

Production and nutrition of maize (*Zea maize*) and millet (*Pennisetum glaucum*) with the application of porcine biofertilizer

Producción y nutrición de maíz (*Zea maize*) y millo (*Pennisetum glaucum*) con la aplicación de biofertilizante porcino

Elwira Daphinn Silva Moreira¹, L. A. Fernandes¹, J. Alonso², F. Colen¹ and L. Roberto Cruz²

¹Instituto de Ciências Agrárias, UFMG. Av. Universitaria 1000, CEP 39404-547 MC/MG

²Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

Email: jalonso@ica.co.cu

To study the production and nutrition of corn and millet, fertilized with porcine biofertilizer, two experiments were established (one for each species) in a random block design with four replications and six treatments. These consisted of five doses of porcine biofertilizers, to offer 0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and an additional treatment with complete formula 4-14-8, in which was offered 79.99 kg ha⁻¹ of P₂O₅. In the total fresh matter yields influenced the biofertilizers doses. The highest values (55.81 and 41.34 t ha⁻¹) were reached with mineral fertilization, and did not differ from those obtained with the dose of 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (55.05 and 38.71 t ha⁻¹) for millet and maize, respectively. The foliar nutrient content of crops was higher and similar with mineral fertilization and the higher doses of biofertilizers. It is concluded that the porcine biofertilizer, in the dose of 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅, can substitute the application of mineral fertilization in both species, and also constitute a source of micronutrients and macronutrients.

Key words: *grasses, organic fertilization, wastes, yield, mineral composition*

The low-cost forage production is a strategy to maximize animal production. Among the forage species, the maize (*Zea maize*) is one of the most widely used in the world for animal feeding. However, in regions with low precipitations, the millet (*Pennisetum glaucum*) may be an alternative to maize because it has less water demands, and is less demanding in terms of soil fertility (Alonso *et al.* 2012).

The millet is a species that has a deep and vigorous root system, which allows high nutrient and water extraction capacity, adapts to arid and semi-arid regions under adverse conditions of water deficit, at high temperatures and soils with low natural fertility (Marcante *et al.* 2011). In these regions the millet is a voluminous feeding source for animals, which can be used as forage or as silage (Pinho *et al.* 2013).

At present, as an alternative to the environmental problems derived from the production of chemical fertilizers, the use of waste as a source of nutrients for agricultural crops is of great interest. Porcine production generates large quantities of residues, from which biofertilizers can be obtained as a source of nutrients, especially N and P, two of the nutrients that limit the productivity of crops in tropical soils.

Para estudiar la producción y nutrición de maíz y millo, fertilizados con biofertilizante porcino, se establecieron dos experimentos (uno para cada especie) en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas y seis tratamientos. Estos consistieron en cinco dosis de biofertilizantes porcino, para ofrecer 0, 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, y un tratamiento adicional con fórmula completa 4-14-8, en el que se ofreció 79.99 kg ha⁻¹ de P₂O₅. En los rendimientos de materia fresca total influyeron las dosis de biofertilizantes. Los mayores valores (55.81 y 41.34 t ha⁻¹) se alcanzaron con la fertilización mineral, y no difirieron de los obtenidos con la dosis de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (55.05 y 38.71 t ha⁻¹) para el millo y el maíz, respectivamente. El contenido foliar de nutrientes de los cultivos fue mayor y similar con la fertilización mineral y las mayores dosis de biofertilizantes. Se concluye que el biofertilizante porcino, en la dosis de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, puede sustituir la aplicación de la fertilización mineral en ambas especies, y constituir además una fuente de micronutrientes y macronutrientes.

Palabras clave: *gramíneas, fertilización orgánica, residuos, rendimiento, composición mineral*

La producción de forrajes a bajo costo es una estrategia para maximizar la producción animal. Entre las especies forrajeras, el maíz (*Zea maize*) es uno de los que se utiliza más ampliamente en el mundo para la alimentación animal. No obstante, en regiones con bajas precipitaciones, el millo (*Pennisetum glaucum*) puede ser una alternativa al maíz porque tiene menos demandas hídricas, y es menos exigente en cuanto a fertilidad del suelo (Alonso *et al.* 2012).

El millo es una especie que tiene un sistema radicular profundo y vigoroso, que posibilita alta capacidad de extracción de nutrientes y agua, se adapta a regiones áridas y semiáridas en condiciones adversas de déficit hídrico, a altas temperaturas y suelos de baja fertilidad natural (Marcante *et al.* 2011). En estas regiones, el millo es una fuente voluminosa de alimentación para los animales, que se puede utilizar como forraje o como ensilaje (Pinho *et al.* 2013).

En la actualidad, como alternativa a los problemas ambientales derivados de la producción de fertilizantes químicos, es de gran interés el aprovechamiento de los residuos como fuente de nutrientes para los cultivos agrícolas. La producción porcina genera grandes cantidades de residuos, a partir de los que se pueden obtener biofertilizantes como fuente de nutrientes,

The use of this organic fertilizer improves the physical and biological properties of the soil, being also a strategy to give a final destination to the wastes and to maximize the sustainability of forage production (Scherer *et al.* 2010).

From this perspective, the objective of this study was to evaluate the production and nutrition of millet and maize, management with different porcine biofertilizer doses in the north of Minas Gerais.

Materials and Methods

The study was carried out at the experimental farm of the Institute of Agricultural Sciences of the Federal University of Minas Gerais (ICA / UFMG), Campos de Montes Claros-MG. This place is located at 16° 40'50,92 south latitude and 43°50'22,36 west longitude, at 600m altitude. The experiment was carried out from October 2011 to February 2012. The accumulated precipitation during this experimental stage was 1.035 mm and the average temperature ranged from 18.3 to 33.7 °C.

The soil of the experimental area was classified as red-yellow latosol, according to EMBRAPA (1999), corresponding to the oxisols group (USDA 1999). Its chemical and physical properties were determined at the time of study, as indicated by EMBRAPA (1997): pH 6.80; P 2.30; mg dm⁻³; Ca 4.50 cmolc dm⁻³; K 0.56 cmolc dm⁻³; Mg 1.95 cmolc dm⁻³; Al 0.01 cmolc dm⁻³; H + Al = 2.02 cmolc dm⁻³; Base sum (BS) 7.01 cmolc dm⁻³; effective cationic exchange capacity (t) 7.03 cmolc dm⁻³, aluminum saturation (m) 0.20%, total cationic exchange capacity (T) 9.03 cmolc dm⁻³; Base saturation (V) 77.53 %; organic matter 3.39%; coarse sand 4.20 %; fine sand 31.80 %; loam 20.00%; clay 44.00 %.

For each species (millet and maize) an experiment was carried out in a random block design with six treatments and four replications. The treatments were five doses of porcine biofertilizer, estimated to provide 0; 50; 100; 150; 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and an additional treatment with mineral fertilizer 4-14-8, whose amount of nutrients is shown in table 1. The mineral fertilizer dose was defined according to de Sousa and Lobato (2004) recommendation, and the equivalent of

especialmente N y P, dos de los nutrientes que limitan la productividad de los cultivos en suelos tropicales.

El uso de este abono orgánico mejora las propiedades físicas y biológicas del suelo, siendo además una estrategia para dar un destino final a los residuos y maximizar la sostenibilidad de la producción de forrajes (Scherer *et al.* 2010).

Desde esta perspectiva, el objetivo de este trabajo fue evaluar la producción y nutrición de millo y maíz, manejados con diferentes dosis de biofertilizante de cerdos en el norte de Minas Gerais.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la granja experimental del Instituto de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG), Campos de Montes Claros-MG. Este lugar se halla ubicado a 16°40'50,92 de latitud sur y 43°50'22,36 de longitud oeste, a 600 m de altitud. El experimento se desarrolló en el período de octubre de 2011 a febrero de 2012. La precipitación acumulada durante esta etapa experimental fue de 1.035 mm y la temperatura promedio varió de 18.3 a 33.7 °C.

El suelo del área experimental se clasificó como latosolo rojo amarillo, según EMBRAPA (1999), correspondiente al grupo de los oxisoles (USDA 1999). Sus propiedades químicas y físicas se determinaron en la época de estudio, de acuerdo con lo indicado por EMBRAPA (1997): pH 6.80; P 2.30 mg dm⁻³; Ca 4.50 cmolc dm⁻³; K 0.56 cmolc dm⁻³; Mg 1.95 cmolc dm⁻³; Al 0.01 cmolc dm⁻³; H + Al = 2.02 cmolc dm⁻³; suma de base (SB) 7.01 cmolc dm⁻³; capacidad de intercambio catiónico efectivo (t) 7.03 cmolc dm⁻³, saturación por aluminio (m) 0.20 %, capacidad de intercambio catiónico total (T) 9.03 cmolc dm⁻³; saturación de base (V) 77.53 %; materia orgánica 3.39 %; arena gruesa 4.20 %; arena fina 31.80 %; limo 20.00 %; arcilla 44.00 %.

Para cada especie (millo y maíz) se realizó un experimento en un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y cuatro réplicas. Los tratamientos fueron cinco dosis de biofertilizante de cerdo, estimadas para proporcionar 0; 50; 100; 150; 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y un tratamiento adicional con fertilizante mineral 4-14-8, cuya cantidad de nutrientes se muestra en la tabla 1. La dosis de fertilizante mineral se definió según la

Table 1. Quantities of offered nutrients, according to the source and the doses of fertilization used

	Porcine biofertilizer ¹					Mineral kg ha ⁻¹
	0	14088	28169	42254	56338	
	L ha ⁻¹					
	kg ha ⁻¹ of nutrients ²					
N	0	64.00	128.00	192.00	256.00	22.86
P ₂ O ₅	0	50.01	100.02	150.03	200.04	79.99
K ₂ O	0	17.75	35.50	53.25	71.00	45.71

¹Produced in an indian biodigester.

²Analysis performed according to Tedesco *et al.* (1995): 4.54 g L⁻¹ of N; 3.55 g L⁻¹ of P₂O₅ and 1.26 g L⁻¹ of K₂O

571.4 kg ha⁻¹ was applied.

For the biofertilizer production, the pig manure that comes from the washing pens was placed in an Indian model biodigester for the anaerobic fermentation for a period of 30 d. The mixture of wastes and water had approximately 8 % solids.

For both experiments, the experimental plots had an area of 6 m² where four plant lines, 0.5 m apart, were cultivated. Fertilization was manually done in the furrow and was incorporated with a hoe.

The hybrid DKB350YG of forage maize and the variety 500 ADR of millet were used. Both sowing were done in November 2011, one day after fertilization. The seeds were manually distributed in the furrows. Ten days after sowing, a thinning was performed to maintain seven maize plants (Lira *et al.* 2010) and 14 millet plants (Filho *et al.* 2003) per linear meter.

When the plants presented eight expanded leaves, in the additional treatment with mineral fertilizer, four applications of urea (45 % of nitrogen) were manually performed and incorporated to complete a total of 60 kg ha⁻¹ of N. During the experimental period, irrigation was not applied and no attack of pests and diseases was found.

At the time of inflorescence, the fourth leaf under the panicle was collected for millet and, in the case of maize, the leaf under the spike was collected, both located in the central third of ten plants of each experimental unit. This procedure was performed for the purpose of determining nutrient levels, according to Malavolta *et al.* (1997).

When in February both crops reached the silage collection point (the milky-stage grains), in 1 m² all plants were cut at ground level and chopped with a stationary forage machine in approximately 2.0 cm fragments, to determine the total fresh mass (TFM) with a precision balance of ± 0.01 g. After the measurement of fresh mass, the material was placed in an oven, with forced ventilation at 65 °C for 72 h. The dry material was weighed again to obtain the total dry mass (TDM).

Data were subjected to the normality and heterogeneity test (Shapiro & Wilk 1965) for analysis of variance. The additional treatment with mineral fertilizer was compared with each of the phosphorus doses supplied in the porcine biofertilizer by Dunnett test at 5% probability (Dunnett 1955). For the studied phosphorus doses, the regression equations were fitted with the help of the Table Curve 2D program (Systat Software Inc. 2002) and those that showed higher significance of the model, higher determination coefficient (R²), significance of model parameters and lower variance (S²) were selected.

Results and Discussion

The yields of total fresh matter, for corn and millet crops were influenced by the biofertilizers doses (table

recomendación de de Sousa y Lobato (2004), y se aplicó el equivalente a 571.4 kg ha⁻¹.

Para la producción de biofertilizante, el estiércol porcino que proviene del lavado de los corrales se colocó en un biodigester modelo Indiano para la fermentación anaeróbica para un período de 30 d. La mezcla de los desechos y el agua tenía, aproximadamente, 8 % de sólidos.

Para ambos experimentos, las parcelas experimentales tuvieron un área de 6 m². En ellas se cultivaron cuatro líneas de plantas, espaciadas a 0.5 m. La fertilización se realizó manualmente en el surco y se incorporó con una azada.

Se utilizó el híbrido DKB350YG de maíz forrajero y la variedad 500 ADR de millo. Ambas siembras se realizaron en noviembre de 2011, un día después de la fertilización. Las semillas se distribuyeron manualmente en los surcos. Diez días después de la siembra, se realizó un raleo para mantener siete plantas de maíz (Lira *et al.* 2010) y 14 plantas de millo (Filho *et al.* 2003) por metro lineal.

Cuando las plantas presentaron ocho hojas expandidas, en el tratamiento adicional con fertilizante mineral, se realizaron e incorporaron manualmente cuatro aplicaciones de urea (45 % de nitrógeno) para completar un total de 60 kg ha⁻¹ de N. Durante el período experimental, no se aplicó riego y no se encontró ataque de plagas y enfermedades.

En el momento de la inflorescencia se colectó, para millo, la cuarta hoja debajo de la panícula y, en el caso del maíz, se colectó la hoja que se halla debajo de la espiga, ambas situadas en el tercio central de diez plantas de cada unidad experimental. Este procedimiento se realizó con el propósito de determinar los niveles de nutrientes, según Malavolta *et al.* (1997).

Cuando en febrero ambos cultivos alcanzaron el punto de colecta para ensilaje (los granos en estadio lechoso), en 1 m² se cortaron todas las plantas a ras del suelo y se picaron con una máquina forrajera estacionaria en fragmentos de 2.0 cm aproximadamente, para determinar la masa fresca total (MFTO) con balanza de precisión de ± 0.01 g. Después de la medición de masa fresca, el material se colocó en estufa, con ventilación forzada a 65° C durante 72 h. El material seco se pesó nuevamente para obtener la masa seca total (MSTO).

Los datos se sometieron a la prueba de normalidad y heterogeneidad (Shapiro & Wilk 1965) para el análisis de varianza. El tratamiento adicional con fertilizante mineral se comparó con cada una de las dosis de fósforo suministradas en el biofertilizante de cerdo por el test de Dunnett a 5 % de probabilidad (Dunnett 1955). Para las dosis de fósforo estudiadas, se ajustaron las ecuaciones de regresión con la ayuda del programa Table Curve 2D (Systat Software Inc. 2002) y se seleccionaron aquellas que presentaron mayor significación del modelo, mayor coeficiente de determinación (R²), significación de los parámetros del modelo y menor varianza (S²).

Resultados y Discusión

2). With the use of 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ from the porcine biofertilizer, this indicator showed the highest values in both crops, which were similar to those obtained when mineral fertilization was applied. The increase of the dose to 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ did not favor the total fresh matter of millet.

The biofertilizer doses studied influenced on the total dry matter yield of the crops under study (table 2). The

Los rendimientos de materia fresca total, para los cultivos de maíz y millo, estuvieron influenciados por las dosis de biofertilizantes (tabla 2). Con la utilización de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, proveniente del biofertilizante porcino, este indicador mostró los mayores valores en ambos cultivos, que resultaron similares a los obtenidos cuando se aplicó la fertilización mineral. El aumento de la dosis a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no favoreció la materia

Table 2. Total fresh mass (TFM), total dry mass (TDM) yield of millet and maize (t ha⁻¹) and regression equations for these variables, as a function of phosphorus doses, applied by porcine biofertilizer, with respect to mineral fertilization.

Indicators	Doses of P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)					Mineral fertilization	SE±	Regression equation	R ²
	0	50	100	150	200				
Millet									
TFM	24.13 ^b	41.72 ^b	36.89 ^b	55.05 ^a	52.04 ^b	55.81 ^a	3.55	y=28.136+0.138**x	0.77
TDM	14.77 ^b	23.48 ^b	21.12 ^b	31.34 ^a	29.39 ^a	29.09 ^a	2.38	y=16.601+0.075**x	0.78
Maize									
TFM	22.77 ^b	25.32 ^b	23.14 ^b	38.71 ^a	39.39 ^a	41.34 ^a	2.73	y=21.349+0.077**x	0.87
TDM	12.58 ^b	14.21 ^b	13.32 ^b	21.68 ^a	22.75 ^a	21.89 ^a	2.59	y=11.351+0.055**x	0.81

^{ab} Means with same letter in the same row do not statistically differ by Dunnett test (P < 0.05)

** Significant at 1 % by the t'Student test

same happened for the total fresh matter, when doses of 150 and 200 kg ha⁻¹ of the biofertilizer were used. The total dry matter of both crops was similar to that obtained when the mineral fertilization was applied.

According to these results, the use of porcine biofertilizers is presented as an alternative source of nutrients with respect to mineral fertilizers, for millet and forage maize crops. As Bulluck III *et al.* (2002) pointed out, the organic fertilizers act as soil conditioners and therefore, are superior to synthetic ones, since they improve the biological, physical and chemical attributes of the soil, in addition to promoting an increase in plant productivity.

The fresh and dry matter yields of millet were similar to those found by other authors who used mineral fertilizers (Guimarães-Júnior *et al.* 2005, Pires *et al.* 2007) and organic (Alonso *et al.* 2012, Balbinot *et al.* 2012).

Organic fertilizers, besides being a source of micronutrients and macronutrients, provide humic acids formed during the mineralization of organic compounds, which stimulate the formation of secondary roots and change the primary metabolism of plants, which favors the nutrient absorption process (Canellas *et al.* 2002). According to da Rosa *et al.* (2009), the biological activity of humic substances can have an auxinic effect on plants and on the activation of H-ATPase of membranes.

This result allows establishing management strategies in these crops, including the use of porcine biofertilizers. Other authors (Giacomini and Aita 2008, Léis *et al.* 2009) also demonstrated the effectiveness of the application of porcine biofertilizers in millet productivity. Giacomini

fresca total del millo.

Las dosis de biofertilizante estudiadas influyeron en el rendimiento de materia seca total de los cultivos en estudio (tabla 2). Lo mismo sucedió para la materia fresca total, cuando se utilizaron dosis de 150 y 200 kg ha⁻¹ del biofertilizante. La materia seca total de ambos cultivos fue similar a lo obtenido cuando se aplicó la fertilización mineral.

De acuerdo con estos resultados, la utilización de biofertilizantes porcinos se presenta como una fuente alternativa de nutrientes con respecto a fertilizantes minerales, para las cosechas de millo y maíz forrajero. Como señaló Bulluck III *et al.* (2002), los abonos orgánicos actúan como acondicionadores del suelo y por tanto, son superiores a los sintéticos, ya que mejoran los atributos biológicos, físicos y químicos del suelo, además de promover aumento en la productividad de las plantas.

Los rendimientos de materia fresca y seca de millo fueron similares a los encontrados por otros autores que utilizaron fertilizantes minerales (Guimarães-Júnior *et al.* 2005, Pires *et al.* 2007) y orgánicos (Alonso *et al.* 2012, Balbinot *et al.* 2012).

Los abonos orgánicos, además de ser fuente de micronutrientes y macronutrientes, proporcionan ácidos húmicos formados durante la mineralización de compuestos orgánicos, que estimulan la formación de raíces secundarias y cambian el metabolismo primario de las plantas, lo que favorece el proceso de absorción de nutrientes (Canellas *et al.* 2002). Según da Rosa *et al.* (2009), la actividad biológica de las sustancias húmicas puede tener efecto auxínico en las plantas y en la activación de la H-ATPase de las membranas.

Este resultado permite establecer estrategias de

and Aita (2008) showed that the use of 60 m³ ha⁻¹ of liquid porcine wastes, as an alternative source of fertilization, favored superior yield in 250 % of maize grains, with respect to what was obtained with mineral fertilization.

The use of these sources of nutrients is related to the use of organic wastes generated by livestock activity. Therefore, it should be considered as a viable alternative from the environmental and economically strategic point of view for the fertilizers production.

In relation to the doses of porcine biofertilizer, there was a linear response for the production of total fresh mass and total dry mass of millet and maize as a function of the applied doses (table 2). According to this result, for both crops, the application of doses higher than those evaluated in this study could increase their yields. However, economic studies that define the best benefit-cost relation with the application of this source of nutrients are needed.

The leaf nutrient content of the crops was higher and similar to that obtained with mineral fertilization and with the higher doses of biofertilizers (table 3). This

manejo en estos cultivos, donde se incluya la utilización de biofertilizantes de cerdos. Otros autores (Giacomini y Aita 2008, Léis *et al.* 2009) también demuestran la eficacia de la aplicación de los biofertilizantes porcinos en la productividad del millo. Giacomini y Aita (2008) demostraron que la utilización de 60 m³ ha⁻¹ de residuos porcinos líquidos, como fuente alternativa de fertilización, propició rendimiento superior en 250 % de granos en maíz, con respecto a lo obtenido con la fertilización mineral.

El uso de estas fuentes de nutrientes se relaciona con el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados por la actividad pecuaria. Por ello, se debe considerar como una alternativa viable desde el punto de vista ambiental y económicamente estratégica para la producción de fertilizantes.

Con relación a las dosis de biofertilizante porcino, hubo respuesta lineal para la producción de masa fresca total y masa seca total del millo y maíz en función de las dosis aplicadas (tabla 2). Según este resultado, para ambos cultivos, la aplicación de dosis mayores a las evaluadas en este estudio pudiera incrementar sus rendimientos. Sin embargo, son necesarios estudios

Table 3. Leaf content of macronutrients (g kg⁻¹) and micronutrients (mg kg⁻¹) in millet and maize plants, with increasing doses of de porcine biofertilizer

Nutrients (Standard error)	Doses of P ₂ O ₅					Mineral fertilizer
	0	50	100	150	200	
Millet						
N (± 3.4)	13.0 ^a	14.5 ^a	18.6 ^b	22.3 ^b	23.8 ^b	19.4 ^b
P (± 0.5)	1.5 ^a	1.6 ^a	2.9 ^b	3.3 ^b	3.7 ^b	2.6 ^b
K (± 5.2)	14.0 ^b	19.3 ^a	21.2 ^a	23.5 ^a	26.4 ^a	22.3 ^a
Ca (± 1.5)	4.2 ^a	5.6 ^a	5.8 ^a	6.2 ^b	6.9 ^b	4.2 ^a
Mg (± 0.5)	2.1 ^b	2.6 ^b	3.1 ^a	3.2 ^a	3.7 ^a	3.1 ^a
S (± 0.4)	1.1 ^a	2.2 ^a	2.4 ^b	2.8 ^b	3.1 ^b	1.8 ^a
Fe (± 23)	111 ^a	104 ^a	97 ^a	97 ^a	110 ^a	102 ^a
Mn (± 5.1)	22.0 ^a	24.0 ^a	25.0 ^a	28.0 ^a	34.0 ^a	29.0 ^a
Zn (± 2.4)	6.7 ^a	6.9 ^a	8.4 ^a	9.2 ^b	9.7 ^b	8.1 ^a
Cu (± 2.2)	6.5 ^a	9.9 ^a	10.8 ^b	16.5 ^b	17.7 ^b	8.5 ^a
B (± 1.7)	8.0 ^a	8.6 ^a	8.4 ^a	9.1 ^a	10.5 ^b	8.8 ^a
Maize						
N (± 4.3)	21.4 ^b	24.6 ^a	32.1 ^a	35.6 ^a	37.3 ^a	27.8 ^a
P (± 0.4)	2.1 ^a	2.6 ^a	2.9 ^b	3.2 ^b	3.8 ^b	3.2 ^b
K (± 4.8)	17.2 ^b	19.3 ^b	22.4 ^b	25.7 ^b	28.9 ^b	2.14 ^a
Ca (± 1.3)	3.9 ^a	4.5 ^a	4.5 ^a	4.4 ^a	4.7 ^a	4.5 ^a
Mg (± 0.9)	2.8 ^a	3.0 ^a	3.2 ^a	3.4 ^a	3.5 ^a	3.5 ^a
S (± 0.5)	1.2 ^a	1.9 ^a	2.1 ^a	2.6 ^b	2.9 ^b	1.6 ^a
Fe (± 32)	223 ^a	234 ^a	246 ^a	255 ^a	252 ^a	265 ^a
Mn (± 58)	155 ^a	162 ^a	159 ^a	161 ^a	157 ^a	167 ^a
Zn (± 21)	54 ^b	66 ^b	75 ^a	82 ^a	88 ^a	85 ^a
Cu (± 4.7)	15 ^a	17 ^a	22 ^a	27 ^b	32 ^b	15 ^a
B (± 2.5)	10 ^a	12 ^a	16 ^a	21 ^b	27 ^b	15 ^a

() Standard error for biofertilizers doses

^{ab} Means with same letter in the same row do not differ by Dunnett test (P > 0.05).

coincides with the results reported by Braz *et al.* (2004) and Foloni *et al.* (2008). Seidel *et al.* (2010) found no significant differences for macronutrient foliar contents in maize plants, when fertilized with increasing doses of porcine biofertilizer.

Other studies report adequate foliar contents in maize, when fertilized with liquid porcine wastes (Berenguer *et al.* 2008, Seidel *et al.* 2010).

From these results, it is concluded that the use of porcine biofertilizer, in doses of 150 kg ha⁻¹ to 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅, provides yields similar to mineral fertilization for maize and millet cultivation. In addition, it is a source of macronutrients and micronutrients which can improve the chemical properties of soils.

Acknowledgement

Thanks to the National Council of Scientific and Technological Development (CNPq) and the Foundation for Research Support in Minas Gerais state (FAPEMIG) for the financial support for the execution of this study. Likewise, gratitude is expressed to FAPEMIG for funding the postdoctoral studies of Jatnel Alonso Lazo.

económicos que definan la mejor relación beneficio-coste con la aplicación de esta fuente de nutrientes.

El contenido nutriente foliar de los cultivos fue mayor y similar a lo obtenido con la fertilización mineral y con las mayores dosis de biofertilizantes (tabla 3). Esto coincide con los resultados informados por Braz *et al.* (2004) y Foloni *et al.* (2008). Seidel *et al.* (2010) no encontraron diferencias significativas para los contenidos foliares de macronutrientes en plantas de maíz, cuando se fertilizaron con dosis crecientes de biofertilizante porcino.

Otros estudios informan adecuados contenidos foliares en maíz, cuando se fertilizó con residuos líquidos de cerdos (Berenguer *et al.* 2008, Seidel *et al.* 2010).

A partir de estos resultados, se concluye que la utilización de biofertilizante porcino, en dosis de 150 kg ha⁻¹ a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, proporciona rendimientos similares a la fertilización mineral para el cultivo de maíz y millo. Además, constituye una fuente de macronutrientes y micronutrientes que puede mejorar la propiedades químicas de los suelos.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y a la Fundación de Amparo a Investigaciones en el estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por el apoyo financiero para la ejecución de este estudio. De igual manera, se expresa gratitud a la FAPEMIG por financiar los estudios posdoctorales de Jatnel Alonso Lazo.

References

- Alonso, J., Sampaio, R. A., Colen, F., Santos, L. D. T., Fernandes, L. A., Rocha-Junior, V. R., Nascimento, A. L., Zuba-Junior, G. R., Cruz, L. R. da & Rodrigues, M. E. S. 2012. "Productivity and chemical composition of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) as response to NPK fertilization and biofertilizer". Cuban Journal of Agricultural Science, 46(4): 441–447, ISSN: 2079-3480.
- Balbinot, J. A. A., Hanisch, A. L. & Vogt, G. A. 2012. "Produtividade de forragem em três genótipos de milheto em diferentes doses de cama de aviário". Revista de Ciências Agroveterinárias, 11(1): 63–69, ISSN: 2238-1171.
- Berenguer, P., Cela, S., Santiveri, F., Boixadera, J. & Lloveras, J. 2008. "Copper and Zinc Soil Accumulation and Plant Concentration in Irrigated Maize Fertilized with Liquid Swine Manure". Agronomy Journal, 100(4): 1056–1061, ISSN: 1435-0645, DOI: 10.2134/agronj2007.0321.
- Braz, A. J. B. P., Silveira, P. M. da, Kliemann, H. J. & Zimmermann, F. J. P. 2004. "Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça". Pesquisa Agropecuária Tropical, 34(2): 83–87, ISSN: 1983-4063.
- Bulluck III, L. R., Brosius, M., Evanylo, G. K. & Ristaino, J. B. 2002. "Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms". Applied Soil Ecology, 19(2): 147–160, ISSN: 0929-1393, DOI: 10.1016/S0929-1393(01)00187-1.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova-Façanha, A. L. & Façanha, A. R. 2002. "Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots". Plant Physiology, 130(4): 1951–1957, ISSN: 1532-2548, DOI: 10.1104/pp.007088.
- da Rosa, C., Castilhos, R. M. V., Vahl, L. C., Castilhos, D. D., Pinto, L. F. S., Oliveira, E. S. & Leal, O. dos A. 2009. "Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L". Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33(4): 959–967, ISSN: 0100-0683.
- de Sousa, D. M. G. & Lobato, E. 2004. Cerrado correção do solo e adubação. 2nd ed., Brasília, D. F.: Embrapa Cerrados, 416 p., ISBN: 978-85-7383-230-3.
- Dunnett, C. W. 1955. "A Multiple Comparison Procedure for Comparing Several Treatments with a Control". Journal of the American Statistical Association, 50(272): 1096–1121, ISSN: 0162-1459, 1537-274X.
- EMBRAPA 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2nd ed., Rio de Janeiro, Brasil: EMBRAPA-CNPS, 212 p., ISBN: 85-85864-03-6, Available: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhtqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf>, [Consulted: February 20, 2017].
- EMBRAPA 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, D. F.: EMBRAPA Solos, 412 p., ISBN: 978-85-7383-

056-9.

- Filho, I. A. P., Ferreira, A. da S., Coelho, A. M., Casela, C. R., Karam, D., Rodrigues, J. A. S., Cruz, J. C. & Waquil, J. M. 2003. "Manejo da Cultura do Milheto". Circular Técnica, 29: 1–17, ISSN: 1518-4269.
- Foloni, J. S. S., Tiritan, C. S., Calonego, J. C. & Alves Junior, J. 2008. "Rock phosphate fertilization and phosphorus recycling by pearl millet, *Brachiaria sp.*, corn and soybean". Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(3): 1147–1155, ISSN: 0100-0683, DOI: 10.1590/S0100-06832008000300023.
- Giacomini, S. J. & Aita, C. 2008. "Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho". Revista Brasileira de Ciência do solo, 32(1): 195–205, ISSN: 1806-9657.
- Guimarães-Júnior, R., Gonçalves, L. C., Santos, J. A., Rodrigues, A. L. C. C. B., Rodriguez, N. M., Saliba, E. O. S., Borges, I., Pires, D. A. D. A., Jayme, D. G. & Castro, G. H. F. 2005. "Frações fibrosas dos materiais originais e das silagens de três genótipos de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), em diferentes períodos de fermentação". Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 4(2): 243–250, ISSN: 1676-689X, 1980-6477.
- Léis, C. M. de, Couto, R. da R., Dortzbach, D., Comin, J. J. & Sartor, L. R. 2009. "Rendimento de Milho Adubado com Dejetos de Suínos em Sistema de Plantio Direto sem o Uso de Agrotóxicos". Revista Brasileira de Agroecologia, 4(2): 3814–3817, ISSN: 1980-9735.
- Lira, M. A., das Chagas, M. C. M., de Lima, J. M. P. & de Holanda, J. S. 2010. Recomendações técnicas para a cultura do milho. vol. 11, Natal: EMPARN, 22 p., ISSN 1983-280X, Available: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/EMPARN/DOC/DOC00000000024717.PDF>>, [Consulted: February 20, 2017].
- Malavolta, E., Vitti, G. C. & Oliveira, S. A. de 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 319 p., Google-Books-ID: Lu9EAAAAYAAJ, Available: <<https://books.google.com.br/books?id=Lu9EAAAAYAAJ>>, [Consulted: February 20, 2017].
- Marcante, N. C., Camacho, M. A. & Junior, F. P. P. 2011. "Teores de nutrientes no milheto como cobertura de solo". Bioscience Journal, 27(2): 196–204, ISSN: 1981-3163.
- Pinho, R. M. A., Santos, E. M., Rodrigues, J. A. S., Macedo, C. H. O., Campos, F. S., Ramos, J. P. de F., Bezerra, H. F. C. & Pezarro, A. F. 2013. "Avaliação de genótipos de milheto para silagem no semiárido". Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 14(3): 426–436, ISSN: 1519-9940.
- Pires, F. R., Assis, R. L. de, Silva, G. P., Braz, A. J. B. P., Santos, S. C., Neto, S. A. V. & Sousa, J. P. G. de 2007. "Desempenho agrônomo de variedades de milheto em razão da fenologia em pré-safra". Bioscience Journal, 23(3): 41–49, ISSN: 1981-3163.
- Scherer, E. E., Nesi, C. N. & Massotti, Z. 2010. "Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina". Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34(4): 1375–1383, ISSN: 0100-0683.
- Seidel, E. P., Júnior, A. C. G., Vanin, J. P., Strey, L., Schwantes, D. & Nacke, H. 2010. "Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto". Acta Scientiarum. Technology, 32(2): 113–117, ISSN: 1807-8664, DOI: 10.4025/actascitechnol.v32i2.5312.
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. 1965. "An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)". Biometrika, 52(3–4): 591, ISSN: 0006-3444, DOI: 10.2307/2333709.
- Systat Software Inc. 2002. SYSTAT. [Windows], Bangalore, India, Available: <<https://systatsoftware.com/>>.

Received: July 15, 2014