

GLYCERIN AND POTASSIUM ON SOIL MICROBIAL ACTIVITY AND NUTRITION AND PRODUCTION OF BEET (*Beta vulgaris*)

GLICERINA Y POTASIO EN LA ACTIVIDAD MICROBIANA DEL SUELO Y NUTRICIÓN Y PRODUCCIÓN DE REMOLACHA (*Beta vulgaris*)

Alejandro **Díaz-Medina**¹, Renato **de Mello-Prado**^{2*}, Cid N. **Silva-Campos**², Leonides **Castellanos-Gonzales**³, Everlon **Cid-Rigobelo**², Claribel **Suárez-Pérez**¹, Gabriel **Barbosa-da Silva-Júnior**⁴

¹Universidad de Sancti Spiritus. Avenida de los Mártires 360 esq. Carretera Central, Sancti Spiritus, Cuba. ²Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Via de Acesso Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brazil (rmprado@fcav.unesp.br). ³Universidad de Cienfuegos, Carretera a Rodas, km 3 1/2, CP 59430, Cienfuegos, Cuba. ⁴Universidade Federal do Piauí-UFPI, Câmpus Agrícola Socopo, Teresina, PI, Brazil.

ABSTRACT

The glycerin by-product of the production of biofuels (biodiesel) has possibility of agricultural use, but the scientific information is restricted. The objective of this study was to assess the effect of glycerin rates in the absence and presence of potassium fertilization on soil microbial activity, nutrition and production of beet (*Beta vulgaris*). The experiment was carried out in a greenhouse at Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brazil, using beet cv. Early Wonder, grown in pots with samples of Alfisol. The experimental design was randomized block, treatments were 0, 50, 100, 200 and 400 m³ ha⁻¹ of glycerin, in the absence and presence of potassium (150 mg dm⁻³), with four replicates. Electrical conductivity, respiratory activity, microbial biomass, and available K were evaluated in the soil. Plant height, number of leaves, dry mass of the aerial portion and tubers were evaluated. Glycerin at 16 and 90 m³ ha⁻¹ rates in absence and presence of K fertilization increased the production of beet plants dry matter, but induced salinity at higher rates and promoted reduction in K absorption and the soil microbial activity.

Key words: Root crops, byproduct of biodiesel, potassium fertilization, soil salinity.

INTRODUCTION

Studies on the use of renewable energy sources advance because oil, a nonrenewable source of energy is running out and by concerns

*Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Received: April, 2015. Approved: April, 2016.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 50: 759-768. 2016.

RESUMEN

La glicerina es un subproducto de la producción de biocombustibles (biodiésel), tiene posibilidad de uso agrícola, pero la información científica es limitada. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de proporciones de glicerina en presencia y ausencia de la fertilización con potasio en la actividad microbiana del suelo, nutrición y producción de remolacha (*Beta vulgaris*). El estudio se realizó en un invernadero de la Universidad Estatal Paulista, Jaboticabal, Brasil, con el cv. Early Wonder de remolacha, cultivado en macetas con muestras de Alfisol. El diseño experimental fue bloques al azar, los tratamientos fueron 0, 50, 100, 200 y 400 m³ ha⁻¹ de glicerina, en ausencia y presencia de K (150 mg dm⁻³), con cuatro repeticiones. En el suelo se evaluó la conductividad eléctrica, actividad respiratoria, biomasa microbiana, y K disponible. En las plantas se evaluó altura, número de hojas, masa seca de la parte aérea y de los tubérculos. Tasas de 16 y 90 m³ de glicerina ha⁻¹, en ausencia y presencia de fertilización con K aumentaron la producción de materia seca de las plantas de remolacha, pero indujeron salinidad a concentraciones altas y promovieron la disminución de la absorción de K y la actividad microbiana en el suelo.

Palabras clave: Cultivo de raíces, subproducto del biodiesel, fertilización con potasio, salinidad del suelo.

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre el uso de fuentes de energía renovable avanzan porque el petróleo, una fuente no renovable de energía, se agota y por la preocupación respecto al factor ambiental debido

regarding the environmental factor due to global climatic changes. Glycerin is a byproduct of biodiesel, a renewable source of energy that is widely studied (Ma *et al.*, 1998; Muñoz-Lagos *et al.*, 2010).

Glycerin is the primary byproduct of biodiesel production and its chemical composition depends on the type of the raw material used (Thompson and He, 2006). In the biodiesel production process sodium hydroxide is used as a transesterification catalyst to increase the chemical reaction speed and improve industry yield (Ma *et al.*, 1998). This procedure includes approximately 1 % of sodium in the raw glycerin (Lammers *et al.*, 2007), which could affect the agricultural use of this residue.

Sodium is considered a beneficial element for plant nutrition, can replace the function of K in the osmotic control, and promotes plant growth (Marschner, 1995), especially in species classified as salinity tolerant such as beet (*Beta vulgaris*) (Aquino *et al.*, 2006). However, the excess of Na can raise the salt content of the soil (Demiral, 2005), affect soil microbial life (Chávez and González, 2009), decrease nutrients absorption (Amini *et al.*, 2007) affecting cell metabolism that may cause osmotic imbalance, membrane disruption, inhibition of cell division and expansion, interruption of ionic balance and reduction of photosynthesis (Mahajan and Tuteja, 2005), increase plant transpiration (Chen and Jiang, 2010) and, therefore, restrict plant growth and crop yields (Cruz *et al.*, 2003). One possibility to increase plant tolerance to glycerin containing Na would increase K fertilization, since there are reports that high K ion concentrations in plants increases the ratio K^+/Na^+ , ensuring optimal cellular metabolism and increased plant growth even under saline stress (Bartels and Ramanjulu, 2005).

Data on the agricultural use of glycerin are scarce, what is of concern considering the high increase in the supply of this byproduct due to the growing biodiesel world production. Knowledge of its agronomic performance can guide its efficient use in crop production.

The hypotheses would be if the use of glycerin containing Na in its composition associated with K fertilization could minimize possible damage by salinity and allow the use of larger rates of the residue. However, the use of very high rates of glycerin can increase soil salinity, decreasing microbiological

a cambios climáticos globales. La glicerina es un subproducto del biodiésel, es una fuente renovable de energía que se estudia ampliamente (Ma *et al.*, 1998; Muñoz-Lagos *et al.*, 2010).

La glicerina es el subproducto principal de la producción de biodiésel y su composición química depende del tipo de la materia prima usada (Thompson y He, 2006). En el proceso de producción de biodiésel el hidróxido de sodio se usa como un catalizador de transesterificación para aumentar la velocidad de la reacción química y mejorar el rendimiento industrial (Ma *et al.*, 1998). Este procedimiento incluye aproximadamente 1 % de sodio en la glicerina cruda (Lammers *et al.*, 2007), que podría afectar el uso de este residuo en la agricultura.

El Na es beneficioso para la nutrición de las plantas, puede reemplazar la función del K en el control osmótico, y promueve el crecimiento de la planta (Marschner, 1995), principalmente en especies clasificadas como tolerantes a salinidad, como la remolacha (*Beta vulgaris*) (Aquino *et al.*, 2006). Sin embargo, el exceso de Na puede elevar el contenido de sal (Demiral, 2005) y afectar la vida microbiana del suelo (Chávez y González, 2009), reducir la absorción de nutrientes (Amini *et al.*, 2007), y afectar el metabolismo celular que puede causar desequilibrio osmótico, alteración de las membranas, inhibición de la división y expansión celular, interrupción del equilibrio iónico, disminución de la fotosíntesis (Mahajan y Tuteja, 2005), aumento de la transpiración de la planta (Chen y Jiang, 2010) y limitar su crecimiento y el rendimiento de los cultivos (Cruz *et al.*, 2003). Una posibilidad para aumentar la tolerancia de la planta a la glicerina con Na aumentaría la fertilización con K, ya que las concentraciones altas de ion K en las plantas aumenta la relación K^+/Na^+ , asegura el metabolismo celular óptimo y el aumento de crecimiento de la planta incluso bajo estrés salino (Bartels y Ramanjulu, 2005).

Los datos del uso agronómico de la glicerina son escasos, lo que es motivo de atención al considerar el aumento en la oferta de este subproducto, debido a la creciente producción mundial de biodiésel. El conocimiento de su desempeño agronómico puede llevar a su uso eficiente en la producción de cultivos.

Las hipótesis serían si el uso de la glicerina con Na en su composición, asociado a la fertilización con K podría minimizar los daños por salinidad y permitir el uso de cantidades mayores del residuo. Sin

activity, affecting plants dry matter regardless of the concentration of K in the soil.

The objective of this work was to evaluate the effect of glycerin rates in the absence or presence of K fertilization on the microbial activity, nutrition and production of beet.

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted in a greenhouse at Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal Campus, Brazil (21° 15' 22" S, 48° 18' 58" W and altitude of 575 m) with beet cv. Early Wonder, from September to November 2014.

The experimental design was randomized blocks and treatments were glycerin doses: 0, 50, 100, 200, and 400 m³ h⁻¹ in the absence and presence of K (150 mg dm³), with four replicates. Crude glycerin diluted in water at 14 % and KCl as the source of K (K₂O 60 %) were used. Each 5 dm³ pot was filled with 4 dm³ medium texture Red-Yellow Agrisol, classified according to EMBRAPA (1999). The initial soil chemical analysis was performed according Raij *et al.* (2001), with the following results: pH 5.1, 9 g dm³ organic matter, 0.8 K, 12 Ca, 8 Mg, 20 H+Al, 20.8 SB (sum of bases: K+Ca+Mg), 40.8 mmol_c dm³ CEC (cation exchange capacity: SB+H+Al) and 51 % V (base saturation: SB×100/CEC).

Liming was performed to raise the base saturation to 70 %, as suggested by Raij *et al.* (1997) using calcined lime (Total Relative Neutralizing Power=125 %). After liming, soil was kept in plastic bags for 30 d to keep moisture at 60 % of field capacity.

Basic fertilization was incorporated to the soil at planting and received rates for leveling N (200 mg dm³), P (400 mg dm³), Zn (2 mg dm³), and B (0.5 mg dm³) in the form of urea, superphosphate, zinc sulfate and boric acid, as indicated by Malavolta (1981) and K applied in conjunction with the basic fertilization before planting.

Seedlings were obtained from 200 cell trays with substrate and vermiculite and after 30 d, two seedlings were transferred to each pot.

Glycerin was applied 30 d after transplanting and rates were subdivided in two weekly applications, following the experimental design. The control treatment received water only. In all treatments, moisture was kept at 70 % of the soil retention capacity. Raw glycerin was diluted in water at 14 %, with 0.6 % of Na, 0.02 % K₂O and pH=6.0.

At 30 d after transplanting the immediate effect of treatments was evaluated by recording data from plant height, number of leaves, and dry weight of shoot and tuber in a plant per pot. At the same time a microbiological analysis of the soil layer at 0-10 cm depth was performed. It was determined the respiratory

embargo, el uso de proporciones muy altas de glicerina puede aumentar la salinidad del suelo, disminuir la actividad microbológica, y afectar la materia seca en las plantas, a pesar de la concentración de K en el suelo.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la glicerina en la ausencia o presencia de fertilización con K en la actividad microbiana, nutrición y producción de remolacha.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un invernadero de la Universidad Estatal Paulista, Campus Jaboticabal, Brasil (21° 15' 22" S, 48° 18' 58" O y altitud de 575 m) con el cv. Early Wonder de remolacha, de septiembre a noviembre de 2014.

El diseño experimental fue bloques al azar y los tratamientos fueron las dosis de glicerina: 0, 50, 100, 200 y 400 m³ h⁻¹ en ausencia y presencia de K (150 mg dm³), con cuatro repeticiones. Glicerina cruda diluida al 14 % en agua y KCl se usó como fuente de K (K₂O al 60 %). A cada maceta de 5 dm³ se agregaron 4 dm³ de Agrisol rojo-amarillo, con textura media, de acuerdo con la clasificación de EMBRAPA (1999). El análisis químico del suelo inicial se realizó de acuerdo con lo descrito por Raij *et al.* (2001), con los siguientes resultados: pH 5.1, 9; g materia orgánica por dm³, 0.8 K, 12 Ca, 8 Mg, 20 H+Al, 20.8 SB (suma de bases: K+Ca+Mg); CEC (capacidad de intercambio catiónico: SB+H+Al) 40.8 mmol_c dm³ y V (saturación de bases: SB×100/CCA) 51 %.

El encalado se realizó para aumentar la saturación de bases a 70 %, según Raij *et al.* (1997), con cal calcinada (poder de neutralización relativo total 125 %). Después de encalar, el suelo se mantuvo en bolsas de plástico 30 d para mantener la humedad a 60 % de la capacidad de campo.

La fertilización básica se incorporó al suelo en la siembra y recibió dosis de urea, superfosfato, sulfato de zinc y ácido bórico para nivelar el N (200 mg dm⁻³), P (400 mg dm⁻³), Zn (2 mg dm⁻³) y B (0.5 mg dm⁻³), según Malavolta (1981), y el K se aplicó junto con la fertilización básica antes de plantar.

Las plántulas se obtuvieron en bandejas de semillero con 200 celdas con sustrato y vermiculita y después de 30 d, dos plántulas se transfirieron a cada maceta.

La glicerina se aplicó 30 d después del trasplante y las dosis se subdividieron en dos aplicaciones semanales, según el diseño experimental. El tratamiento testigo recibió sólo agua. En todos los tratamientos la humedad se mantuvo a 70 % de la capacidad de retención del suelo. La glicerina cruda se diluyó a 14 % en agua, con 0.6 % de Na, 0.02 % K₂O y pH 6.0.

activity of the soil following methodology proposed by Rezende *et al.* (2004) and the C of the microbial biomass was determined according to Ferreira *et al.* (1999).

At the end of the crop cycle, 70 d after transplanting, plant height, number of leaves and tuber diameter were evaluated. The areal portion and tuber roots were washed with a detergent solution and an acid solution, both with distilled water and dried in a forced air oven at 60-70 °C until dry mass was attained. At this time the dry mass of the aerial portion and tubers were quantified. Afterwards the material was milled and chemical analyses conducted to determine the K content in these organs, as described by Bataglia *et al.* (1983). Soil chemical analyses were conducted to determine the K concentration following methodology described by Raij *et al.* (2001) and to measure the electrical conductivity.

Data was subjected to the analysis of variance and polynomial studies conducted using software Sisvar[®] (Ferreira, 2011).

RESULTS AND DISCUSSION

Soil salinity increased with quadratic adjustment as a function of glycerin rates for treatments with and without K, at 30 and 70 d after applications (Figure 1A, B). These results may be related to the levels of sodium (0.6 %) present in the composition of the glycerin used, leading to increased soil salinity. Lammers *et al.* (2007) also report the presence of Na in glycerin and the risk of soil salinity. The highest salinity contents were obtained in the treatments with K compared to those without this nutrient. This is explained by the fact that glycerin applications associated with K increased concentration of this element in soil (Figure 1C) because we used the source of KCl, which is a salt fertilizer.

Glycerin applications promoted quadratic increases in the soil respiratory activity, reaching maximum rates of 53 and 120 m³ h⁻¹ with and without K (Figure 1D) and also in the C microbial biomass, reaching the maximum at rates of 80 and 193 m³ h⁻¹, with and without K (Figure 1e). Soils with glycerin and K fertilization rates above 53 m³ h⁻¹ decreased the microbial activity, with reduction in the biomass C content, especially with glycerin rates above 80 m³ h⁻¹, a fact that could be explained due to the higher soil salinity content previously discussed. This deleterious effect on the soil microbial life is reported by Chávez and González (2009).

Glycerin increased K accumulation in the shoots, reaching the maximum at rates of 14 and 300 m³

A los 30 d después del trasplante el efecto inmediato de los tratamientos se evaluó con el registro de la altura de planta, número de hojas y peso seco de los brotes y tubérculo en una planta por maceta. Además se realizó un análisis microbiológico de la capa de suelo de 0 a 10 cm de profundidad. La actividad respiratoria del suelo se determinó con la metodología de Rezende *et al.* (2004). El C de la biomasa microbiana se determinó según lo propuesto por Ferreira *et al.* (1999).

Al final del ciclo de cultivo, 70 d después del trasplante se evaluaron la altura de la planta, número de hojas y diámetro de tubérculos. La parte aérea y raíces del tubérculo se lavaron con una solución de detergente y una solución de ácido, ambas con agua destilada y se secaron a 60-70 °C, en un horno con aire forzado, hasta obtener la masa seca. En este momento se cuantificó la masa seca de la sección aérea y de los tubérculos; Después, el material se trituró y los análisis químicos se realizaron para determinar el contenido de K en estos órganos, según lo descrito por Bataglia *et al.* (1983). Los análisis químicos de suelo se realizaron para determinar la concentración de K con la metodología descrita por Raij *et al.* (2001) y para medir la conductividad eléctrica.

Los datos se analizaron con ANDEVA y análisis polinomiales con el programa Sisvar[®] (Ferreira, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La salinidad del suelo aumentó con ajuste cuadrático como una función de la glicerina con y sin K, a los 30 y 70 d después de la aplicación (Figura 1A, B). Estos resultados pueden estar relacionados con los niveles de Na (0.6 %) en la glicerina, lo que aumenta la salinidad del suelo. Lammers *et al.* (2007) también reportan la presencia de Na en la glicerina y el riesgo de salinizar el suelo. La mayor salinidad se obtuvo en los tratamientos con K, comparados con aquellos sin este nutriente. Esto se debe a que las aplicaciones de glicerina con K aumentaron la concentración de este elemento en el suelo (Figura 1C), porque la fuente usada fue KCl, que es una sal fertilizante.

Las aplicaciones de glicerina promovieron aumentos cuadráticos en la actividad respiratoria en el suelo, con tasas máximas de 53 y 120 m³ h⁻¹ con y sin K (Figura 1D), y en el C de la biomasa microbiana, que alcanzó máximos de 80 y 193 m³ h⁻¹ con y sin K (Figura 1E). Los suelos con glicerina y tasas de fertilización con K por encima de 53 m³ h⁻¹ disminuyeron la actividad microbiana, con disminución del contenido de C en la biomasa,

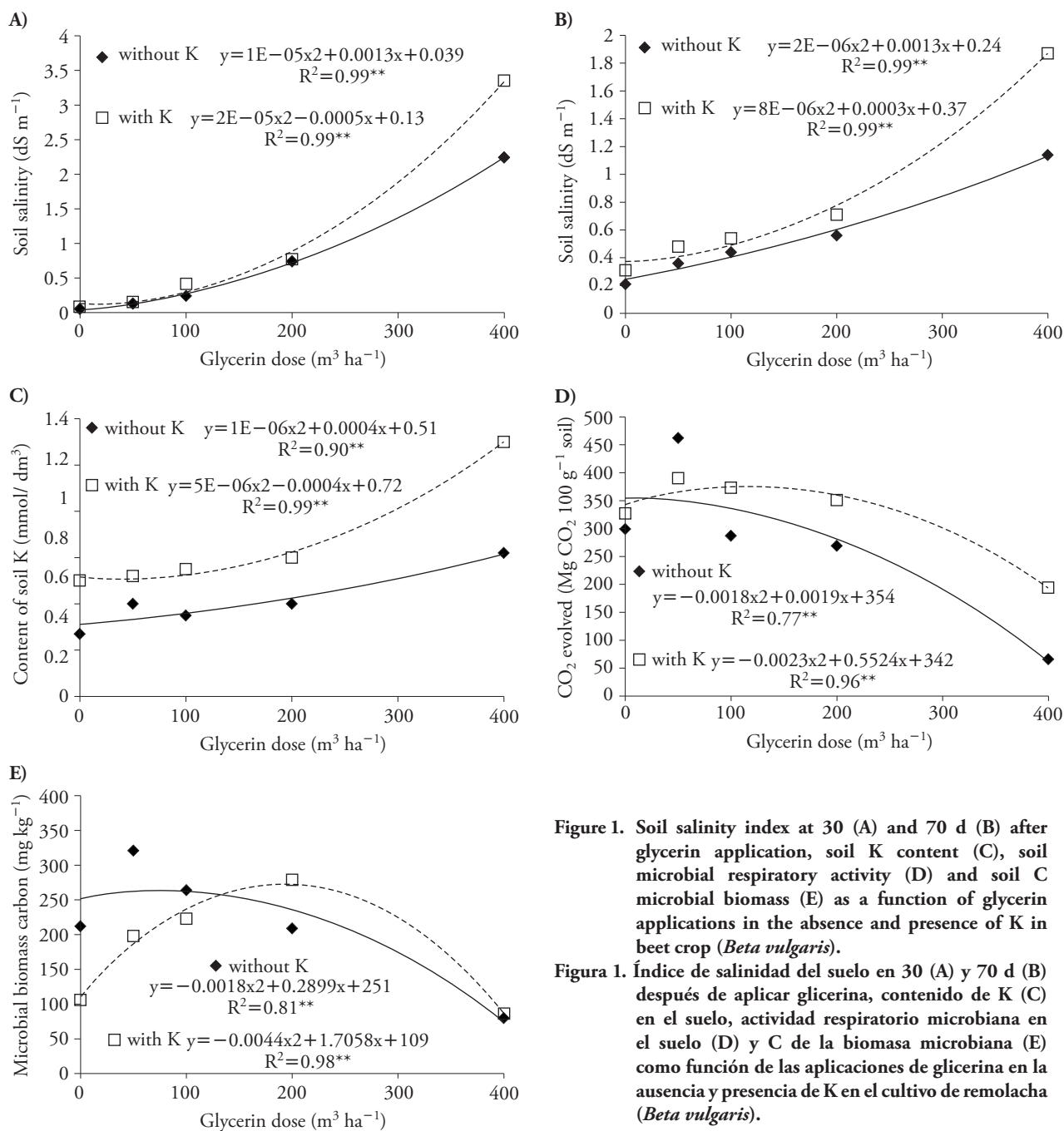


Figure 1. Soil salinity index at 30 (A) and 70 d (B) after glycerin application, soil K content (C), soil microbial respiratory activity (D) and soil C microbial biomass (E) as a function of glycerin applications in the absence and presence of K in beet crop (*Beta vulgaris*).

Figura 1. Índice de salinidad del suelo en 30 (A) y 70 d (B) después de aplicar glicerina, contenido de K (C) en el suelo, actividad respiratorio microbiana en el suelo (D) y C de la biomasa microbiana (E) como función de las aplicaciones de glicerina en la ausencia y presencia de K en el cultivo de remolacha (*Beta vulgaris*).

ha^{-1} with and without K (Figure 2A) and reflected its accumulation in the tuber, reaching the maximum at rate of $59 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ associated with the nutrient. However, for the treatments without K there were reductions in its accumulation in the tuber (Figure 2B).

This reduction by beet plants due to the use of higher rates of glycerin probably occurred due to the increase of the salinity of this residue in the soil

en especial con dosis de glicerina superiores a $80 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$, lo que podría explicarse por la salinidad mayor del suelo, ya discutida. Este efecto perjudicial en la vida microbiana en el suelo está descrito por Chávez y González (2009).

La glicerina aumentó la acumulación de K en los brotes, y el máximo fue con las dosis de 14 y $300 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, con y sin K (Figura 2A) y su acumulación se reflejó en el tubérculo, con un máximo

(Figure 1A, B). The concentration of K in plants decreases with increased salinity (Cornic, 2004) due to the competition of Na and K ions for the carrier sites, given the chemical similarity of the cations (Rodríguez-Navarro, 2000; Rus *et al.*, 2004; Chazen *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2007).

Glycerin rates affected growth variables regardless of the K presence or absence, except tuber diameter and dry matter (DM), 70 d after experiment implementation, when there was interaction (Table 1).

In the first evaluation, 30 d after glycerin application, there was a linear decrease in the number of leaves with and without K (Figure 3B) and in the leaf DM (Figure 3C) and tubers (Figure 3D) when associated K. However, the use of glycerin at rates higher than 3.5 and 11 m³ h⁻¹ reduced plant height with and without K (Figure 3A).

These effects reduced plant DM production; doses of glycerin greater than 70 and 43 m³ h⁻¹, in presence of K, decreased leaves and tubers dry weight (Figure 3C, D). These results indicate that beet seedlings are sensitive to glycerin, especially if associated with K because of salinity, as Chinnusamy *et al.* (2005) reported in plants in early growth stages. Glycerin increased growth variables at harvest with quadratic adjustment (Figure 4). The use of glycerin with and without K reached the maximum point at rates of 28 and 13, 60 and 80, 54 and 82, 45 and 25, 5 and 83, and 16 and 90 m³ ha⁻¹ for plant height, number of leaves, leaf DM, tuberous root diameter, tuberous root DM and total DM (Figure 4).

de 59 m³ ha⁻¹, asociado al nutriente. Sin embargo, para los tratamientos sin K acumulación en el tubérculo se redujo (Figura 2B).

Esta reducción en las plantas de remolacha debida al uso de mayores dosis de glicerina probablemente se debió al aumento de la salinidad de este residuo en el suelo (Figura 1A, B). La concentración de K en las plantas disminuye con el aumento de la salinidad (Cornic, 2004) debido a la competencia de los iones Na y K por los acarreadores, por la similitud química de los cationes (Rodríguez-Navarro, 2000; Rus *et al.*, 2004; Chazen *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2007).

Las concentraciones de glicerina afectaron las variables de crecimiento, independiente de la presencia o ausencia de K, excepto el diámetro del tubérculo y la materia seca (MS), 70 d después del inicio del estudio, cuando hubo interacción (Cuadro 1).

En la primera evaluación, 30 d después de aplicar glicerina con y sin K hubo disminución lineal del número de hojas (Figura 3B), de la MS de la hoja (Figura 3C) y tubérculos (Figura 3D) cuando se asoció al K. Sin embargo, dosis mayores a 3.5 y 11 m³ h⁻¹ de glicerina con y sin K redujo la altura de las plantas (Figura 3A).

Estos efectos disminuyeron la producción de MS en la planta; el uso de dosis de glicerina mayores a 70 y 43 m³ h⁻¹, en presencia de K, redujeron las tasas de peso seco en hojas y tubérculos (Figura 3C, D). Estos resultados indican que las plántulas de remolacha son sensibles a la glicerina, en especial si se asocia con K, debido a la salinidad, como Chinnusamy *et*

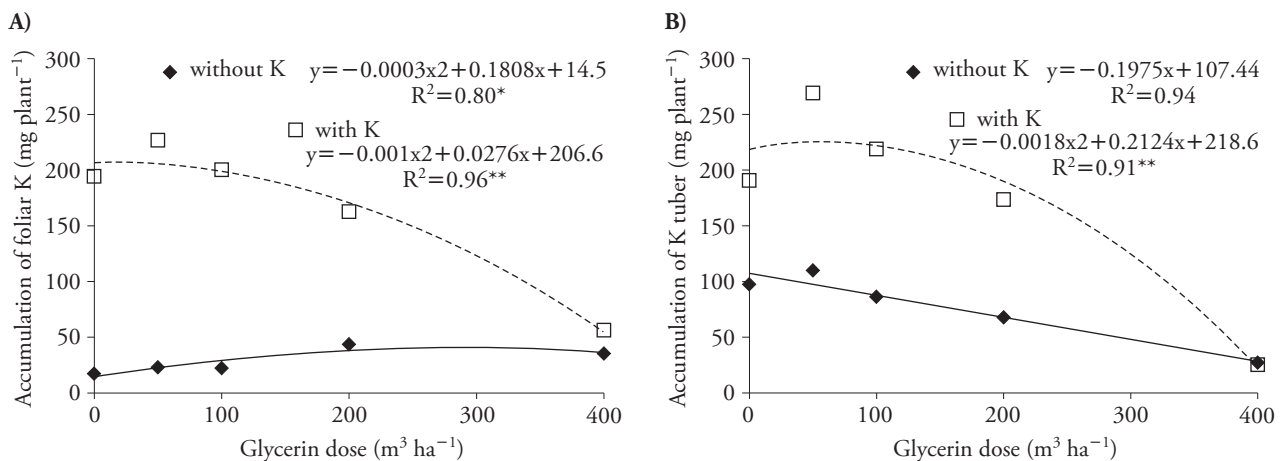


Figure 2. Potassium accumulation in the shoot (A) and tuber (B) in beet plants, 70 d after treatments application.

Figura 2. Acumulación de potasio en el brote (A) y tubérculo (B) de plantas de remolacha, 70 d después de aplicar los tratamientos.

Table 1. Growth and yield of beet (*Beta vulgaris*) at 30 and 70 d after treatments implementation. Jaboticabal-SP, Brazil, 2014.
Cuadro 1. Crecimiento y rendimiento de remolacha (*Beta vulgaris*) a los 30 y 70 d después de aplicar los tratamientos. Jaboticabal-SP, Brasil, 2014.

Treatments	PH		NL		TD	LDM		TDM	
	30	70	30	70	70	30	70	30	70
K	cm				cm	g pot ⁻¹			
Without K	28.7	32.85	8.90	12.50	48.9	2.47	5.78	1.04	8.82
With K	28.3	35.05	8.32	14.05	52.4	2.32	6.90	1.07	10.27
Test F	0.20 ^{ns}	5.96 ^{**}	7.99 ^{**}	18.55 ^{**}	10.30 ^{**}	1.04 ^{ns}	9.56 ^{**}	0.05 ^{ns}	18.91 ^{**}
Glycerin(G)									
0	33.2	35.87	9.69	13.25	53.37	2.77	6.42	1.42	10.67
50	34.1	38.25	9.88	14.75	61.62	3.72	8.06	1.83	13.75
100	32.0	36.00	8.87	13.62	56.12	2.89	7.18	1.28	10.93
200	29.1	32.87	8.44	13.25	51.75	2.04	5.96	0.73	9.75
400	14.2	26.75	6.19	11.50	30.37	0.57	4.10	0.0	2.62
Test F	75.33 ^{**}	19.54 ^{**}	42.21 ^{**}	8.41 ^{**}	95.88 ^{**}	51.28 ^{**}	13.29 ^{**}	24.47 ^{**}	124.2 ^{**}
K×G	2.33 ^{ns}	1.13 ^{ns}	2.21 ^{ns}	1.62 ^{ns}	4.91 ^{**}	2.71 ^{ns}	1.01 ^{ns}	1.24 ^{ns}	4.96 ^{**}
CV (%)	9.4	8.4	7.5	8.6	6.8	19.6	18.2	38.4	11.0

** : significant, Tukey test ($p \leq 0.01$); ns: not significant. PH: plant height; NL: number of leaves; TD: tuber diameter; LDM: leaf dry matter; TDM: tuber dry matter * : significativo prueba de Tukey ($p \leq 0.01$); ns: no significante. PH: altura de la planta; NL: número de hojas; TD: diámetro del tubérculo; LDM: materia seca de la hoja; TDM: materia seca del tubérculo.

The use of high rates of glycerin was harmful to the crop because it limited the total plant DM accumulation, especially in rates higher than 16 and 90 m³ ha⁻¹ in the absence and presence of K (Figure 4F). This fact is probably due to salinity, since it can affect the development of crops due to changes in the photosynthetic rate and in the carbohydrate metabolism (Argente *et al.*, 2009), including beet, which is a plant species tolerant to soil salinity (Chávez and González, 2009). Besides, larger decreases in the DM of the whole plant due to glycerin (above 16 m³ ha⁻¹) occurred without the K, probably due to increases in Na concentration in the plants which induced more severe reduction in K, affected the ionic balance and reduced the development of plants (Khoshgoftermanesh and Naeini, 2008).

There was higher tolerance of beet plants to glycerin when combined with K fertilization because there was high accumulation of this element in the plant, affecting the maintenance of ionic homeostasis, process of vital importance in the functioning of the plant cell. This was reported by Bartels and Ramanjulu (2005), who observed the need to maintain high K

al. (2005) reportan en plantas en etapas tempranas de crecimiento. La glicerina aumentó las variables crecimiento en la cosecha con ajuste cuadrático (Figura 4). El uso de la glicerina con y sin K alcanzó el punto máximo con dosis de 28 y 13, 60 y 80, 54 y 82, 45 y 25, 5 y 83, y 16 y 90 m³ ha⁻¹ de altura de planta, número de hojas, MS de hojas, diámetro de la raíz tuberosa, MS de la raíz tuberosa y MS total (Figura 4).

El uso de dosis altas de glicerina perjudicó el cultivo, porque limita la acumulación de MS total de la planta, en especial con dosis superiores a 16 y 90 m³ ha⁻¹ en ausencia y presencia de K (Figura 4F). Este hecho probablemente se debe a la salinidad, porque puede afectar el desarrollo de los cultivos debido a cambios en la tasa fotosintética y en el metabolismo de los carbohidratos (Argente *et al.*, 2009), incluyendo la remolacha, que es una especie tolerante a la salinidad en el suelo (Chávez y González, 2009). Además, la mayor disminución en la MS de la planta entera debido a la glicerina (más de 16 m³ ha⁻¹) se produjeron sin K, probablemente por el aumento de la concentración de Na en las plantas que indujo reducción más seve-

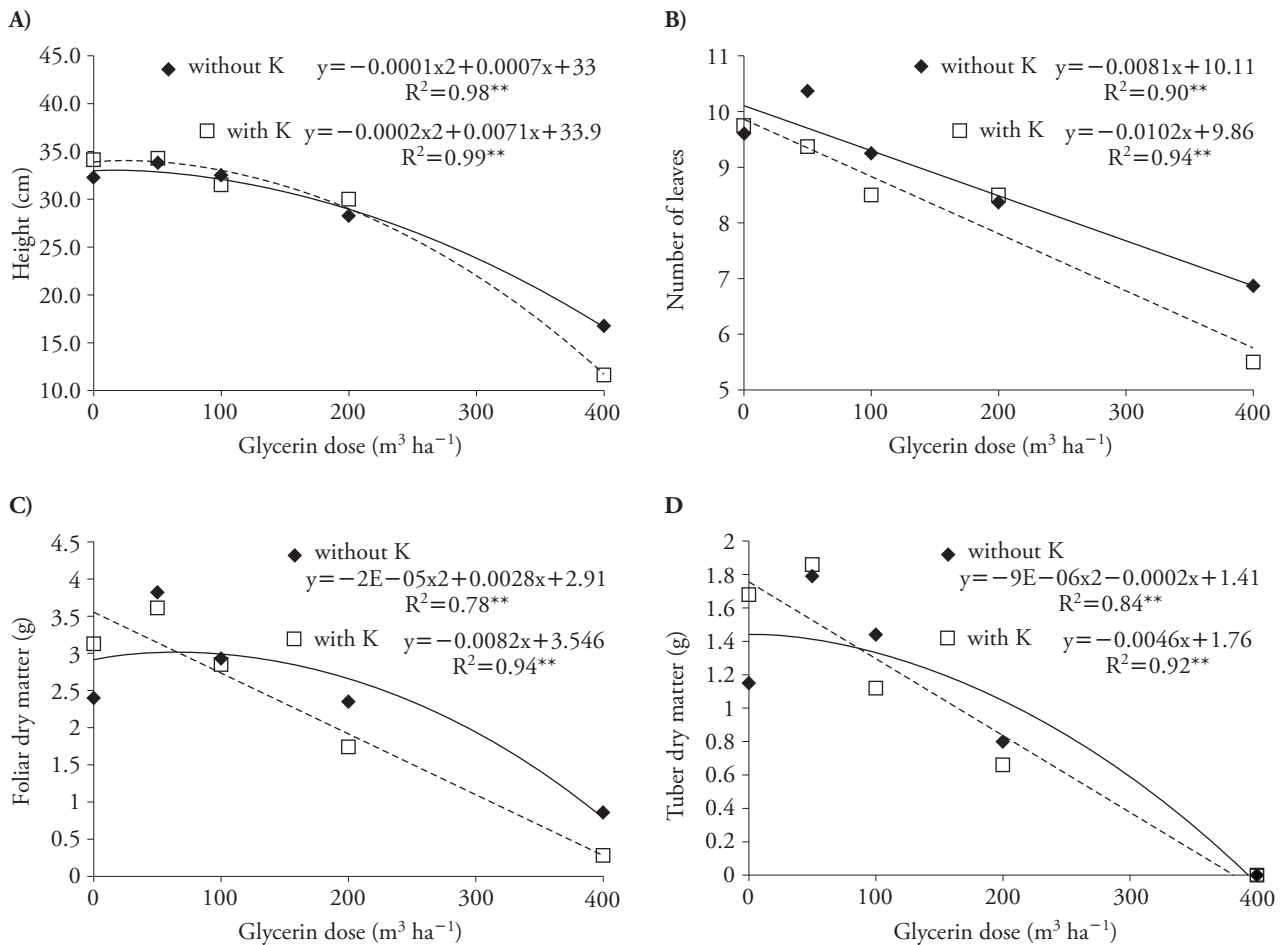


Figure 3. Plant height (A), number of leaves (B), leaf dry matter (C) and tuber dry matter (D) in beet (*Beta vulgaris*) plants 30 d after treatment applications.

Figura 3. Altura de planta (A), número de hojas (B), materia seca de la hoja (C) y materia seca del tubérculo (D) en plantas de remolacha (*Beta vulgaris*) de 30 d, después de aplicaciones de los tratamientos.

ion concentrations in plants subjected to salt stress, to maintain an appropriate K^+/Na^+ ratio, ensuring adequate cellular metabolism and major plant growth.

CONCLUSIONS

Glycerin, at the rates of 16 and 90 m³ h⁻¹, in absence and presence of K fertilization, increases the production of dry matter of beet plants. But, higher rates induces soil salinity and decreases K absorption and microbial soil activity.

ACKNOWLEDGMENTS

To the International Cooperation Program of CAPES / MES by granting the first author scholarship.

ra en K, afectó el equilibrio iónico y la reducción del desarrollo de las plantas (Khoshgoftermanesh y Naeini, 2008).

La tolerancia de las plantas de remolacha a la glicerina fue mayor cuando se combinó con fertilización de K, ya que hubo alta acumulación de este elemento en la planta, lo cual afectó el mantenimiento de la homeostasis iónica, un proceso de importancia vital en el funcionamiento de la célula vegetal. Esto fue reportado por Bartels y Ramanjulu (2005), quienes observaron la necesidad de mantener concentraciones altas de iones K en plantas sometidas a estrés salino, para mantener la relación K^+/Na^+ apropiada, y asegura el metabolismo celular adecuado y el crecimiento principal de la planta.

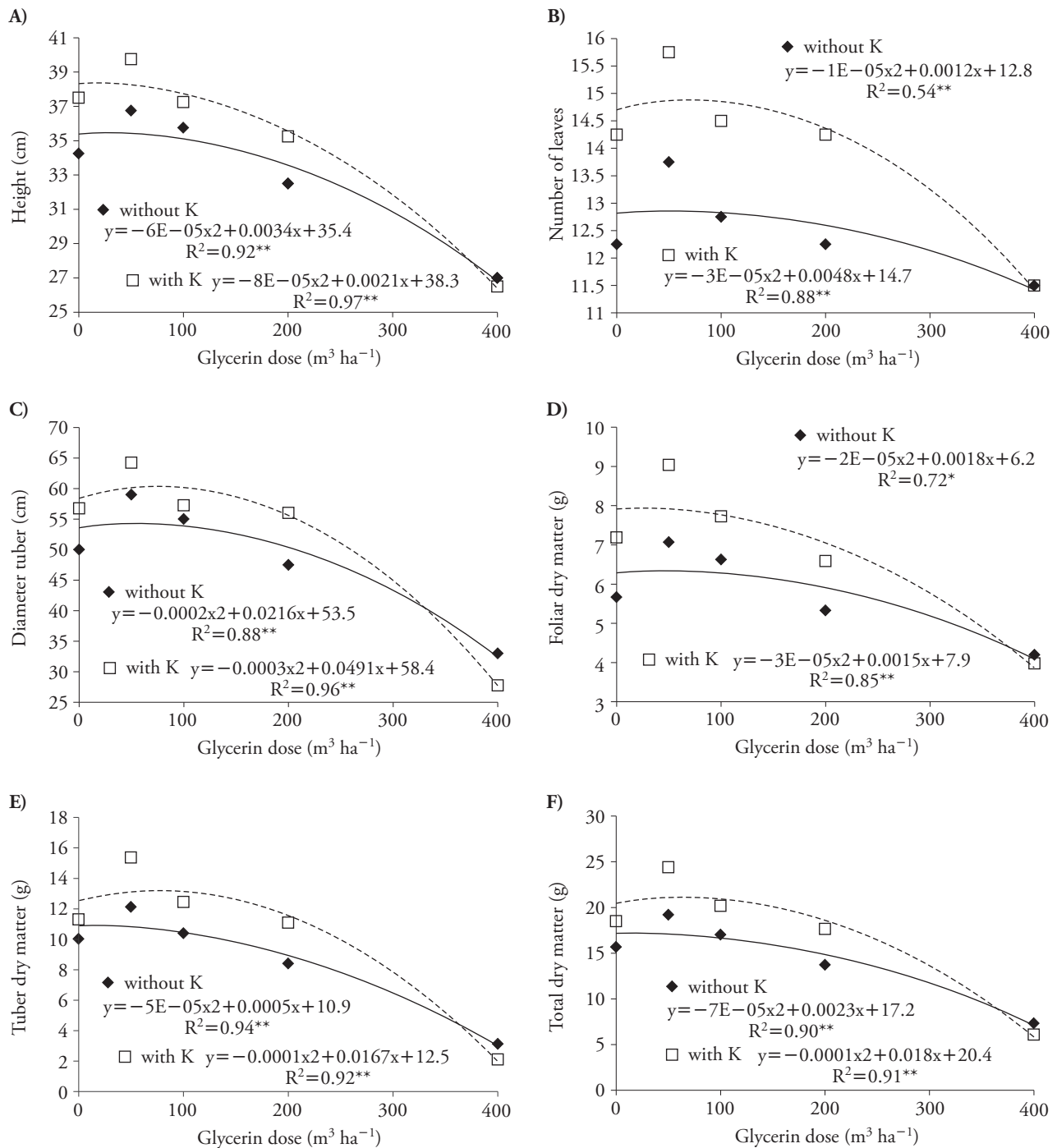


Figure 4. Plant height (A), number of leaves (B), diameter of the tuberous root (C), leaf dry matter (D), dry weight of the tuberous root (E) and total dry matter (F) of beet (*Beta vulgaris*) plants 70 d after treatments application.

Figura 4. Altura de planta (A), número de hojas (B), diámetro de la raíz tuberosa (C), materia seca de la hoja (D), peso seco de la raíz tuberosa (E) y materia seca total (F) de plantas de remolacha (*Beta vulgaris*) de 70 d, después de la aplicación de los tratamientos.

LITERATURE CITED

- Amini, F., A. A. Ehsanpour, Q. T. Hoang, and J. S. Shin. 2007. Protein pattern changes in tomato under *in vitro* salt stress. *Russ. J. Plant Physiol.* 54: 464-472.
- Aquino, L. A., M. Puiatti, P. R. G. Pereira, F. H. F. Pereira, e I. R. Ladeira, M. R. S. Castro 2006. Produtividade, qualidade e estado nutricional da beterraba de mesa em função de doses de nitrogênio. *Hortic. Bras.* 24: 199-203.
- Argente, L., D. R. López, L. M. González, R. C. López, E. Gómez, R. Girón, e I. Fonseca. 2009. Contenido de clorofila e iones en la variedad de trigo harinero Cuba-C-2004, en condiciones de estrés salino. *Cultivos Trop.* 30: 32-37.
- Bataglia, O. C., A. M. C. Furlani, J. P. F. Teixeira, P. R. Furlani, e J. R. Gallo. 1983. Métodos de análise química de plantas. Instituto Agronômico, Boletim Técnico 78. Campinas, Brasil. 48 p.
- Bartels, D., and S. Ramanjulu. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Plant Sci.* 24: 23-58.
- Chávez, L., y L. M. González. 2009. Mecanismos moleculares involucrados en la tolerancia de las plantas a la salinidad. *ITE Agraria* 15: 231-256.
- Chazen, O., W. Hartung, and P. M. Neumann. 2005. The different effects of PEG 6000 and NaCl on leaf development are associated with differential inhibition of root water transport. *Plant Cell Environ.* 18: 727-735.
- Chen, H., and J. Jiang. 2010. Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environ. Rev.* 18: 309-319.
- Chinnusamy, V., A. Jagendorf, and J. K. Zhu. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45: 437-448.
- Cornic, G. 2004. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. *In: Baker, N. R., and J. R. Bowyer (eds). Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field.* BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK. pp: 297-313.
- Cruz, J. C., S. Pelacani, and W. Dos Santos. 2003. Production and partitioning of dry matter and stomatal conductance of rangpur lemon under salt stress. *Rev. Bras. Frutic.* 25: 528-531.
- Demiral, A. 2005. Comparative response of two live (*Olea europaea* L.) cultivars to salinity. *Turk. J. Agric. Forest.* 29: 267-274.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Produção de Informações. Brasília, Brasil. 412 p.
- Ferreira, A. S., F. A. O. Camargo, e C. Vidor. 1999. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *Rev. Bras. Ciência Solo* 23: 991-996.
- Ferreira, D. F. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência Agrotec.* 35: 1039-1042.
- Khoshgoftermanesh, A. H., and M. R. Naeini. 2008. Salinity effect on concentration, uptake, and relative translocation of mineral nutrients in four olive cultivar. *J. Plant Nutr.* 31: 1243-1256.

CONCLUSIONES

La glicerina, a dosis de 16 y $90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, en ausencia y presencia de la fertilización con K, aumenta la producción de MS de las plantas de remolacha. Pero dosis más altas inducen la salinidad del suelo y disminuye la absorción de K y la actividad microbiana del suelo.

—Fin de la versión en Español—



- Lammers, P. J., M. S. Honeyman, K. Bregendahl, B. Kerr, and T. Weber. 2007. Energy value of crude glycerol fed to pigs. Iowa State University Animal Industry Report 2007. Disponible: <http://www.ans.iastate.edu/report/air/2007pdf/R2225.pdf>. (Access: October, 2014).
- Ma, F., L. D. Clements, and M.A. Hanna. 1998. The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. *Am. Soc. Agric. Eng.* 4: 1261-1264.
- Mahajan, S., and N. Tuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Arch. Biochem. Biophys.* 444: 139-158.
- Malavolta, E. 1981. Manual de Química Agrícola. Adubos e Adubações. 3rd ed. Agronômica Ceres. São Paulo, Brasil. 596 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plant. Academic Press., London UK. 889 p.
- Muñoz-Lagos, R. E., R. A. Ortega-Blu, L. G. Acosta-Espejo, y R. A. González-Platteau. 2010. Biocombustibles en Chile. II. Evaluación económica de la elaboración de biocombustibles. *Agrociencia* 44: 849-859.
- Raij, B. van., H. Cantarella, J. A. Quaggio, and A. M. C. Furlani. 1997. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2nd ed. Instituto Agronômico. Boletim Técnico 100. Campinas, Brasil. 285 p.
- Raij, B. van, J. C. Andrade, H. Cantarella, and J. A. Quaggio. 2001. Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agronômico. Campinas, Brasil. 285 p.
- Rezende, L. A., L. C. Assis, and E. Nahas. 2004. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. *Biores. Tech.* 94: 159-167.
- Rodríguez-Navarro, A. 2000. Potassium transport in fungi and plants. *Biochi. Biophys. Acta* 1469: 1-30.
- Rus, A., B. Lee, A. Muñoz., A. Sharkhuu, J. Zhu, J. Bressan, and R. P. Hasegawa. 2004. AtHKT1 facilitates Na^+ homeostasis and K^+ nutrition in planta. *Plant Physiol.* 136: 2500-2511.
- Thompson, J. C., and B. B. He, 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feed stocks. *Appl. Engin. Agric.* 22: 261-265.
- Wang, S. M., J. L. Zhang, and T. J. Flowers. 2007. Low-affinity Na^+ uptake in the halophyte *Suaeda maritima*. *Plant Physiol.* 145: 559-571.