbono orgánico (CCO) de 14 %; el compost B (mejorador de suelo con alto contenido de sustancias húmicas derivadas de la humificación de materiales orgánicos) tenía un CCO de 17 %, CIC total de 90 cmolc·dm⁻³, CRA de 60 %, color oscuro y una densidad de 0.95 g·cm⁻³, y el compost C (mejorador de suelo) tenía 9 % de N, 40 % de P₂O₅, 15 % de S, 0.1 % de B, 0.05 % de Cu, 0.3 % de Mn, 0.5 % de Zn y 0.6 % de sustancias húmicas.

En los cinco experimentos se utilizó un diseño de bloques aleatorios, con tres bloques (repeticiones) en cada experimento. Cada unidad experimental constó de 14 plantas cultivadas en hileras dobles de 0.3 m entre plantas x 0.4 m entre hileras, lo cual corresponde a 70,000 plants·ha⁻¹.

A los 107 días de haber plantado, se evaluaron las siguientes variables en los primeros cuatro experimentos: productividad de tallos (Pt; t·ha⁻¹), número de raíces comerciales (NRC; ha⁻¹), productividad de raíces comerciales (PRC; t·ha⁻¹), productividad total

In the fifth experiment, the following variables were evaluated: BP, NCR, CRP, TP, CRM, commercial root length (CRL; cm), commercial root diameter (CRD; cm), total soluble solids (TSS; °Brix) of the potatoes, and residual chemicals in the soil after harvest (pH [H₂O], Ca⁺² [cmol_c·dm⁻³], Mg⁺² [cmol_c·dm⁻³], K [cmol_c·dm⁻³], P [mg·dm⁻³], base saturation [V %] and soil organic matter [SOM; g·kg⁻¹]).

CRP, CRD, and TSS were measured immediately after harvest using a digital caliper, a graduated ruler, and a portable digital refractometer, respectively. Values were obtained from the average of five randomly chosen roots in each repetition. For the analysis of the residual chemical input of the different treatments, composite samples of each portion of the 0-20 cm layer were collected and sent to a laboratory for chemical analysis, two days after collection.

At the time of product application, which was performed by manual incorporation at the site, 300 kg·ha⁻¹ of triple superphosphate (00-36-00) and 400 kg·ha⁻¹ of N-P-K (04-30-10) were also applied. At 30 days after planting a covering fertilization of 200 kg·ha⁻¹ of N-P-K (20-00-20) was applied.

From planting, when the sweet potato seedlings cv. Canadians had an average of 6 to 8 knots and were 30 cm in length, complementary irrigation by conventional spraying was performed until harvest. However, this system was rarely activated because the soil remained moist for almost the entire experimental period. Weed control was achieved by manual grubbing. Plants were monitored for symptoms of white rust (*Albugo Ipomoeae-panduranae*) and when identified, a systemic fungicide (Tenaz 250 SC) of the triazole chemical group was applied once. This treatment delivered 250 g·L⁻¹ (recommended dosage) of the active ingredient, Flutriafol.

Statistical analysis

After testing for normal distribution (Lilliefors) and homogeneity (Cochram) of variances, data were subjected to analysis of variance. A regression analysis was then performed on the significant effects ($P \leq 0.05$) of fertilizer treatments in the first four experiments, testing the linear and quadratic models. Tukey's test ($P \leq 0.05$) was used to compare the evaluated products in the fifth experiment. All data were analyzed using the Sisvar statistical program (Ferreira, 2011). To determine the correlation between treatments and variables analyzed in the fifth experiment, a multivariate analysis of the principal components (PCs) was applied, using the statistical package, Infostat (Di-Rienzo et al., 2008).

(PT; t·ha⁻¹) y masa de raíces comerciales (MRC; g). Para la PT se consideraron las raíces con masa igual o superior a 40 g. Para la PRC y el NRC, se consideraron las raíces con masa de materia fresca entre 80 y 1,000 g, y de buen aspecto (uniformes y lisas) (Rós et al., 2014). La Pt se midió utilizando la materia seca obtenida después de 72 h en el horno, que es el período necesario para obtener una masa constante.

En el quinto experimento, las variables evaluadas fueron: Pt, NRC, PRC, PT, MRC, longitud de raíces comerciales (LRC; cm), diámetro de raíces comerciales (DRC; cm), sólidos solubles totales (SST; °Brix) de los camotes y sustancias químicas residuales en el suelo después de la cosecha (pH [H₂O], Ca⁺² [cmol_c·dm⁻³], Mg⁺² [cmol_c·dm⁻³], K [cmol_c·dm⁻³], P [mg·dm⁻³], saturación de bases [V %] y materia orgánica del suelo [MOS; g·kg⁻¹]).

La PRC, el DRC y los SST se midieron inmediatamente después de la cosecha, para lo cual se utilizó un calibrador digital, una regla graduada y un refractómetro digital portátil, respectivamente. Los resultados fueron el promedio de cinco raíces elegidas aleatoriamente en cada repetición. Para el análisis del aporte químico residual de los diferentes tratamientos, se recogieron muestras compuestas de cada porción de la capa de 0 a 20 cm y se enviaron a un laboratorio para su análisis químico dos días después de la recolección.

Al momento de aplicar el producto de manera manual, también se aplicaron 300 kg·ha⁻¹ de superfosfato triple (00-36-00) y 400 kg·ha⁻¹ de N-P-K (04-30-10). A los 30 días de haberse plantado, se administró una fertilización de cobertura de 200 kg·ha⁻¹ de N-P-K (20-00-20).

Desde la plantación, cuando las plántulas de camote cv. Canadians tenían de 6 a 8 nudos y medían 30 cm de altura, se aplicó riego complementario por aspersión convencional hasta la cosecha. No obstante, este sistema se activó sólo ocasionalmente debido a que el suelo permaneció húmedo durante casi todo el período experimental. El control de malezas se logró mediante arranque manual. Las plantas se monitorearon para detectar síntomas de roya blanca (*Albugo Ipomoeae-panduranae*), y cuando se identificaron, se aplicaron 250 g·L⁻¹ (dosis recomendada) de un fungicida sistémico (Tenaz 250 SC) del grupo químico triazol, cuyo ingrediente activo es el Flutriafol.

Análisis estadístico

Después de comprobar la distribución normal (Lilliefors) y la homogeneidad (Cochram) de las varianzas, los datos se sometieron a un análisis de la varianza. Posteriormente, se realizó un análisis de regresión de los efectos significativos ($P \leq 0.05$) de los tratamientos

Results

Evaluation of organic fertilizer doses (EX 1–4)

Positive responses to complementary organic fertilization were identified for all production variables ($P \leq 0.05$). The different fertilizers showed significant variation with increasing application rates.

Branch productivity

The organic fertilizers promoted a significant increase in the BP, presenting a linear model for both types of manure and for the fertilizer, compost A; however, the results of compost B treatment fit a quadratic model, with increasing rates applied (Figure 1). Poultry manure promoted the highest BP, with $6.37 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ produced at the highest application rate ($20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), with an increment of $1.12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ of BP for each $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ of applied manure (Figure 1a). Although there were similarities observed in the adjusted models of cattle and poultry manure, the highest rate ($40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) resulted in $3.54 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$

con fertilizante en los primeros cuatro experimentos, probando los modelos lineal y cuadrático. La prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) se utilizó para comparar los productos evaluados en el quinto experimento. Todos los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico Sisvar (Ferreira, 2011). Para determinar la correlación entre los tratamientos y las variables analizadas en el quinto experimento, se aplicó un análisis multivariado de componentes principales (CP) utilizando el paquete estadístico Infostat (Di-Rienzo et al., 2008).

Resultados

Evaluación de las dosis de fertilizante orgánico (EX 1–4)

Se identificaron respuestas positivas a la fertilización orgánica complementaria en todas las variables ($P \leq 0.05$). Los diferentes fertilizantes mostraron variaciones significativas al aumentar las dosis de aplicación.

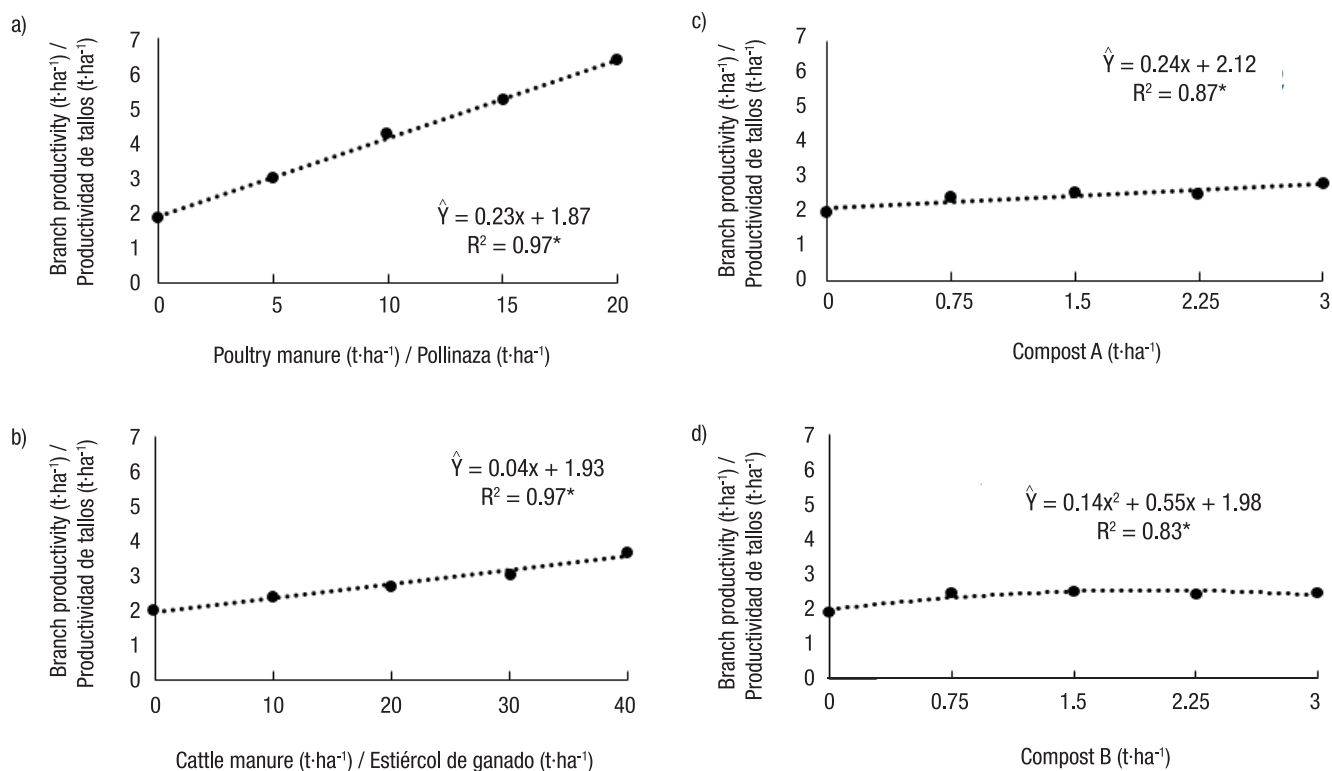


Figure 1. Branch productivity of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) after application of poultry manure (a), cattle manure (b), compost A (c), and compost B (d).

Figura 1. Productividad de tallos de camote (*Ipomoea batatas* L.) al aplicar pollinaza (a), estiércol de ganado (b), compost A (c) y compost B (d).

of BP, with $0.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ for each $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ of applied cattle manure (Figure 1b).

The BP obtained with cattle manure was higher than that obtained with the highest dose of compost A ($3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), which was $2.82 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. The intermediate concentrations of compost A (0.75 , 1.5 and $2.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) showed small differences between them, but promoted a higher BP than mineral fertilization (rate 0, Figure 1c). Regarding commercial fertilizers, the adjusted quadratic model observed for compost B treatment resulted in a maximum BP of $2.53 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, at an application rate of $1.99 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figure 1d).

Number of commercial roots

For the NCR, all products, except compost A, fit the quadratic model with increasing doses applied (Figure 2). The most significant values for the NCR were obtained with poultry manure, when applied at a rate of $13.95 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, leading to a maximum production of 473.8 thousand commercial roots per ha. It should

Productividad de tallos

Los fertilizantes orgánicos promovieron un aumento significativo en la Pt, presentando un modelo lineal con ambos tipos de estiércol y con el compost A; mientras que los resultados del tratamiento con el compost B se ajustan a un modelo cuadrático con dosis crecientes aplicadas (Figura 1). La pollinaza promovió la mayor Pt con la dosis más alta ($20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) al producir $6.37 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ y un incremento de $1.12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Pt por cada $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol aplicado (Figura 1a). Aunque se observaron similitudes en los modelos ajustados de estiércol de ganado y pollinaza, la dosis más alta de estiércol de ganado ($40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) produjo $3.54 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Pt, con un incremento de $0.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ por cada $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol aplicado (Figura 1b).

La Pt con el estiércol de ganado fue mayor que la obtenida con la dosis más alta del compost A ($3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), la cual fue de $2.82 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Las concentraciones intermedias del compost A (0.75 , 1.5 y $2.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) presentaron pequeñas diferencias entre sí, pero

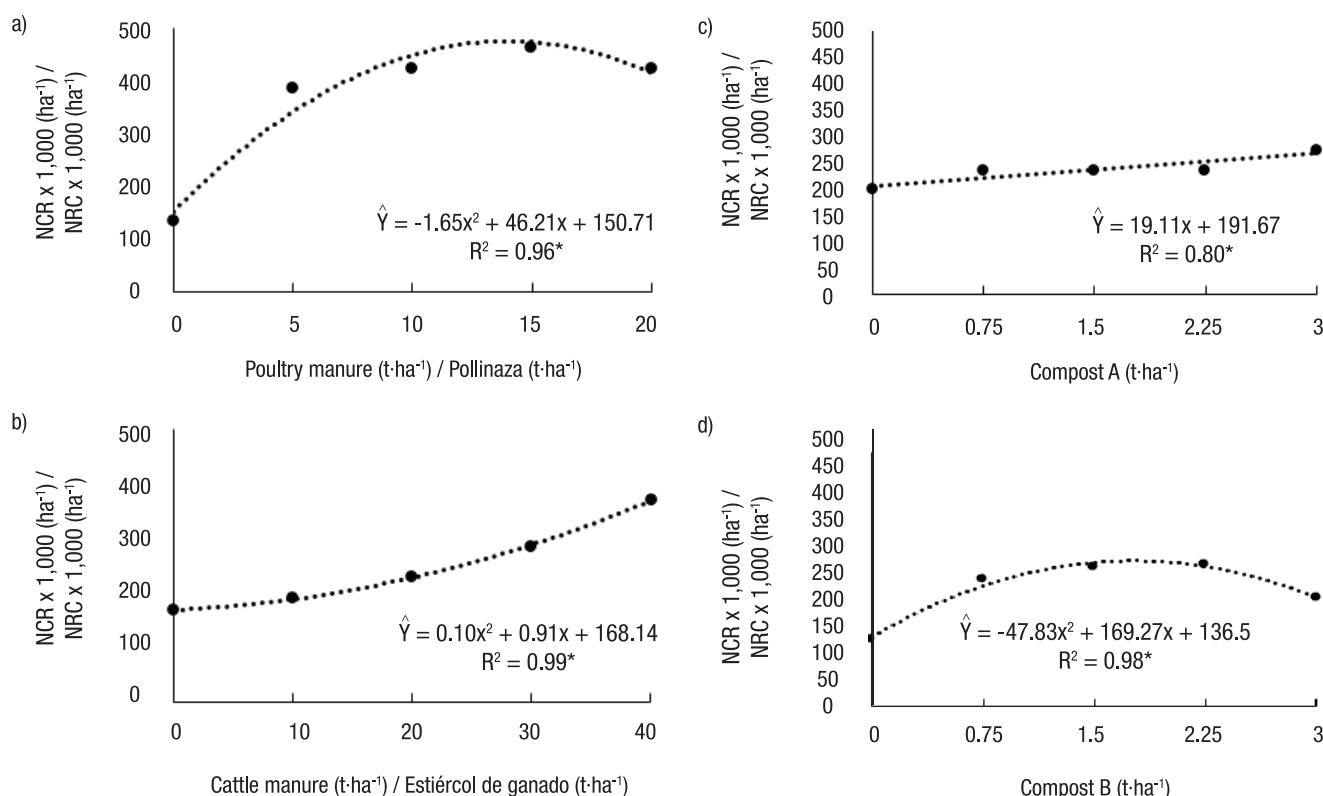


Figure 2. Number of commercial roots (NCR) of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) after application of poultry manure (a), cattle manure (b), compost A (c), and compost B (d).

Figura 2. Número de raíces comerciales (NRC) de camote (*Ipomoea batatas* L.) al aplicar pollinaza (a), estiércol de ganado (b), compost A (c) y compost B (d).

be noted that the use of manure, regardless of the rate applied, resulted in a doubling of sweet potato production compared with the use of mineral-based fertilizer (Figure 2a), thus confirming the positive effects of organic fertilization.

Although increasing doses of cattle manure increased the NCR, the quadratic model was adopted because the growth rate only increased significantly after the application of 20 t·ha⁻¹. This indicated that the highest NCR was obtained with high doses of cattle manure, with the 40 t·ha⁻¹ dose being the most effective, producing 368.2 thousand commercial roots per ha (Figure 2b).

The most effective application rate of compost B (1.77 t·ha⁻¹) produced 282.83 thousand commercial roots per ha (Figure 2d), resulting in a higher number of sweet potatoes (249 thousand·ha⁻¹) than the highest application rate of compost A (Figure 2c).

Total and commercial productivity of roots

Similarities in TP and CRP as a function of the applied doses were observed in all products evaluated, with quadratic responses to poultry manure and compost B levels and linear responses to increasing doses of bovine manure and compost A (Figure 3). The values

promovieron una Pt mayor que la fertilización mineral (dosis 0, Figura 1c). En cuanto al fertilizante comercial compost B, el modelo cuadrático ajustado observado dio como resultado una Pt máxima de 2.53 t·ha⁻¹, con una dosis de aplicación de 1.99 t·ha⁻¹ (Figura 1d).

Número de raíces comerciales

En el caso del NRC, todos los productos, excepto el compost A, se ajustaron a un modelo cuadrático con dosis crecientes aplicadas (Figura 2). Los valores más significativos para el NRC se obtuvieron con pollinaza al aplicar 13.95 t·ha⁻¹, lo cual condujo a una producción máxima de 473.8 mil raíces comerciales por ha. Cabe señalar que el uso de estiércol, independientemente de la dosis aplicada, duplicó la producción de camote en comparación con el uso de fertilizantes de origen mineral (Figura 2a), lo cual confirma los efectos positivos de la fertilización orgánica.

Aunque el incremento de las dosis de estiércol de ganado aumentó el NRC, se adoptó el modelo cuadrático porque la tasa de crecimiento aumentó significativamente solamente después de la aplicación de 20 t·ha⁻¹. Esto indicó que el mayor NRC se obtuvo con altas dosis de estiércol de ganado, siendo la dosis de 40 t·ha⁻¹ la más efectiva al producir 368.2 mil raíces comerciales por ha (Figura 2b).

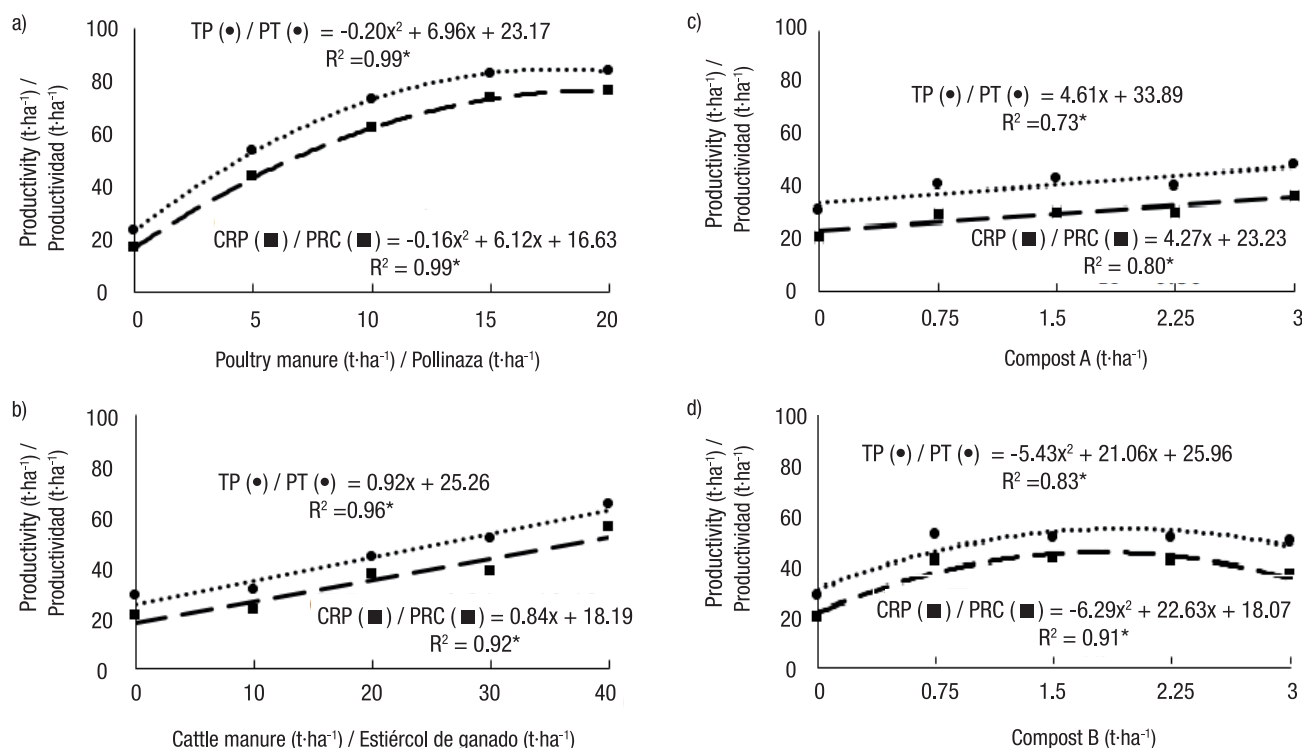


Figure 3. Total productivity (TP) and commercial productivity (CRP) of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) after application of poultry manure (a), cattle manure (b), compost A (c), and compost B (d).

Figura 3. Productividad total (PT) y comercial (PRC) de camote (*Ipomoea batatas* L.) al aplicar pollinaza (a), estiércol de ganado (b), compost A (c) y compost B (d).

of CRP were high in relation to the TP obtained with increasing fertilizer application doses tested (Figure 3). These results show that each organic fertilizer used, regardless of the application rate, promote higher percentages of commercial yield compared to absence of organic fertilization. Therefore, organic fertilization promoted a higher yield of commercial sweet potatoes.

A TP of $86.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of potatoes was obtained with the application of $17.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of chicken manure, while the highest CRP ($76.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) was obtained with the application $19.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of the same manure (Figure 3A). These results, also observed for other variables, were better than those obtained with the maximum application rate of cattle manure ($40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), which resulted in a TP of $62.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ and a CRP of $51.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figure 3b).

Although different responses were observed among the different commercial organic fertilizers, they were not as effective as the two types of manure. The productivity values obtained with the highest dose of compost A ($3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) were $46.1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ for TP and $36.0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ for CRP (Figure 3c). These values were similar to those obtained with compost B, which resulted in a TP of $46.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, using a dose of $1.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, and a CRP of $38.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, using a dose of $1.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figure 3d).

Commercial root mass

Among the variables analyzed, only the different doses of cattle manure were significantly different from each other regarding CRM (showing a linear relationship), resulting in a mean root biomass of 176.4 g at the $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ application rate (Figure 4). The use of poultry manure, compost B, and compost A resulted in CRM means of 140.7 , 134.3 , and 133.61 g , respectively, regardless of application rate. These data indicate that the difference in productivity between doses of each product is directly influenced by the amount of

La dosis más efectiva del compost B ($1.77 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) produjo 282.83 mil raíces comerciales por ha (Figura 2d), más camotes de los obtenidos con la mayor dosis del compost A ($249 \text{ mil}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Figura 2c).

Productividad total y comercial de raíces

Se observaron similitudes en las PT y PRC en función de las dosis aplicadas en todos los productos evaluados, con respuestas cuadráticas a los niveles de pollinaza y de compost B, y respuestas lineales a las dosis crecientes de estiércol de bovino y de compost A (Figura 3). Los valores de la PRC se elevaron en relación con la PT obtenida con las dosis crecientes de fertilizante (Figura 3). Estos resultados muestran que cada fertilizante orgánico utilizado, independientemente de la dosis de aplicación, promueve porcentajes más altos de rendimiento comercial en comparación con la ausencia de fertilización orgánica. Por consiguiente, la fertilización orgánica causó un mayor rendimiento de los camotes.

Se obtuvo una PT de camote de $86.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ con la aplicación de $17.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de pollinaza, mientras que la PRC más alta ($76.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) se logró con $19.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de pollinaza (Figura 3a). Estos resultados, también observados en otras variables, fueron mejores que los alcanzados con la dosis máxima de estiércol de ganado ($40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), la cual resultó en una PT de $62.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y una PRC de $51.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 3b).

Aunque se observaron respuestas diferentes entre los fertilizantes orgánicos comerciales, estos no fueron tan eficaces como los dos tipos de estiércol. Los valores de productividad obtenidos con la mayor dosis del compost A ($3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) fueron de $46.1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para la PT y de $36.0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para la PRC (Figura 3c). Estos valores fueron similares a los obtenidos con el compost B, que dio como resultado una PT de $46.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ con una dosis de $1.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y una PRC de $38.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ con una dosis de $1.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 3d).

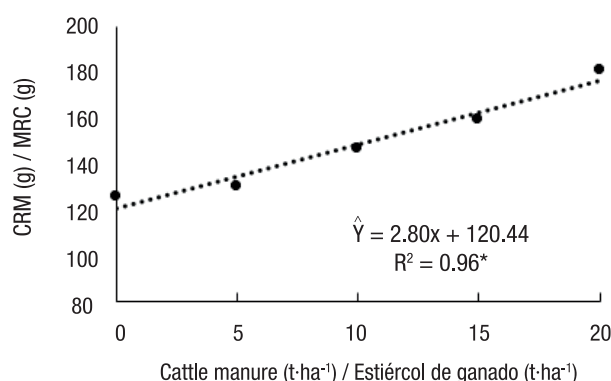


Figure 4. Commercial root mass (CRM) of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) after application of cattle manure.
Figura 4. Masa de raíces comerciales (MRC) de camote (*Ipomoea batatas* L.) al aplicar estiércol de ganado.

roots produced, and not by the size of the sweet potatoes produced.

Comparative analysis of organic fertilizers (EX 5)

All yield parameters, except CRM and TSS content, had statistical differences between treatments, indicating that organic fertilization did not influence the root mass or sugar content of sweet potatoes (Table 1). The results obtained for NCR, TP, and CRP confirmed the superiority of poultry manure over other fertilizers, even though poultry manure application resulted in a smaller CRD than the application of compost C. While the other fertilizers resulted in lower yields compared to poultry manure, they had a greater effect than basic chemical fertilization (control) on the variables NCR, TP, CRP, and CRL, thus reinforcing the importance of organic fertilization for sweet potatoes in savanna soils.

Residual chemical input of organic fertilization after sweet potato cultivation

The residual nutrient content of the soil after harvesting provided support for yield inferences. For pH and Ca^{2+} , regardless of the fertilizer applied, measured values were above 6.5 and 0.9 $\text{cmol}_c\text{-dm}^{-3}$, respectively, with the exception of compost C and compost A. Poultry manure, which was responsible for the highest yield increases, provided the highest nutrient accumulation after harvest, as indicated by P content and BS values.

Masa de las raíces comerciales

Entre las variables analizadas, únicamente las diferentes dosis del estiércol de ganado fueron significativamente diferentes entre sí en cuanto a la MRC (mostrando una relación lineal), lo cual resultó en una biomasa promedio de 176.4 g al aplicar 20 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 4). El uso de pollinaza, compost B y compost A produjo una MRC promedio de 140.7, 134.3 y 133.61 g, respectivamente, independientemente de la dosis de aplicación. Estos datos indican que la diferencia de productividad entre las dosis de cada producto se ve influenciada directamente por la cantidad de raíces producidas, y no por el tamaño de los camotes producidos.

Análisis comparativo de los fertilizantes orgánicos (EX 5)

Todos los parámetros de rendimiento, excepto la MRC y los SST, presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, lo cual indica que la fertilización orgánica no influyó en la masa radicular ni en el contenido de azúcar de los camotes (Cuadro 1). Los resultados obtenidos para el NRC, la PT y la PRC confirmaron la superioridad de la pollinaza sobre otros fertilizantes, aunque la aplicación de este tipo de estiércol generó menores DRC que el uso del compost C. Si bien los otros fertilizantes dieron lugar a menores rendimientos en comparación con la pollinaza, éstos tuvieron un mayor efecto sobre el NRC, la PT, la PRC y

Table 1. Production variables of sweet potatoes (*Ipomoea batata* L.) using different organic fertilizers.

Cuadro 1. Variables de producción de camote (*Ipomoea batata* L.) utilizando diferentes fertilizantes orgánicos.

Treatments/ Tratamientos	BP ¹ ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)/ Pt ¹ ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	NCR ($\text{unit}\cdot\text{ha}^{-1}$) x 1,000/ NRC ($\text{unit}\cdot\text{ha}^{-1}$) x 1,000	TP ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)/ PT ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	CRP ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)/ PRC ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	CRM (g)/ MRC (g)	CRL (cm)/ LRC (cm)	CRD (cm)/ DRC (cm)	TSS (°Brix)/ SST (°Brix)
Control/Testigo	1.8 c ^z	133.3 c	22.9 c	16.5 c	125.4 a	7.10 b	3.46 b	8.5 a
Cattle manure/ Estiércol de ganado	2.7 bc	228.3 b	43.7 b	37.2 b	170.6 a	20.43 a	3.66 b	8.7 a
Poultry manure/ Pollinaza	4.2 a	423.3 a	73.2 a	62.0 a	146.5 a	21.76 a	3.76 b	7.9 a
Compost A	2.6 c	220.0 b	43.2 b	30.1 b	138.3 a	20.80 a	3.80 b	8.2 a
Compost B	2.5 c	271.7 b	43.2 b	36.1 b	133.1 a	19.06 a	3.93 b	8.1 a
Compost C	3.7 ab	226.7 b	43.3 b	36.1 b	162.4 a	20.50 a	4.70 a	9.2 a
LSD/DMSH	0.97	83.7	12.7	18.8	110.8	4.9	1.3	1.9

¹BP = branch productivity; NCR = number of commercial roots; TP = total productivity; CRP = commercial root productivity; CRM = commercial root mass; CRL = commercial root length; CRD = commercial root diameter; TSS = total soluble solids; LSD = least significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹Pt = productividad de tallos; NRC = número de raíces comerciales; PT = productividad total; PRC = productividad de raíces comerciales; MRC = masa de raíces comerciales; LRC = longitud de raíces comerciales; DRC = diámetro de raíces comerciales; SST = sólidos solubles totales; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Table 2. Values of pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K, P, base saturation (BS), and soil organic matter (SOM) in savanna soil cultivated with sweet potatoes using different organic fertilizers.

Cuadro 2. Valores de pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K, P, saturación de bases (SB) y materia orgánica del suelo (MOS) en suelos de la sabana cultivados con camotes utilizando diferentes fertilizantes orgánicos.

Treatments/ Tratamientos	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K	P (mg·dm ⁻³)	BS (%) / SB (%)	SOM (g·kg ⁻¹) / MOS (g·kg ⁻¹)
		cmol _c ·dm ⁻³					
Before cultivation/ Antes del cultivo	4.48	0.80	0.40	0.02	1.80	28.92	5.06
Control/Testigo	6.76 a ^z	0.99 a	0.50 a	0.01 b	29.31 b	65.6 b	5.86 b
Cattle manure/ Estiércol de ganado	6.60 a	1.03 a	0.39 a	0.01 b	39.98 b	63.6 b	8.56 a
Poultry manure/ Pollinaza	6.93 a	1.16 a	0.27 ab	0.01 b	135.23 a	71.3 a	7.94 a
Compost A	5.53 b	0.30 c	0.26 ab	0.01 b	44.02 b	50.6 c	7.39 a
Compost B	6.73 a	0.91 a	0.39 a	0.01 b	32.26 b	61.0 b	7.93 a
Compost C	5.63 b	0.80 b	0.08 b	0.05 a	34.43 b	20.0 d	7.16 a
LSD/DMSH	0.96	0.07	0.24	0.02	18.21	8.23	1.70

Ca²⁺ = exchangeable calcium; Mg²⁺ = exchangeable magnesium; K = potassium; P = total phosphorus. LSD = least significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

Ca²⁺ = calcio intercambiable; Mg²⁺ = magnesio intercambiable; K = potasio; P = fósforo total. DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

However, poultry manure grouped with the other fertilizers showed lower K values than those obtained with compost C (Table 2). The SOM values were higher when organic fertilizer was applied compared to the application of conventional fertilizers, which resulted in little change in SOM content through the course of the experiment (Table 2). SOM was the main differentiating factor between organic and conventional fertilizers.

Characterization of treatments and original variables by principal components

The analyses showed that the first two PC explained 83.2 % of the variance in the original variables (Table 3). Of these, PC1 and PC2 contributed 41.9 % and 41.3 % of the variance, respectively.

According to the method of Tobar-Tosse et al. (2015), the variables were considered relevant, with an absolute value exceeding 0.5. In this sense, the variables that presented the greatest discriminatory power in PC1 were the NCR (0.97), TP (0.97), CP (0.96), P content (0.90), BP (0.73), SOM (0.68), CRL (0.65), Ca²⁺ content (0.63), and TSS (-0.59). According to Tobar-Tosse et al. (2015), variables with the same sign act directly, that is, when the value of one variable increases, the value of the other also increases. By contrast, variables with opposite signs act inversely, such that when the value of one variable increases, the value of the other decreases. Thus, the variables NCR, TP, CRP, P content, BP, SOM, CRL, and Ca²⁺ content act

la LRC que el testigo, lo cual refuerza la importancia de la fertilización orgánica para los camotes en los suelos de la sabana.

Aporte químico residual de la fertilización orgánica después del cultivo de camote

El contenido de nutrientes residuales del suelo después de la cosecha sirvió de apoyo para hacer inferencias sobre el rendimiento. Los valores de pH y Ca²⁺, independientemente del fertilizante aplicado, resultaron superiores a 6.5 y 0.9 cmol_c·dm⁻³, respectivamente, con la excepción del compost C y el compost A. La pollinaza, que fue responsable de los mayores incrementos en el rendimiento, dio lugar a la mayor acumulación de nutrientes después de la cosecha, como lo indican los valores de P y SB. Sin embargo, la pollinaza, junto con los demás fertilizantes, presentó valores de K inferiores a los obtenidos con el compost C (Cuadro 2). Los valores de la MOS fueron superiores cuando se aplicó fertilizante orgánico en comparación con la aplicación de fertilizante convencional, lo que dio lugar a cambios exiguos en el contenido de MOS a lo largo del experimento (Cuadro 2). Esta variable fue el principal factor diferenciador entre los fertilizantes orgánicos y los convencionales.

Caracterización de los tratamientos y las variables por componentes principales

Los análisis mostraron que los dos primeros CP explicaron el 83.2 % de la varianza en las variables

Table 3. Principal components of the variables analyzed in response to organic fertilization.**Cuadro 3. Componentes principales de las variables analizadas en respuesta a la fertilización orgánica.**

Principal components (PC)/Componentes principales (CP)	PC1/CP1	PC2/CP2
Contribution of the PC (%)/Contribución del CP (%)	41.9	41.3
Branch productivity/Productividad de tallos	0.73	0.62
Number of commercial roots/Número de raíces comerciales	0.97	0.12
Total productivity/Productividad total	0.97	0.23
Commercial root productivity/Productividad de raíces comerciales	0.96	0.24
Commercial root mass/Masa de raíces comerciales	0.24	0.65
Commercial root length/Longitud de raíces comerciales	0.65	0.59
Commercial root diameter/Diámetro de raíces comerciales	-0.09	0.95
Total soluble solids of the roots/Sólidos solubles totales de las raíces	-0.59	0.64
Hydrogen potential of soil/Potencial hidrógeno del suelo	0.39	-0.70
Calcium content in soil/Contenido de calcio en el suelo	0.63	-0.76
Magnesium content in soil/Contenido de magnesio en el suelo	-0.19	-0.94
Potassium content in soil/Contenido de potasio en el suelo	-0.28	0.90
Phosphorus content in soil/Contenido de fósforo en el suelo	0.90	-0.06
Base saturation of soil/Saturación de bases del suelo	0.42	-0.90
Soil organic matter/Materia orgánica del suelo	0.68	0.21

directly among each other and inversely to the TSS of sweet potatoes.

In PC2, the variables with the greatest discriminatory power were CRD (0.95), K content (0.90), CRM (0.65), TSS (0.64), BP (0.62), CRL (0.59), pH (-0.70), Ca^{2+} content (-0.76), BS (-0.90), and Mg^{2+} content (0.94). It was observed that the CRD, CRM, TSS, CRL, and NCR of the sweet potatoes increased with increasing K^+ content in the soil and decreasing pH, Ca^{2+} , SB, and Mg^{2+} content.

In Figure 5, the observed positive correlations are broken down by treatment to the right of PC1 (poultry manure, cattle manure, and compost B), and the negative correlations by treatment are presented to the left of PC1 (compost C, compost A, and control). The variables with a positive correlation are presented in the upper part of PC2 and those with a negative correlation in the lower part of PC2. When analyzing the correlations between the variables tested, TP and CRP were found to be closely dependent on the number of sweet potatoes produced, and a weaker correlation with CRM, CRL, and BP. Both TP and CRP were also positively influenced by SOM content and P content, which were supplied by the poultry manure and cattle manure.

K content was positively correlated with TSS and CRD and negatively with pH, BS (V %), and Ca^{2+} levels. Mg^{2+}

(Cuadro 3); donde el PC1 y el PC2 contribuyeron con 41.9 % y 41.3 % de la varianza, respectivamente.

De acuerdo con el método de Tobar-Tosse et al. (2015), las variables se consideran relevantes con un valor absoluto superior a 0.5. En este sentido, las variables que presentaron mayor poder de discriminación en el CP1 fueron el NRC (0.97), la PT (0.97), la PC (0.96), el contenido de P (0.90), la Pt (0.73), la MOS (0.68), la LRC (0.65), el contenido de Ca^{2+} (0.63) y los SST (-0.59). Además, Tobar-Tosse et al. (2015) indican que las variables con el mismo signo operan directamente; es decir, cuando el valor de una variable aumenta, el valor de la otra también aumenta. Por el contrario, las variables con signos opuestos son inversas; es decir, cuando el valor de una variable aumenta, el valor de la otra disminuye. Así, las variables NRC, PT, PRC, contenido de P, Pt, MOS, LRC y contenido de Ca^{2+} actúan directamente entre sí, e inversamente a los SST de los camotes.

En el CP2, las variables con el mayor poder de discriminación fueron DRC (0.95), contenido de K (0.90), MRC (0.65), SST (0.64), Pt (0.62), LRC (0.59), pH (-0.70), contenido de Ca^{2+} (-0.76), SB (-0.90) y contenido de Mg^{2+} (0.94). Además, se observó que el DRC, la MRC, los SST, la LRC y el NRC de los camotes aumentaron al incrementar el contenido de K^+ en el suelo y al disminuir el pH, el Ca^{2+} , la SB y el contenido de Mg^{2+} .

was not correlated with sweet potato production. The control treatment, isolated from the variables and other treatments (Figure 5), showed that the isolated application of conventional fertilizer (without organic fertilization) is strictly contraindicated for the beginning of sweet potato crop cultivation in savanna soils, since this did not contribute to an increase in the variables analyzed.

BP was evaluated because of its nutritional value for humans and animals. Leaves can be cooked and branches can be used as fodder (silage or fresh). Despite the incipient use of this material in Brazil, it has a significant crude protein content and good digestibility (Monteiro, 2007). Thus, higher yields were achieved using poultry and cattle manure in this study compared to a sweet potato variety trial performed by de Andrade et al. (2012) with five cultivars and seven clones in Diamantina (Minas Gerais State, Brazil), in soil with a history of cultivation and supplemented with 10 t·ha⁻¹ of cattle manure, 180 kg·ha⁻¹ of P₂O₅, 45 kg·ha⁻¹ of K₂O, and 30 kg·ha⁻¹ of N.

In addition, well developed branches ensure the production of seedlings for subsequent crops and

La Figura 5 presenta las correlaciones positivas observadas por tratamiento a la derecha del CP1 (pollinaza, estiércol de ganado y compost B), y las correlaciones negativas por tratamiento a la izquierda del CP1 (compost C, compost A y testigo). Las variables con una correlación positiva aparecen en la parte superior del CP2, y las que tienen una correlación negativa en la parte inferior del CP2. Al analizar las correlaciones entre las variables estudiadas, se encontró que la PT y la PRC dependen estrechamente del número de camotes producidos, y que tienen una correlación más débil con la MRC, la LRC y la Pt. Tanto la PT como la PRC estuvieron influenciadas positivamente por los contenidos de MOS y de P, que fueron suministrados por la pollinaza y el estiércol de ganado.

El contenido de K se correlacionó positivamente con los SST y el DRC, y negativamente con los niveles de pH, SB (V %) y Ca²⁺. El Mg²⁺ no se correlacionó con la producción de camote. El tratamiento testigo, aislado de las variables y los otros tratamientos (Figura 5), mostró que la aplicación aislada de fertilizante convencional está estrictamente contraindicada para la introducción del cultivo de camote en suelos de la sabana, ya que no contribuyó a incrementar las variables estudiadas.

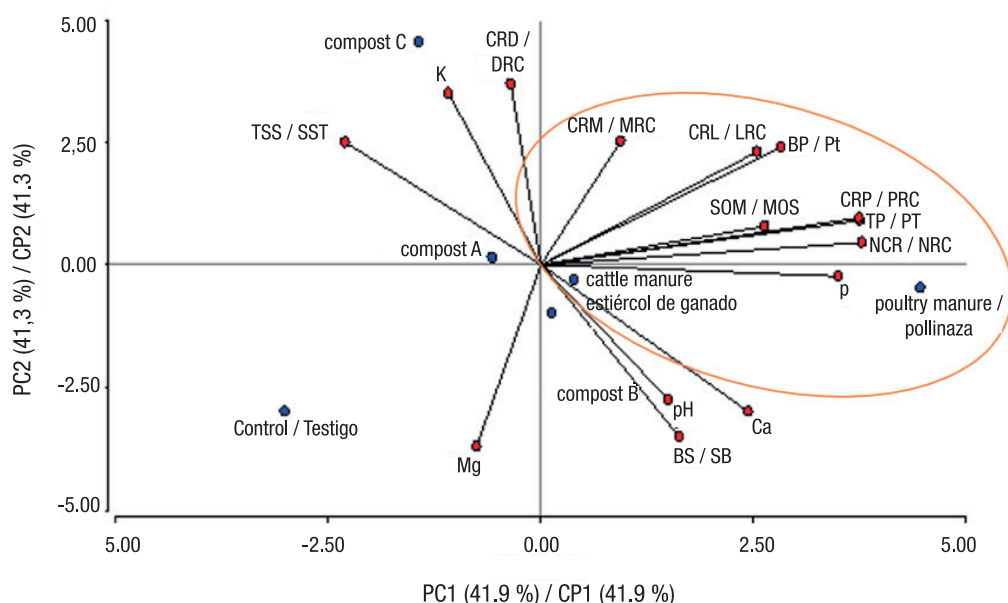


Figure 5. Biplot of the projections of the variables and treatments with organic fertilization. BP = branch productivity; NCR = number of commercial roots; TP = total productivity; CRP = commercial root productivity; CRM = commercial root mass; CRL = commercial root length; CRD = commercial root diameter; TSS = total soluble solids; Ca = calcium; Mg = magnesium; K = potassium; P = phosphorus; BS = base saturation; SOM = soil organic matter.

Figura 5. Diagrama Biplot de las proyecciones de las variables y los tratamientos con fertilización orgánica. Pt = productividad de tallos; NRC = número de raíces comerciales; PT = productividad total; PRC = productividad de raíces comerciales; MRC = masa de raíces comerciales; LRC = longitud de raíces comerciales; DRC = diámetro de raíces comerciales; SST = sólidos solubles totales; Ca = calcio; Mg = magnesio; K = potasio; P = fósforo; SB = saturación de bases; MOS = materia orgánica del suelo.

are essential for the production of photoassimilates in plants, resulting in greater increases in yield and number of roots. This was seen with the use of poultry manure in the present study (Table 1) and in previous studies in savanna conditions in other regions of the world (Adekiya, Aboyeji, Agbede, Dunsin, & Adebisi, 2018; Egbe, Afaupé, & Idoko, 2012).

Significantly higher P content and the lowest concentrations of H^+ and Al^{3+} , accompanied by higher BS and pH values (Table 2), were responsible for the superiority of poultry manure among the fertilizers tested. This was also observed by Rós et al. (2014) in a sweet potato fertilization trial. K levels decreased with all types of fertilization, except for compost C, compared to the levels measured before fertilization. This result confirms the high nutrient extraction capacity of sweet potato plants (Thumé, Dias, da Silveira, & Rodrigues-de Assis, 2013; Rós et al., 2014). This indicates that, because of the crop's high nutritional requirement, it must be supplied with efficient fertilization, such as by poultry manure application.

These effects of P may have been due to the increase in SOM, which was another determining factor in the productive growth of sweet potatoes. According to Altoé-Baldotto and Borges-Baldotto (2014), the increase in SOM, besides being directly connected to the cycling of nutrients (such as N, K, Ca, Mg, S, and micronutrients by humification), increases the availability of organic P compounds in the form of phosphate. Under the conditions of these experiments, this information becomes highly relevant, since in savanna soils the naturally high levels of P are present in forms not available to plants (García-Benedetti et al., 2011). Therefore, at the beginning of the cultivation of sweet potatoes in savanna soils not yet farmed, the supply of SOM is a primary practice that should be carried out to ensure suitably productive yields.

The low productivity results found with the commercial products evaluated (compost A, compost B, and compost C) may have occurred due to the purpose of both, since these are soil conditioners, without a high nutritional contribution in their constitution readily available to the plants. It is likely that if these products were used together with manure, more significant effects would have been observed. This possibility requires investigation in future research.

Conclusions

When productivity data for the products evaluated in the first four experiments were compiled, the order of application recommendations for the cultivation of sweet potatoes in un-farmed soils of the Roraima

La Pt se evaluó teniendo en cuenta su valor nutritivo para humanos y animales. Las raíces se pueden cocinar y los tallos se pueden usar como forraje (ensilado o fresco). A pesar del incipiente uso asignado a este material en Brasil, tiene un importante contenido de proteína cruda y una buena digestibilidad (Monteiro, 2007). En este estudio se obtuvieron rendimientos más altos utilizando pollinaza y estiércol de ganado que los obtenidos por Andrade et al. (2012) en cinco cultivares y siete clones de camote en Diamantina (Minas Gerais, Brasil), cultivados en un suelo con antecedentes de cultivo y suplementado con $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de estiércol de ganado, $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , $45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O y $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N.

Los tallos bien desarrollados aseguran la producción de plántulas para cultivos subsiguientes, y son esenciales para la producción de fotoasimilados en las plantas, lo cual resulta en incrementos mayores en el rendimiento y en el número de raíces. Esto fue observado con el uso de pollinaza en el presente estudio (Cuadro 1), y en estudios anteriores en condiciones de sabana en otras regiones del mundo (Adekiya, Aboyeji, Agbede, Dunsin, & Adebisi, 2018; Egbe, Afaupé, & Idoko, 2012).

El contenido de P significativamente superior y las concentraciones bajas de H^+ y Al^{3+} , acompañadas de valores de SB y pH altos (Cuadro 2), fueron los responsables de la superioridad de la pollinaza entre los fertilizantes probados. Esto también fue observado por Rós et al. (2014) en un ensayo de fertilización en camote. Los niveles de K disminuyeron con todos los fertilizantes, excepto con el compost C, en comparación con los niveles medidos antes de la fertilización. Este resultado confirma la alta capacidad de extracción de nutrientes de las plantas de camote (Thumé, Dias, da Silveira, & Rodrigues-de Assis, 2013; Rós et al., 2014). Lo anterior indica que debido a los altos requerimientos nutricionales del cultivo de camote, éste debe ser abastecido con una fertilización eficiente, como la aplicación de pollinaza.

Los efectos del P se pueden deber al incremento de la MOS, que fue otro factor determinante en el crecimiento productivo de los camotes. De acuerdo con Altoé-Baldotto y Borges-Baldotto (2014), el aumento de la MOS, además de estar directamente relacionado con el ciclo de nutrientes (como N, K, Ca, Mg, S y los micronutrientes por humidificación), incrementa la disponibilidad de compuestos orgánicos de P en forma de fosfato. Dadas las condiciones de los experimentos, esta información adquiere gran relevancia, ya que en los suelos de la sabana los niveles naturalmente altos de P están presentes en formas no disponibles para las plantas (García-Benedetti et al., 2011). Por lo tanto, durante la introducción del cultivo de camote en suelos de la sabana aún no cultivados, el suministro de MOS es

savanna, Brazil were as follows: poultry manure (doses between 13 and 20 t·ha⁻¹) > cattle manure (doses between 30 and 40 t·ha⁻¹) > compost B (doses between 0.75 and 2.25 t·ha⁻¹) = compost A (doses between 2.25 and 3.00 t·ha⁻¹).

By comparing the recommended doses of each product (fifth experiment), poultry manure was found to be the most appropriate for application at the beginning of sweet potato cultivation in savanna soils.

Through an analysis of the principal components, it was found that the productive yield of sweet potato crops (total and commercial productivities) is directly connected to the variables NCR, CRM, and BP, which in turn are maximized by an increase in organic matter and satisfactory amounts of P in soil, which in this study were best supplied by poultry manure.

Acknowledgments

We acknowledge the Coordination for Improvement of Higher-Level Personnel (CAPES), the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), and the Postgraduate Program in Agronomy of the Federal University of Roraima (POSAGRO-UFRR), Brazil, for providing student assistance and granting scholarships. We would like to thank Editage (www.editage.com) for English language editing.

End of English version

References / Referencias

- Adekiya, A. O., Aboyeji, C. M., Agbede, T. M., Dunsin, O., & Adebiyi, O. T. (2018). Effect of ZnSO₄ fertilizer on soil chemical properties, performance and proximate quality of sweet potato in a derived savanna ecology of Nigeria. *Open Agriculture*, 3(1), 644-651. doi: 10.1515/opag-2018-0067
- Agbede, T. M., & Adekiya, A. O. (2011). Evaluation of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) performance and soil properties under tillage methods and poultry manure levels. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23(2), 164-177. doi: 10.9755/ejfa.v23i2.6454
- Altoé-Baldotto, M., & Borges-Baldotto, L. E. (2014). Ácidos húmicos. *Revista Ceres*, 61(1), 856-881. doi: 10.1590/0034-737x201461000011
- Amaro, G. B., Fernandes, F. R., Silva, G. O., Mello, A. F., & Castro, L. A. (2017). Desempenho de cultivares de batata doce na região do Alto Paranaíba - MG. *Horticultura Brasileira*, 35(2), 286-291. doi: 10.1590/s0102-053620170221
- Araújo, W. F., Andrade, A. S., Medeiros, R. D., & Sampaio, R. A. (2001). Precipitação pluviométrica provável em

una práctica primordial que se debe llevar a cabo para asegurar rendimientos productivos adecuados.

La baja productividad encontrada con los fertilizantes comerciales evaluados (compost A, compost B y compost C) se pudo haber originado debido a su finalidad, ya que son mejoradores del suelo, sin un alto aporte nutricional en su constitución disponible para las plantas. Es probable que si estos productos se hubieran utilizado junto con el estiércol, se habrían observado efectos más significativos. Esta posibilidad requiere ser evaluada en investigaciones futuras.

Conclusiones

Una vez que los datos de productividad evaluados en los primeros cuatro experimentos se compilaron, el orden de las recomendaciones de aplicación para el cultivo de camote en suelos no cultivados de la sabana de Roraima, Brasil, es el siguiente: pollinaza (dosis entre 13 y 20 t·ha⁻¹) > estiércol de ganado (dosis entre 30 y 40 t·ha⁻¹) > compost B (dosis entre 0.75 y 2.25 t·ha⁻¹) = compost A (dosis entre 2.25 y 3.00 t·ha⁻¹).

A partir de la comparación de las dosis recomendadas de cada producto (quinto experimento), se encontró que la pollinaza es el más apropiado para su aplicación durante la introducción del cultivo de camote en los suelos de la sabana.

A través del análisis de componentes principales, se detectó que el rendimiento productivo del cultivo de camote (productividades total y comercial) está directamente relacionado con las variables NRC, MRC y Pt, las cuales, a su vez, son maximizadas por un incremento en la materia orgánica y cantidades suficientes de P en el suelo, que fueron suministradas de la mejor manera por la pollinaza.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Coordinación de la Formación del Personal de Nivel Superior (CAPES), al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y al Programa de Posgrado en Agronomía de la Universidad Federal de Roraima (POSAGRO-UFRR), Brasil, por la asistencia a los estudiantes y el otorgamiento de becas, y a Editage (www.editage.com) por la edición de la versión en inglés.

Fin de la versión en español

- Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(3), 563-567. doi: 10.1590/S1415-43662001000300032
- Araújo-da Silva, J., Queiroz-da Silva, E. M., Cavalcante-Nunes, J., de Moura, M. A., Araújo-da Silva, J., & Aranha-de Souza, A. (2018). Yield of sweet potato as a function of organic fertilization and intercropping with *Crotalaria juncea*. *Agro@mbiente On-line*, 12(2), 96-106. doi: 10.18227/1982-8470ragro.v12i2.4664
- Atuna, R. A., Aduguba, W. O., Alhassan, A. R., Abukari, I. A., Muzhingi, T., Mbongo, D., & Amagloh, F. K. (2018). Post-harvest quality of two orange-fleshed sweet potato [*Ipomoea batatas* (L) Lam] cultivars as influenced by organic soil amendment treatments. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 8(6), 3-8. doi: 10.4172/2155-9600.1000691
- Claessen, M. E. C., de Oliveira-Barreto, W., Lopes-de Paula, J., & Nascimento-Duarte, M. (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).
- de Andrade, V. C., Viana, D. J., Pinto, N. A., Ribeiro, K. G., Pereira, R. C., Neiva, I. P., Azevedo, A. M., & Andrade, P. C. (2012). Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. *Horticultura Brasileira*, 30(4), 584-589. doi: 10.1590/S0102-05362012000400004
- Dias-Arieira, C., dos Santos-Morita, D. A., de Oliveira-Arieira, J., & Codato, J. M. (2008). Análise da viabilidade econômica para produção de flores em Umuarama, noroeste do Paraná. *Revista Agro@mbiente On-line*, 2(2), 33-41. doi: 10.18227/1982-8470ragro.v2i2.237
- Di-Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2008). *InfoStat, versión 2008*. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Egbe, O. M., Afaupe, S. O., & Idoko, J. A. (2012). Performance of improved sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties in Makurdi, Southern Guine Savana of Nigeria. *American Journal of Experimental Agriculture*, 2(4), 573-586. doi: 10.9734/AJEA/2012/1347
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001
- Garcia-Benedetti, U., Frutuoso-do Vale, J., Reynaud-Schaefer, C. E., Ferreira-Mello, V., & Pereira-Uchôa, S. C. (2011). Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(2), 299-312. doi: 10.1590/S0100-06832011000200002
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2018). *Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Produção Agrícola Nacional: Lavouras Temporárias*. Brasil: Author. Retrieved from <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>
- la Bonte, D. R., Clark, C. A., Smith, T. P., & Villordon, A. Q. (2011). 'Bonita' Sweetpotato. *HortScience*, 46(6), 948-949. doi: 10.21273/HORTSCI.46.6.948
- Monteiro, A. B. (2007). Silagens de cultivares e clones de batata-doce para alimentação animal visando sustentabilidade da produção agrícola familiar. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2(2), 978-981. Retrieved from <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/2697>
- Rós, A. B. (2017). Sistemas de preparo do solo para o cultivo da batata-doce. *Bragantia*, 76(1), 113-124. doi: 10.1590/1678-4499.607
- Rós, A. B., Narita, N., & Hirata, A. C. (2014). Produtividade de batata-doce e propriedades físicas e química de solo em função da adubação orgânica mineral. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1), 205-214. doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p205
- Tobar-Tosse, D. E., Castoldi, R., dos Santos-Candido, W., Ferraudo, A. S., de Oliveira-Charlo, H. C., & Trevisan-Braz, L. (2015). Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise de componentes principais. *Ciência Rural*, 45(7), 1214-1219. doi: 10.1590/0103-8478cr20140597
- Thumé, M. A., Dias, L. E., da Silveira, M. A., & Rodrigues-de Assis, I. (2013). Níveis críticos foliares de nutrientes de três cultivares de batata-doce selecionados para a produção de etanol. *Revista Ceres*, 60(6), 863-875. doi: 10.1590/S0034-737X2013000600015
- Vizzotto, M., dos Santos-Pereira, E., Suita-de Castro, L. A., de Oliveira-Raphaelli, C., & Krolow, A. C. (2018). Composição mineral em genótipos de batata-doce de polpas coloridas e adequação de consumo para grupos de risco. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21, 1-8. doi: 10.1590/1981-6723.17516