

Lixiviación de potasio y contenidos nutrimentales en suelo y alfalfa en respuesta a dosis de vinaza*

Potassium leaching and nutrient content in soil and alfalfa's response to a dose of vinasse

Patricia Flores Rodríguez¹, Francisco Gavi Reyes^{1§}, Elibeth Torres Benites¹ y Elizabeth Hernández Acosta²

¹Postgrado de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel. 01 595 9520200. Ext. 1000 y 1025. (patriciaflores@colpos.mx), (gavi@colpos.mx), (hely@colpos.mx). ²Departamento de Recursos Naturales de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. (elizahac@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: gavi@colpos.mx.

Resumen

Bajo condiciones de invernadero y con base a la concentración de potasio (K^+) en la caracterización química de la vinaza, se evaluó el efecto de diferentes dosis (0, 250 y 500 kg ha⁻¹ de K^+) sobre el suelo, en columnas de cloruro de polivinilo (PVC), empleando lisímetros de succión a dos profundidades (23 y 46 cm) y muestras al final de la columna (75 cm). En lixiviados se evaluó la concentración de K, el efecto sobre pH y conductividad eléctrica (CE), como cultivo indicador se uso alfalfa (*Medicago sativa*), efectuándose dos cortes, en un periodo de 120 días y una aplicación de vinaza al inicio del experimento y otra después del primer corte. En muestras de plantas las variables fueron materia seca, N_T, B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Zn y NO₃ en suelo se consideró CE, pH, NH₄, NO₃, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn Mn y MO (materia orgánica). En el análisis estadístico la dosis 500 kg ha⁻¹ de K tuvo efecto sobre la fertilidad del suelo, registrando un incremento en: MO, NH₄, P, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y K. La CE y K el mayor efecto ($p < 0.05$) fue en los 10 cm en suelo y en lixiviados el efecto ($p < 0.05$), fue a los 23 cm de profundidad, para ambas aplicaciones de vinaza. El pH no presentó cambios ($p < 0.05$), con la aplicación de vinaza. En tejido vegetal los nutrimentos que aumentaron ($p < 0.05$) fueron para P= 1939.2 y Zn= 28.63 mg kg⁻¹ para dosis 500 kg

Abstract

Under greenhouse conditions and based on the concentration of potassium (K^+) in the chemical characterization of Vinasse, the effect of different doses (0. 250 y 500 kg ha⁻¹ de K^+) was evaluated in the soil, in columns of polyvinyl chloride (PVC), using suction lysimeters at two depths (23 and 46 cm) and samples at the end of the column (75 cm). In Leaching, the K concentration, the effect on pH and the electric conductivity (CE) was evaluated; as the crop indicator, alfalfa was used (*Medicago sativa*), making 2 cuts in a period of 120 days and applying vinasse at the beginning of the experiment and then again after the first cut. In plant samples, the variables were dry material, N_T, B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Zn and NO₃ in soil, CE, pH, NH₄, NO₃, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn Mn abd MO (organic material) was considered. In the statistical analysis of the K dose of 500 kg ha⁻¹ there was an effect on the soil fertility, registering an increase in MO, NH₄, P, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y K. La CE and K. The greatest effect ($p < 0.05$), was in 10cm of soil. In leached soil, the effect ($p < 0.05$) was at a depth of 23 cm for both applications of vinasse. The pH did not show changes ($p < 0.05$), with the application of vinasse. In plant tissue, the nutrients that increased ($p < 0.05$) were for P= 1939.2 and Zn= 28.63 mg kg⁻¹ for the dose of 500 kg ha⁻¹,

* Recibido: octubre de 2011
Aceptado: agosto de 2012

ha⁻¹, en relación al control el P= 1025.2 y Zn= 14.17 mg kg⁻¹ respectivamente. Por lo anterior el uso de la vinaza, como insumo de nutrición vegetal, es recomendable.

Palabras clave: *Medicago sativa*, conductividad eléctrica, lisímetros, pH.

Introducción

Uno de los principales problemas ambientales en la mayoría de los países productores de caña de azúcar, tanto en la producción de alcohol etílico, es la generación de residuos orgánicos conocidos como vinaza. Bermúdez *et al.* (2000), advierten que la vinaza es altamente contaminante, debido a su bajo pH y elevada demanda química de oxígeno (DQO).

En México existen 16 destilerías que producen más de 50 millones de litros de alcohol etílico (CEFP, 2002) y generan entre 12 y 14 litros de vinaza por cada litro de alcohol etílico producido de la fermentación de melaza Pandiyan *et al.* (1999) en el caso de alcohol anhidro que genera de 10 a 15 litros de vinaza (Perret *et al.*, 2010). Basanta (2007) caracteriza a la vinaza como un residuo alcohólico, viscoso con densidad aproximada de 4 a 10 °Brix, que a temperaturas y concentraciones altas es corrosivo. Bebe *et al.* (2009) asoció la aplicación de vinaza con la elevada concentración de K, además de encontrar un aumento Ca, Mg y Na en la composición del suelo. En general, los resultados presentados se puede verificar que la aplicación de vinaza en el suelo fue favorable en la fertilidad del suelo y en la calidad ambiental de los efluentes. La aplicación de vinaza al suelo genera cambios en algunas de las características físicas, químicas y biológicas, como: pH, disponibilidad de nutrientes principalmente K, cambios en la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y la actividad biológica (Quintero, 2003).

Desde el punto de vista de la fertilidad, puede observarse la alta concentración de potasio en los primeros 30 cm del suelo (Brito y Rolim, 2005). Actualmente se está estudiando la aplicación de vinaza de forma concentrada, diluida y mezclada con otras abonos o fuentes convencionales de fertilización, como la mezcla utilizada por Gómez (2009), de urea-vinaza mostró que en un periodo de 30 días las pérdidas de nitrógeno por volatilización fueron bajas, debido a que la vinaza concentrada (sin diluir) tienen características quelatantes, ligantes y encapsulantes, evitando perdidas altas de nitrógeno.

with respect to the control, P= 1025.2 and Zn= 14.17 mg kg⁻¹ respectively. For the former, the use of Vinasse as an input of plant nutrition is recommended.

Key words: *Medicago Sativa*, electrcity conductivity, lysimeters, pH.

Introduction

One of the principle environmental problems in the majority of sugar-cane producing countries is as much the production of ethyl alcohol as it is the generation of organic residues known as vinasse Bermúdez *et al.* (2000) warned that the vinasse is highly contaminating given its low pH and elevated chemical demand for oxygen (CDO).

In Mexico, there are 16 distilleries that produce more than 50 million liters of ethyl alcohol (CFEP, 2002) and generate anywhere between 12 and 14 liters of vinasse for each liter of ethyl alcohol produced from the fermentation of molasses (Pandiyan *et al.*, 1999). In the case of anhydrous alcohol, 10 to 15 liters of vinasse is generated (Perret *et al.*, 2010). Basanta (2007) characterizes the vinasse as an alcoholic residue, viscous with a density of approximately 4 to 10 °Brix and when at high temperatures and concentrations is corrosive. Bebe *et al.* (2009) associated the application of vinasse with an increased concentration of K, besides from finding an increase in Ca, Mg, and Na in the soil composition. In general the presented results can verify that the application of vinasse on the soil was favorable for soil fertility and the environmental quality of the effluents. The application of vinasse on the soil generated changes in some of the physical, chemical and biological characteristics, like: pH, availability of nutrients-principally K, changes in organic material, capacity of catatonic change, electric conductivity and biological activity (Quintero, 2003).

From the point of view of fertility, a high concentration of potassium in the first 30cm of the soil can be observed (Brito and Rolim, 2005). Actually, the application of vinasse can be studied in its concentrated form, diluted form, and when mixed with other fertilizers or conventional sources of fertilization, like that used by Gómez (2009). Urea-vinasse showed that over a period of 30 days, the nitrogen loss from volatilization were low, due to the fact that the concentrated vinasse (undiluted) has chelating characteristics, binders and encapsulates, preventing high losses of nitrogen.

Gómez (2009) considera a la vinaza un fertilizante orgánico que se caracteriza por una alta concentración de sólidos, materia orgánica, nitrógeno, potasio, azufre y elementos menores, con alta actividad microbiológica, la aplicación puede incrementar el contenido de materia orgánica y favorecer la fertilidad física, química y biológica de los suelos. Bianchi (2008) considera a la vinaza como un excelente abono para el suelo. Estudios realizados por Bebe *et al.* (2009), en suelos de baja fertilidad, demuestran un incremento del potasio disponible en el suelo, especialmente en los primeros 10 cm de profundidad, demostrando que en los suelos aplicados con vinaza el potasio es retenido y no se lixivia.

Esta investigación presenta una alternativa para la aplicación de vinaza como fuente de potasio en suelos cañeros, la modificación de la fertilidad variará en función a la dosis así como la extracción de nutrimentos del cultivo.

Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en el invernadero del área de Hidrociencias del Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo, Estado de México, el suelo utilizado fue de la región cañera del Ingenio el Potrero Nuevo, municipio de Atoyac, Veracruz; el sitio se localiza a 18° 52' 40.548" de latitud norte y 96° 48' 11.375" de longitud oeste, con una elevación de 542 msnm. El registro de las temperaturas máximas y mínimas promedio dentro del invernadero, fue de 30.45 y 7.5 °C respectivamente, en un periodo de 132 días.

Establecimiento del experimento

Se emplearon 6 tubos de cloruro de polivinilo (PVC) de diámetro interior de 15.24 cm y 75 cm de longitud (Figura 1). En la parte inferior del tubo o columna se colocó malla de plástico con orificios de apertura menor a 1 mm; para contener el suelo dentro de la columna y no interrumpir el flujo del lixiviado a la parte inferior (75 cm); la malla fue sujeta con alambre galvanizado al tubo de PVC. Para el llenado de columnas se cavó un perfil de 80 cm de profundidad en la zona aledaña al Ingenio El Potrero, se tomaron muestras de suelo a tres profundidades para análisis de fertilidad, se instalaron 2 lisímetros de succión por columna (23 y 46 cm de profundidad) se llenó con 12.8 dm³ de suelo a cada columna, al finalizar el experimento se extrajo el suelo de cada columna, a cuatro profundidades (0-

Gómez (2009) considered vinasse as an organic fertilizer that is characterized by a high concentration of solids, organic material, nitrogen, potassium, sulfur, and other minor elements; with a high microbiological activity, the application could increase the organic matter content and favor the physical, chemical and biological fertility of the soil. Bianchi (2008) considers vinasse an excellent fertilizer for soil. Studies done by Bebe *et al.* (2009), in low fertility soils, demonstrate an increase of available potassium in the soil, especially in the first 10 cm of depth, demonstrating that the when vinasse is applied to soils, the potassium is retained and does not leach.

This investigation presents an alternative for the application of vinasse as a source of potassium in sugarcane soils; the modification of the fertility will vary according to the dose as well as the extraction of the nutrients of the crop.

Materials and methods

The present investigation was carried out in a greenhouse in the area of Hydro-sciences of the College of Postgraduates for Agricultural Science, Montecillo Campus, Mexico State. The soil that was utilized was from the sugarcane region of Potrero Nuevo, municipality of Atoyac, Veracruz; the site is located at 18° 52' 40.548" de north and 96° 48' 11.375" west, with an elevation of 542 msnm. The record of the average minimum and maximum temperatures inside the greenhouse was 30.45 y 7.5 °C, respectively, for the period of 132 days.

Establishment of the experiment

Six polyvinylchloride (PVC) tubes with an interior diameter of 15.24 cm and 75 cm in length (Figure 1) were used. In the inferior part of the tube, a plastic screen with orifices that had an opening less than 1 mm; to contain the soil inside the column and not interrupt the flow of leaching to the inferior part (.75 cm), the screen was held in place by galvanized wire tied to the PVC tube. To fill the columns, a profile with a depth of 80 cm was dug in the area surrounding the Ingenio El Potrero; Soil samples were taken at three depths for a fertility analysis. Two suction lysimeterse were installed by column (Depth of 23 and 46 cm) it was filled with 12.8 dm³ of soil for each column. Upon finishing the experiment, the soil was extracted from each column at four depths (0-10, 11-30, 31-55 y 56-65 cm). The columns were taken to the

10, 11-30, 31-55 y 56-65 cm). Las columnas fueron llevadas al invernadero del Campus Montecillo; donde se colocaron sobre una estructura, asegurando una posición vertical para captar el lixiviado de la parte inferior de la misma.

Utilizando el criterio de muestreo del PROY-NMX-AA-003/1-SCFI-2008 se tomó la muestra del canal de vinaza; punto cercano a la alcoholera de Zapopan, S. A. de C. V. ubicada en el km 9 de la carretera Potrero Atoyac a 1 km al este de la población Potrero Nuevo en el municipio de Atoyac, Veracruz.

Se analizó la composición iónica del agua utilizada para riego de la alfalfa (*Medicago sativa*), fue de un pozo profundo que abastece al invernadero, se tomaron tres muestras directamente de la llave.

Se realizaron dos cortes al cultivo de alfalfa durante el experimento. Las plantas de cada columna se cortaron 5 cm de la base, después se almacenaron en bolsas rotuladas de papel, para su secado, pesado, preparación y análisis químico.

Establecimiento del cultivo. Las semillas de alfalfa se depositaron en la parte superior (0.01824 m²) de las columnas inalteradas de suelo, utilizando una densidad de siembra equivalente a 30 kg semilla ha⁻¹; lo que resultó en 0.0547 g de semilla por columna. Se usó la variedad inoculada Júpiter.

Se aplicaron dosis de K equivalente a 500 y 250 kg ha⁻¹ en forma de vinaza, la cual tuvo un contenido de K de 7358 mg L⁻¹. El control de humedad en la columna fue por diferencia de peso, manteniendo las columnas de suelo a capacidad de campo. Los tratamientos fueron: columna adicionada con 124 ml de vinaza (equivalente a 500 kg ha⁻¹ de K), columna adicionada con 62 ml de vinaza (equivalente a 250 kg ha⁻¹ de K) y columna sin adición de vinaza, cada tratamiento con repetición. Este proceso inicio a los 14 días después de que germinó la alfalfa; se aplicaron los tratamientos; la periodicidad en toma y medición de lixiviados fue cada 2 días en un periodo de 10 días; posteriormente se realizó cada 4 y 7 días, se utilizó jeringa de 30 cm³ para extraer los lixiviados y crear el vacío (2 atm).

Determinaciones

Las muestras de suelo fueron secadas en el invernadero, tamizadas (malla Núm. 2), se realizaron las siguientes determinaciones (Cuadro 1). El análisis se realizó de acuerdo

greenhouse at Montecillo Campus, where they were put on a structure, securing the vertical position to capture the leaching from the lower part of the tube.

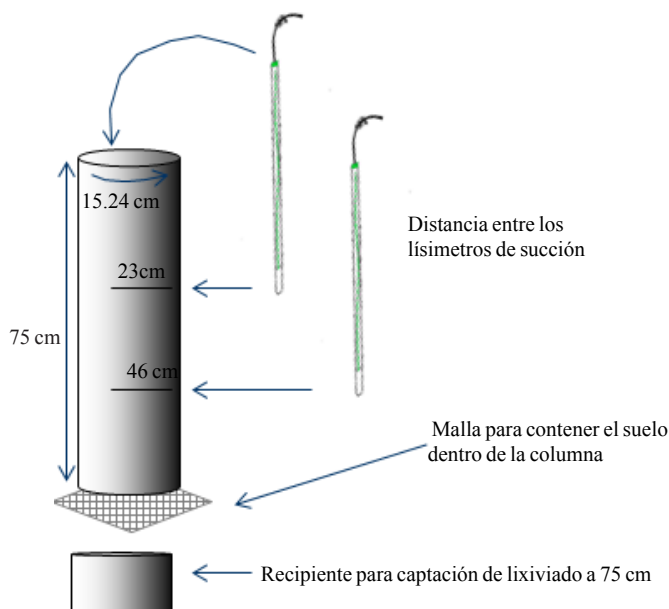


Figura 1. Diseño de columna de PVC.

Figure 1. Design of PVC column.

Using the sampling criteria of PROY-NMX-AA-003/1-SCFI-2008, the sample from the vinasse canal was taken at a point near to the distillery in Zapopan, S. A. of C. V., located at km 9 of the highway Potero-Atoyac, 1km from the town Potrero Nuevo in the municipality of Atoyac, Veracruz.

The ionic composition of the water that was used to irrigate the alfalfa (*Medicago sativa*) was analyzed; it came from a deep well that is used to sustain the greenhouse. Three samples were taken directly from the faucet.

The alfalfa was cut down twice during the experiment. The plants of each column were cut at 5cm from the base; afterwards, there were stored in paper bags, labeled for their drying, their weight, their preparation and their chemical analysis

Establishment of crop

The seeds of alfalfa were deposited in the upper part (0.01824 m²) of the unchanged column of soil, using a planting density equivalent to 30 kg seeds ha⁻¹; this resulted in 0.0547 g of seed per column. The inoculated variety, Jupiter, was used.

al método descrito por la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

A dose of K, equivalent to 500 and 250 kg ha⁻¹ in the form of vinasse, was applied, which had a K content of 7 358 mg L⁻¹. The humidity control in the column was for a difference

Cuadro 1. Determinaciones realizadas a muestras de suelo.

Table 1. Determinations made on soil samples.

Determinación	Unidades reportadas	Método - Equipo
pH*		Potenciómetro (Hanna Instruments mod. HI991301)
CE**	1:5 H ₂ O mmhos cm ⁻¹	Conductímetro (Hanna Instruments)
Materia Orgánica (M.O)	(%)	Walkley y Black
Nitrógeno (N)	(%)	Micro- Kjeldahl
Fósforo (P)	ppm	Olsen
Potasio (K) soluble	ppm	Flamometro Autocal flame-photometer 643
Calcio (Ca ²⁺)	µg ml ⁻¹	Acetato de amonio
Magnesio (Mg ²⁺)	µg ml ⁻¹	DTPA
Manganeso (Mn)	ppm	Acetato de amonio
Cobre (Cu)	ppm	DTPA
Fierro (Fe)	ppm	DTPA
Zinc (Zn)	ppm	DTPA
Sodio (Na ²⁺) soluble	ppm	Flamometro Autocal flame-photometer 643
NH ₄	mg/l	Micro- Kjeldahl
NO ₃	mg/l	Micro- Kjeldahl

*potencial de Hidrógeno y ** conductividad eléctrica.

Para las muestras de agua se utilizó el método propuesto por Richards (1990), evaluando el pH (Hanna Instruments), CE en mmhos cm⁻¹ (Bridge mod. 31), temperatura, aniones: CO₃²⁻ (titulación con ácido sulfúrico estándar 0.01 N), HCO₃⁻ (titulación con ácido sulfúrico estándar 0.01 N), SO₄²⁻ (Gravimetría), Cl⁻ (titulación nitrato de plata) y cationes: Ca²⁺+Mg²⁺ (titulación EDTA), Ca²⁺ (titulación EDTA), Na⁺ y K⁺ (Flamometría, AutoCal Flame-Photometer 643).

Las determinaciones en lixiviados fueron pH (Hanna Instruments), CE mmhos cm⁻¹ (conductímetro Bridge mod. 31), temperatura y K⁺ ppm (Flamometría, AutoCal Flame-Photometer 643). Se utilizó el método propuesto por Richards (1990).

El análisis de tejido vegetal de alfalfa (Cuadro 2) se dividió en dos cortes: muestras de tallos y hojas de la cosecha 1 y 2 respectivamente. Ambos cortes se realizaron a los 60 días, con una permanencia de la alfalfa de 120 días en total. Previo al análisis las muestras se manejaron según Jones y Case (1990).

of weight, maintaining the soil columns at field capacity. The treatments were: a column where 124 ml of vinasse (equivalent to 500 kg ha⁻¹ de K) were added, a column where an additional 62 ml of vinasse (equivalent to 250 kg ha⁻¹ de K) were added, and a column void of any additions; each treatment was repeated. This process began at 14 days after the germination of alfalfa; the treatments were applied; the periodicity and measurement of leaching was every 2 days in a period of 10 days; after, I was done every 4 to 7 days. A needle of 30 cm³ was used to extract the leachate and create the vacume (2 atm).

Determinations

The soil samples were dried in the greenhouse, sieved (mesh number 2), and then, the following determinations were made (Table 1). The analysis was carried out according to the methodology as described by NOM-021-SEMARNAT-2000, which establishes the specification for fertility, salinity, and soil classification.

Cuadro 2. Metodologías utilizadas para análisis foliar de alfalfa.
Table 2. Utilized methodologies for the foliar analysis of alfalfa.

Determinación	Unidades	Método	Equipo
Nitrógeno (N)	(%)	Kjeldhal	Colorimetría
Fósforo (P)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Potasio (K)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Sodio (Na ²⁺)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Calcio (Ca ²⁺)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Magnesio (Mg ²⁺)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Fierro (Fe)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Manganeso (Mn)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	Digestión húmeda	ICP
Boro (B)	mg kg ⁻¹	Colorimetría	Espectofotometro
Nitratos (NO ₃)	mg kg ⁻¹	Colorimetría	Espectofotometro
Materia Seca (MS)	(%)	Secado	Horno de aire forzado

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial (3 X 3 X 12 para la cosecha 1 y el arreglo factorial 3 X 3 X 7 para cosecha 2). Los factores evaluados fueron: profundidad (23, 46 y 75 cm), dosis de K (kg ha⁻¹) y días de muestreo. Se realizó por separado para cosecha 1 y 2. La asignación de los tratamientos fue aleatoria a las unidades experimentales, las cuales fueron homogéneas.

Modelo estadístico para muestras de suelo: $Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + P * T_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

Donde: T= tratamiento; P= profundidad; y ε_{ijk} = error experimental de cada observación.

Variables respuesta: pH, CE, MO, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, NH₄ y NO₃

Modelo estadístico para tejido vegetal: $Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$

Donde: T= tratamiento y ε_{ij} = error experimental de cada observación.

Variables respuesta: N, P, K, Mg, Fe, B, Ca, Cu, Zn, Na, Mn, materia seca (MS) y NO₃.

Modelo estadístico para lixiviados: $Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + P * T_{ij} + \varepsilon_{ijk} + D_l + T * D_{il} + T * P * D_{ijl} + \varepsilon_{ijkl}$

For the water samples, Richards' (1990) methods were used, evaluating the pH (Hanna Instruments), CE in mmhos cm⁻¹ (Bridge mod. 31) anions, aniones: CO₃²⁻ (titration with sulfuric acid standard 0.01 N), HCO₃⁻ (titration with sulfuric acid standard 0.01 N), SO₄²⁻ (Gravimetry), Cl⁻ (titration silver nitrate) y cat ions: Ca²⁺+Mg²⁺ (titration EDTA), Ca²⁺ (titration EDTA), Na⁺ y K⁺ (Flamometry, AutoCal Flame-Photometer 643).

The determinations in leachate were pH (Hanna Instruments), CE mmhos CM⁻¹ (conductivity Bridge mod. 31) temperature with K⁺ ppm (Flamometry AutoCal Flame Photometer 643). The method proposed by Richards (1990) was used.

The analysis of the alfalfa plant tissue (Table 2) was divided into two cuts: stem sample and leaf sample from harvests 1 and 2, respectively. Both cuts were done at 60 days, where the alfalfa is complete at 120 days. Before the analysis, the samples were directed by Jones and Case (1990).

Experimental design

The experimental design that was used was a completed randomized design (CRD) with a fixed factorial (3 X 3 X 12 for harvest 1 and a fixed factorial 3 X 3 X 7 for harvest 2). The evaluated factors were depth (23, 46, 75 cm) dose of K (kg ha⁻¹) and days of sample. This was done separately for harvest 1 and 2. The assignment of the treatments was random to the experimental units, which were homogenous.

Donde: T= tratamiento; P= profundidad; D= días de muestreo; y ϵ_{ijk} = error experimental de cada Observación.

Las variables respuesta: CE, K y pH

Para el análisis estadístico se utilizó el Statical Análisis System versión 9.0 (SAS Institute, 2002), realizando análisis de varianza (ANOVA) para datos completos y generados de las muestras de suelo y tejido vegetal, para los datos incompletos fueron analizados con el procedimiento GLM (General Lineal Model). Las pruebas de comparaciones múltiples realizadas a los datos obtenidos fue la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$)

Resultados y discusión

Los resultados del análisis del agua (Cuadro 3) utilizada para el riego del cultivo de alfalfa durante el experimento no mostró ningún grado de restricción para uso agrícola según las clasificaciones para salinidad e índice de permeabilidad contra relación de adsorción de sodio ($RAS = 0.58 \text{ meq L}^{-1}$) de Ayers y Westcot (1987).

Cuadro 3. Concentraciones de iones presentes en el agua de riego utilizada.
Table 3. Conclussions of ions present in the water used for irrigation.

Aniones						Σ	Cationes				Σ		
CE	pH	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	ANIONES	Ca	Mg	Na	K	CATIONES	RSE	RSC
<i>μmhos cm⁻¹</i>	-----meq L ⁻¹ -----												
366	7.4	0	1.76	0.38	1.04	3.178	0.4	2.0	0.64	0.04	3.08	310	280

El análisis realizado a la muestra de vinaza se realizó en el laboratorio nacional de fertilidad de suelos y nutrición vegetal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío (Cuadro 4).

La NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; que para este caso el tipo de receptor es el suelo siendo los valores para el promedio mensual para cobre de 4 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹ para zinc, referidos específicamente para metales pesados. La concentración de vinaza rebasa los límites máximos permisibles, siendo para Cu de 12.23 mg L⁻¹ y 14.9 de Zn mg L⁻¹.

Statistical model for soil samples: $Y_{ikj} = \mu + T_i + P_j + P * T_{ij} + \epsilon_{ijk}$

Where: T= treatment; P= profundity; y ϵ_{ijk} = experimental error of each observation

Response Variables: pH, CE, MO, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, NH₄ y NO₃

Satistical model for plant tissue: $Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$

Where: T= treatment y ϵ_{ij} = experimental error of each observation

Response variables: N, P, K, Mg, Fe, B, Ca, Cu, Zn, Na, Mn, dry material (MS) y NO₃⁻.

Statistical model for leachate: $Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + P * T_{ij} + \epsilon_{ijk} + D_l + T * D_{il} + T * P * D_{ijl} + \epsilon_{ijkl}$

Donde: T= treatment; P= profundity; D= days of sample; y ϵ_{ijk} = experimental error for each observation.

Response variables: CE, K y pH

For the statistical analysis, Statistical Analysis System version 9.0 was used (SAS Institute, 2002), doing a variance analysis (ANOVA) for the complete data and generating the soil samples and plant tissue; the incomplete data was analyzed using the GLM process (General Lineal Model). The multiple comparison models that performed the obtained data was done so through the Turkey Test ($p = 0.05$).

Results and discussion

The results of the water analysis (Table 3) used for the cultivation of alfalfa in the experiment did not show any degree of restriction for the agricultural use according to the

El valor de conductividad eléctrica indican alto riesgo de salinidad (Richards, 1990); esta característica de la vinaza se debe según Bautista *et al.* (2000a); a todos los iones presentes, ya que los iones H^+ y OH^- son los que presentan mayor conductancia eléctrica y movilidad iónica; es decir, que los valores de CE no se deben a los iones y cationes, también influye el contenido de materia orgánica disuelta. Las concentraciones de K (%) vinaza en comparación con los fertilizantes potásicos; presenta una concentración baja (K_2O 0.77%), en comparación con KCl que presenta 60% de K_2O , o K_2SO_4 con 22% de K_2O ; considerándose como una enmienda orgánica (Seoáñez *et al.*, 2003), conjunta con otros abonos minerales mejora sensiblemente la productividad del suelo y cultivos como el de la caña de azúcar. Para N (0.55%) y P (0.09%) las concentraciones son poco considerables.

Aplicando la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, clasificación e interpretación de resultados, considera el contenido de MO es alto, pH neutro, la disponibilidad de P como media en el caso de micronutrientes la disponibilidad de Fe, Zn y Mn como adecuada, la concentración P lo clasifica en media y para Cu como deficiente, la CE se considera con efectos despreciables de salinidad; lo anterior para la profundidad de los 0 a 23 cm. En las otras dos capas (24 a 45 cm y 46 a 75 cm) la clasificación para micronutrientes va marginal a deficiente, P bajo, MO va de medio a bajo, disminuyendo con la profundidad; el pH y la CE conservó el mismo rango de clasificación (Cuadro 5).

classification of salinity and the permeability index against the relation of sodium absorption ($RAS = 0.58 \text{ meq L}^{-1}$) de Ayers y Westcot (1987).

The analysis performed on the vinasse sample was carried out in the National Laboratory of Soil Fertility and Vegetable Nutrition at the National Institute of Forest, Agriculture, and Livestock Investigations (INIFAP), experimental field, Bajío (Table 4).

The NOM-001-SEMARNAT-1996, which establishes the maximum permissible limit of contaminants in the residual water and national goods discharges; in this case, the type of receptor is the soil being the values for the monthly average for copper de 4 mg L^{-1} y 10 mg L^{-1} , for zinc, referred specifically for heavy metals. The concentration of vinasse passes the maximum allowable limits for Cu at 12.23 mg L^{-1} and 14.9 of Zn mg L^{-1} .

The value of electrical conductivity indicates a high risk of salinity (Richards, 1990). This characteristic of vinasse is from Bautista *et al.* (2000a); for all of the ions present, since the ions H^+ y OH^- are those that present higher electrical conductivity and ionic mobility; or rather, the EC values are not due to the ions or cat ions. Also, this is influenced by the content of the dissolved organic material. The concentrations of K (%), vinasse when compared to the potassium fertilizers, present a low concentration (K_2O 0.77%), in comparison to KCl which presents 60% of de K_2O , o K_2SO_4 with 22% of K_2O ; considering how an organic amendment

Cuadro 4. Análisis de principales constituyentes químicos en la vinaza.

Table 4. Analysis of main chemical constituents in the stillage.

Determinación	Unidades	Resultado I	Método utilizado
pH		3.96	Potenciómetro directo
Conductividad eléctrica	dS m^{-1}	26.445	Conductímetro directo
Humedad	(%)	81.08	Gravimetría
Cenizas	(%)	4.99	Calcinación a 600°C
Materia Orgánica	(%)	13.93	Calculado
Nitrógeno Total	(%)	0.55	Micro Kjeldah
Amonio NH_4	ppm	8.74	Arrastre de vapor
Nitratos NO_3		124.32	Arrastre de vapor
Nitrógeno inorgánico	ppm	157.92	Arrastre de vapor
Fósforo (P_2O_5)	ppm	896 (0.09%)	Espectrofotometría
Potasio (K_2O)	(%)	0.77	Absorción atómica
Relación C/N		13.91	Calculado
Calcio	ppm	5 200	Emisión atómica (ICP)
Magnesio	ppm	1 000	Emisión atómica (ICP)
Azufre (S-SO_4)	ppm	17 900	Emisión atómica (ICP)
Sodio	ppm	400	Emisión atómica (ICP)
Zn	ppm	14.9	Emisión atómica (ICP)
Fe	ppm	11.31	Espectrofotometría
Cu	ppm	12.239	Espectrofotometría
Mn	ppm	20.491	Espectrofotometría

Cuadro 5. Composición química del suelo previo al experimento.**Table 5. Chemical composition of soil prior to the experiment.**

Profundidad cm	CE dS m ⁻¹	pH	NO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	P ppm	K ppm	Na ppm	Ca ug/ ml	Mg ug/ml	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	MO (%)
0-23	0.313	7.02	3.57	3.56	9.93	0	0	3147	366.32	18.19	0.0431	1.618	7.848	4.99
24-45	0.146	7.18	3.61	3.56	0.06	0	0	1098	208.32	2.825	0.044	0.122	4.265	2.36
46-75	0.091	7.21	3.6	3.65	0.04	0	0	811	227.25	1.319	0.015	0.095	1.892	1.05

CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica.

Conductividad eléctrica en lixiviados. Las concentraciones de sales solubles en la interacción dosis (500 kg de K ha⁻¹) por profundidad (23 cm) tuvo diferencias estadísticas ($p < 0.05$) para ambas cosechas, lo cual se debe a mayor concentración de iones (K⁺, Mg⁺², Na⁺ y Ca⁺²) y MO presente en la vinaza disminuyó el valor con la profundidad. Bautista *et al.* (2000b), encontraron que la aplicación de vinaza aumentó cinco veces el valor de la conductancia, para un suelo Acrisol, mientras que en el Fluvisol hubo incremento nueve veces mayor al valor inicial. Arafat y Tassen (2002), mencionan que los valores de sales solubles (CE) en suelo con aplicación de vinaza disminuyeron después de la cosecha; tal modificación puede atribuirse a la cantidad de agua aplicada durante el periodo de crecimiento de los cultivos, provocando lixiviado de sales fuera de la zona de raíz a profundidades mayores, lo cual corresponde con los resultados obtenidos (Cuadro 6).

(Seoáñez *et al.*, 2003), along with other mineral fertilizers significantly improves the productivity of soil and crops like that of sugar cane. For N (0.55%) and P (0.09%)

Applying the NOM-021-RECNAT-2000 that establishes the specifications for fertility, salinity, classification and interpretation of results, considering that the content of MO is high, pH neutral, the availability of P as average; in the case of micronutrients, the availability of Fe, Zn, and Mn are adequate, the P concentration is classified as average and for Cu as deficient. The CE is considered as negligible effects of salinity; the former was at a depth from 0 to 23 cm. In the other two layers (24 to 45 and 46 to 75cm), the classification for micronutrients goes from marginal to deficient; P is low, MO goes from medium to low-decreasing with depth. The pH and the CE conserve the same range of classification (Table 5).

Cuadro 6. Efecto de dosis de vinaza en conductividad eléctrica y profundidad.**Table 6. Effects of the dose of vinasse in electrical conductivity and depth.**

Profundidad cm	Cosecha 1 dosis de K kg ha ⁻¹				Cosecha 2 dosis de K kg ha ⁻¹			
	0	250	500	Promedio	0	250	500	Promedio
	--- CE(dS m ⁻¹)---				--- CE(dS m ⁻¹)---			
23	0.478 bc	0.904 b	1.509 a	1.139 a	0.523 c	0.932 b	1.443 a	1.026 a
46	0.313 b	0.455 bc	0.581 bc	0.447 b	0.305 c	0.728 c	0.847 b	0.627 b
75	0.317 b	0.335 c	0.378 c	0.344 b	0.322 c	0.505 c	0.751 b	0.532 b
Promedio	0.337 c	0.538 b	0.841 a		0.366 c	0.727 b	1.014 a	
Cosecha 1 DSH= 0.491 dS m ⁻¹					Cosecha 2 DSH= 0.709 dS m ⁻¹			

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. $p < 0.05$.

pH en lixiviados. La interacción dosis por profundidad no fue significativa.

pH in leachants. The interaction does by depth was not significant.

Concentración de potasio en lixiviados. La dosis 500 kg ha⁻¹, 23 cm profundidad fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$) únicamente para la cosecha 2, al resto de la interacción, la diferencia se debe a la dosis, la mayor concentración de

Concentration of potassium in leachants. The does 500 kg ha⁻¹, 23 cm of depth was statistically different ($p < 0.05$) only for harvest 2; for the rest of the interaction, the difference is due to the dose, the higher concentrati of K at

K a los 23 cm de profundidad (Cuadro 7). El incremento de valores del K, se debe al K que contienen las vinazas, lo cual concuerda con Arafat y Yenssen (2002) y Ng Kwong y Deville (1984) y Gómez (1995) indican que al incorporar dosis crecientes de vinaza, el contenido de K intercambiable aumenta; en la profundidad de 0-20 cm, con respecto a otras profundidades.

Efecto de vinaza en tejido vegetal (Cuadro 8)

El efecto de la vinaza en la dosis 500 kg ha⁻¹ de K tubo un aumento de 52.86% de P (1 939.2 mg kg⁻¹) y 49.49% de Zn (28.63 mg kg⁻¹), con respecto al testigo, lo cual puede atribuirse a la aplicación de vinaza; sin embargo, los valores obtenidos bajo esta dosis no cumplen con los valores obtenidos de alfalfa bajo condiciones óptimas, P= 3 300 mg kg⁻¹ y Zn= 37.40 mg kg⁻¹ (NRC, 1996) (Cuadro 9).

Cuadro 8. Efecto de vinaza en alfalfa comparación de medias en variables de respuesta.

Table 8. The effect of vinasse in alfalfa comparison of averages and response variables.

Medias	M.S	N	B	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Zn	NO ₃
		%							mg kg ⁻¹				
Alfalfa													
Corte 1	13.65 a	3.23 a	93.90 a	3836.4 a	3.78 a	324.0 a	5148 a	1541.3 a	17.92 a	959.5 a	1488.9 a	20.47 a	3976.5 a
Corte 2	19.51 a	3.19 a	98.25 a	4911.7 a	2.49 a	330.22 a	5982 a	1399.5 a	29.32 a	819.6 a	1396.3 a	18.92 a	2857.8 a
Pr>F	0.0644	0.912	0.8071	0.13	0.236	0.937	0.754	0.471	0.311	0.525	0.246	0.128	0.352
Dosis de K													
0 kg ha ⁻¹	15.47 a	3.41 a	73.65 a	3523.0 a	1.613 a	171.4 a	5708 a	1008.4 a	14.97 a	539.5 a	1025.2 b	14.17 b	5274 a
250 kg ha ⁻¹	16.62 a	3.46 a	100.84 a	3821.7 a	4.423 a	212.0 a	4051 a	1255.5 a	16.47 a	542.1 a	1363.4 ab	16.29 b	3116 a
500 kg ha ⁻¹	17.65 a	2.75 a	113.74 a	5777.5 a	3.38 a	597.9 a	6936 a	2147.3 a	39.43 a	1587.0 a	1939.2 a	28.63 a	1862 a
Pr>F	0.6081	0.27	0.304	0.085	0.1812	0.0634	0.6593	0.0515	0.2229	0.0647	0.0113	0.0046	0.179
DHS											786.68	11.49	

Donde: MS= materia seca. a, b; medias con la misma letra por hilera, no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Cuadro 9. Efecto de vinaza en suelo comparación de medias en variables de respuesta.

Table 9. Effect of Vinasse on means in response variables.

Medias	CE	pH	NH ₄	NO ₃	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	MO
	dS m ⁻¹		ml l ⁻¹		mg kg ⁻¹			ug l ⁻¹			mg kg ⁻¹			%
P (cm)														
1 (0-10)	0.87 a	7.55 a	3.58 a	3.60 a	7.85 a	17.9 a	15.7 a	3231 a	468.8 a	40.34 a	0.96 a	2.52 a	19.04 a	7.3 a
2 (11-30)	0.57 b	7.57 a	3.56 a	3.57 a	6.88 a	5.41 a	16.9 a	3200 a	376.8 b	25.5 b	0.76 a	2.09 a	10.6 b	6.69 a
3 (31-55)	0.49 b	7.29 ab	3.57 a	3.56 a	0.10 b	0.58 a	2.3 b	1362 b	270.1 c	6.77 c	0.12 b	0.34 b	5.27 bc	1.53 b
4 (56-65)	0.43 b	7.02 b	3.58 a	3.56 a	0.04 b	0.33 a	0.77 b	985 c	249.4 c	3.63 c	0.05 b	0.44 b	4.51 c	0.66 b
DHS	0.213	0.135			0.768		6.994	302.812	49.291	13.461	0.467	0.580	7.176	0.535
D (kg ha ⁻¹)														
0	0.40 b	7.36 a	3.572 b	3.56 a	3.64 a	0.735 b	10.64 a	2158 a	350 a	21.65 a	0.55 a	1.62 a	9.87 a	4.17 a
250	0.58 ab	7.38 a	3.571 ab	3.57 a	3.50 a	4.55 b	11.49 a	2220 a	348 a	16.86 a	0.41 a	1.25 a	9.46 a	3.32 a
500	0.78 a	7.33 a	3.586 a	3.58 a	4.01 a	12.95 a	2.60 a	2206 a	325 a	18.72 a	0.45 a	1.18 a	10.23 a	4.64 a
DHS	0.395		0.016			7.81								

a, b. Medias con la misma letra por hilera, no son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Donde: P= profundidad, D= dosis; DHS= diferencia honesta significativa; CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica y PS= porcentaje de saturación en suelo.

23 cm (Table 7). The increment of K values, are due to the fact that K contains Vinasse, which agrees with Arafat and Yenssen (2002) and Ng Kee Kwong *et al.* (1997). Gomez (1995) indicates that upon incorporating the growing dose of vinasse, the K content interchangeably increases in the depth of 0-20 cm, with respect to other depths.

Cuadro 7. Efecto de dosis de vinaza en profundidad del suelo.

Table 7. Effect of the vinasse dose in the depth of the soil.

Cosecha 2	Dosis de K (kg ha ⁻¹)			
Profundidad	0	250	500	Promedio
23	3.78 b	5.44 b	17.02 a	3.66 b
46	2.84 b	2.23 b	4.63 b	3.69 b
75	3.27 b	4.07 b	3.98 b	4.90 b
Promedio	3.29 b	3.91 b	8.54 a	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. $p < 0.05$. DSH= 7.09 mg L⁻¹.

Efecto de vinaza en suelo

Las profundidades 1 y 2 son estadísticamente diferentes a la 4, lo cual implica un incremento de pH en los primeros 30 cm, aplicando la normatividad, el pH del suelo es medianamente alcalino (profundidad 1, 2 y 3), en la profundidad 4 el resultado de pH es neutro. Los resultados corresponden a los reportados por Orlando *et al.* (1983) y Brito y Rolim (2005) concluyen que en todas las dosis de vinaza aplicada y el pH del suelo se eleva; lo cual se deba al potencial de reducción que tiene la vinaza, sobre todo el contenido de la materia orgánica que es degradada fácilmente (Bruto *et al.* 2009). El pH de la profundidad 1, se clasifica: medianamente alcalino (7.4 -8.5 medianamente alcalino, NOM-021. RECNAT-2000).

En la prueba de medias para las variables de respuesta significativas ($p > 0.05$), P y para las bases intercambiables (Na, Mg y Ca) en profundidad para el caso de P y Na, las profundidades 1 y 2 fueron estadísticamente diferentes de 3 y 4; los valores de las profundidades 1, 2 y 3 fueron estadísticamente diferentes entre sí, la 3 y 4 fueron iguales en relación al contenido de Mg; En el caso de Ca las profundidades 1 y 2 fueron estadísticamente diferentes de las profundidades 3 y 4. Las concentraciones de P, Na, Mg y Ca; fueron mayores en la profundidad 1, decreciendo en los siguientes estratos; como lo indican Bautista *et al.* (2000a), encontrando un aumento en el contenido de Mg y Ca intercambiable, al aplicar vinaza al suelo; lo cual es posible ya que el Ca y Mg y otros iones se encuentren fuertemente retenidos entre las arcillas del suelo y por el efecto de la materia orgánica contenida en vinaza.

Los resultados de Gómez (1995), evidencian que la aplicación de vinaza, puede substituir 72% del fósforo (P_2O_5), proveniente de la fertilización mineral. Bautista *et al.* (2000b), menciona que el aumento de P posiblemente se deba al efecto combinado del aumento de pH y de las condiciones reductoras (disminución de la formación de compuestos entre el Fe (III) y el ión PO_4^{3-} por el cambio de estado de oxidación de Fe III a Fe II) y la formación de quelatos de Fe.

Bautista *et al.* (2000b), encontraron un aumento en la concentración Mn, Zn y Fe, en Cu no se detectó algún cambio, menciona que el aumento de Fe y Mn extraíbles son una evidencia de la presencia de condiciones reductoras ya que el Mg, participa en el proceso de descomposición de la materia orgánica, aceptando electrones. Bautista y Durán (1998), menciona el riesgo por contaminación de metales pesados presentes (para este caso Zn, Cu y Mn) en la vinaza; dichos elementos posiblemente se incorporen a la

The effect of vinasse on vegetable tissue (Table 8)

The effect of vinasse in the dose of 500 kg^{-1} de K increase in the tube of 52.86% of P ($1939.2 \text{ mg kg}^{-1}$) y 49.49% of Zn (28.63 mg kg^{-1}), with respect to the control, which can be attributed to the application of vinasse. However, the values obtained with this does do not complete the requirements of the obtained alfalfa values under optimum conditions, $p = 3 \text{ } 300 \text{ mg kg}^{-1}$ y $Zn = 37.40 \text{ mg kg}^{-1}$ (NRC, 1996) (Table 9).

Effect of vinasse on soil

The depths 1 and 2 are statistically different to that of 3, which implies an increase of pH in the first 30 cm. Applying the norms, the pH of the soil is moderately alkaline (depths 1, 2, and 3); at depth 4 the result of pH is neutral. The results correspond to those reported by Orlando *et al.* (1983) and Brito *et al.* (2005) who conclude that all of the doses of applied vinasse and the pH of soil increases. This is due to vinasse's reduction potential on all the content of the organic material that is easily degradable (Bruto *et al.* 2009). The pH at Depth 1 is classified as: moderately alkaline (7.4 -8.5 medianamente alcalino, NOM-021. RECNAT-2000).

The test of the means for the significant response variables ($p > 0.05$) P and for the interchangeable bases (Na, Mg, and Ca) in the depth of the case of P and Na, the depths 1 and 2 were statistically different from 3 and 4. The values of depths 1, 2, and 3 were statistically different amongst themselves; depths 3 and 4 were equal in relation to the Magnesium content. In the case of Ca, depths 1 and 2 were statistically different from than depths 3 and 4. The concentrations of P, Na, Mg and CA were greater than in depth 1, decreasing in the following stratus; like Bautista *et al.* (2000a) indicates, finding an increase in the content of Mg and Ca interchangeably, upon applying vinasse to the soil, which is possible since the Ca and Mg and other ions are frequently found retained in the clay soil and because of the effect of the organic material contained in vinasse.

The results of Gómez (1996), give evidence to the application of vinasse, which can substitute 72% of phosphorous (P_2O_5), coming from the mineral fertilization. Bautista *et al.* (2000b) mentions that the increase of P is possibly due to the combined effect of the increase in pH and the reduction conditions (decrease in the formation of components between Fe (III) and the on PO_4^{3-} due to the change in the state of oxidation of Fe III and Fe II) and the formation of chelates.

vinaza durante la preparación de la melaza para la posterior fermentación y obtención del alcohol etílico. Aplicando la NOM-021. RECNAT-2000 como criterio de clasificación de micronutrientes, para el caso de la profundidad 1, el contenido de Fe (40.34 mg kg^{-1}), se clasifica: Adecuado Cu (0.96 mg kg^{-1}), Zn (2.52 mg kg^{-1}), y Mn (19.04 mg kg^{-1}).

La prueba de medias para CE, K y NH_4 para dosis $500 \text{ kg de K ha}^{-1}$ fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$) al control ($0 \text{ kg de K ha}^{-1}$), Paturau (1989) menciona que la CE aumentó significativamente comparado con el control, atribuyendo el aumento en gran medida a la saturación de potasio provocado por la aplicación de vinaza. Velloso *et al.* (1982) realizaron un estudio en columnas de suelo con características arenosas, donde fueron adicionadas dosis crecientes de vinaza ($0, 50, 100, 150, 200$ y $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), encontraron que el contenido de nitrato disminuyó y el del amonio fue creciendo conforme aumentaba la dosis. Arafat y Yassen (2002), registró altos valores de K intercambiable en suelos, lo más probable es este incremento se deba a la dosis (20 ml L^{-1}) de vinaza aplicada al suelo.

Aplicando la NOM-021. RECNAT-2000 como criterio de clasificación de bases intercambiables para el caso de K ($0.045 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$), se clasifica: muy baja (menor de $0.2 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$).

Conclusiones

Los resultados indican la factibilidad del uso de la vinaza, como insumo de nutrición vegetal ya que al aplicar mayores dosis ($500 \text{ kg de K ha}^{-1}$), la concentración de K se eleva.

Con las aplicaciones de vinaza el contenido de K, aumentó ($p < 0.05$), considerablemente ya que en el análisis de suelo previo al experimento no se detectó, posteriormente la mayor concentración se dio a los 10 cm de profundidad del perfil del suelo en ambas dosis de vinaza (250 y $500 \text{ kg de K ha}^{-1}$), para el caso de lixiviados, fue a los 23 cm de profundidad para ambas dosis.

La CE de lixiviados y suelo, incrementaron ($p < 0.05$) en el tratamiento $500 \text{ kg de K ha}^{-1}$, a la profundidades 23 y 10 cm respectivamente, atribuyendo tal efecto por la adición de vinaza, para los dos cortes de alfalfa (cosecha 1 y 2). En el caso de pH aparentemente existieron cambios pero al realizar interacciones de dosis*profundidad*días de muestreo, se descartó tal efecto ($p < 0.05$).

Bautista *et al.* (2000b) found an increase in the concentration Mn, Zn, and Fe; in Cu he did not detect any change rather he mentions that the increase of Fe and Mn extractable is evidences the presence of the reduction conditions being that Mg participates in the process of decomposition of the organic material and accepting electrons. Bautista (1998) mentions the risk of heavy metal contamination (in this case Zn, Cu, and Mn) in the vinasse; these elements can possibly incorporate themselves into the vinasse during the preparation of the molasses for the subsequent fermentation and the obtaining of ethyl alcohol. Applying the NOM-021. RECNAT-2000 as classification criteria for micronutrients, para for the case of depth 1, the content of Fe (40.34 mg kg^{-1}), is classified as: Adequate Cu (0.96 mg kg^{-1}), Zn (2.52 mg kg^{-1}), and Mn (19.04 mg kg^{-1}).

The control trials for CE, K, NH_4 , for the dose of 500 kg ha^{-1} was statistically different ($p < 0.05$) at control ($0 \text{ kg of K ha}^{-1}$). Camargo (1989) mentions that the CE significantly increases when compared with the control, attributing the increase to a great measurement of potassium saturation, provoked by the application of vinasse. Velloso *et al.* (1982) did a study in the columns of soil that have sandy characteristics, where growth dosages of vinasse were added ($0, 50, 100, 150, 200$ y $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). It was found that nitrate content decreased and the ammonium was growing according to the dose increase. Arafat and Yassen (2002) registered high values of K interchangeably in soils; the most probable explanation is that this increase was due to the dose (20 ml L^{-1}) of vinasse applied to the soil.

Applying the NOM-021. RECNAT-2000 as classification criteria of interchangeable bases for the case of K ($0.045 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$), it is classified as very low. (lower than $0.2 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$).

Conclusions

The rests indicate the feasibility of the use of vinasse, as an input of plant nutrition, since with the application of greater doses ($500 \text{ kg de K ha}^{-1}$), the K concentration increases.

The CE of leachate and soil, increased ($p < 0.05$) in the treatment $500 \text{ kg of K ha}^{-1}$ at the depths of 23 and 10 cm respectively, attributing this effect to the addition of vinasse, for the two cuttings of alfalfa (harvest 1 and 2). In the case of pH, apparently there were many changes upon performing the interaction of doses of the dose *depth* days of sample; this effect was ruled out ($p < 0.05$).

La vinaza tuvo un efecto sobre la fertilidad del suelo ya que estadísticamente se comprobó ($p < 0.05$), tal efecto con los tratamientos sobre: materia orgánica, NH_4 , K, P, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn; siendo el de 500 kg de K ha^{-1} , donde se registraron mayores concentraciones.

El análisis de tejido vegetal de alfalfa para P= 1939.2 y Zn= 28.63 mg kg^{-1} las concentraciones que corresponden a dosis de 500 kg de K ha^{-1} incrementaron ($p < 0.05$) en relación al control el P= 1025.2 y Zn= 14.17 mg kg^{-1} respectivamente.

The vinasse had an effect on the fertility of the soil, and being that it is statistically proven ($p < 0.05$), such effect on treatment on: organic material, NH_4 , K, P, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn; being that 500 kg de K ha^{-1} , where higher concentrations were observed.

The analysis of plant tissue of alfalfa for P= 1939.2 y Zn= 28.63 mg kg^{-1} the concentrations that correspond to the dose of 500 kg de K ha^{-1} increased ($p < 0.05$) in relation to the control $p= 1.025.2$ and Zn= 14.17 mg kg^{-1} respectivamente.

End of the English version

Literatura citada

- Arafat, S. M. and Yassen, A. E. 2002. Agronomic evaluation of fertilizing efficiency of vinasse. *In*: 14th World Congress of Soil Science. Soil and Fertilizer Society of Thailand Vol. II: Bangkok 14-21 August. Thailand. 474 pp.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1987. La calidad del agua y su uso en la agricultura. Traducción al español por Alfaro, J. F. Water quality and use in agriculture. (Ed.). FAO Riego y Drenaje Manual 29. Roma. 174 pp.
- Basanta, R. M.; García, D. J.; Cervantes, M. H.; Mata, V. G. y Bustos, V. 2007. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 5:293-305.
- Bautista, Z. F. y Durán de B, M. C. 1998. Análisis de beneficios y riesgo potenciales de la aplicación de vinazas crudas y tratados biológicamente. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 14:13-19.
- Bautista, Z. F.; Reina, T. T. J.; Villers, R. L. y Durán de B, C. 2000a. Mejoramiento de suelos agrícolas usando aguas residuales agroindustriales. Caso: Vinazas crudas y tratadas. *Química Ambiental de suelos*. Vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 131 pp.
- Bautista, Z. F.; Durán de B, M. C. y Lozano, R. 2000b. Cambios químicos en el suelo por la aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 16:89-101.
- Bebe, F. V.; Rolim, M. M.; Pedrosa, E. M. R.; Silva, G. B. e Oliverira, V. S. 2009. Dinâmica do potássio em cana de açúcar fertirrigada com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 13:781-787.
- Bermúdez, S. R.; Hoyos, H. J. A. y Rodríguez, P. S. 2000. Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio. *Revista de Contaminación Ambiental*. 16(3):103-107.
- Bianchi, S. R. 2008. Avaliação química de solos tratados com vinhaça e cultivados com alfafa. Tese Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. Centro de ciências exatas e de tecnologia. Depto de Química. Programa de Pós-graduação em química. Brasil. 108 pp.
- Brito, F. L. e Rolim, M. M. 2005. Comportamento do efluente e do solo fertirrigado com vinhaça. *Agropecuária Técnica*. 26:60-67.
- Brito, F. L.; Rolim, M. M. e Pedrosa, E. M. R. 2009. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 4:456-462.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). 2002. La industria alcoholera en México ante la apertura comercial. Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión. México, D. F. 18 pp.
- Gómez, P. J. F. 2009. Nutrición líquida de la caña de azúcar con vinurea. *Revista Tecnicaña*. 21:31-32.
- Gómez, T. J. M. 1995. Efecto de la vinaza sobre el contenido de potasio intercambiable en un suelo representativo del área cañera del Valle del Río Turbio. *Revista Venesuelos*. 3:69-72.
- Jones, J. B. and Case, V. W. 1990. Sampling, handling, and analyzing tissue samples. *In*: Westerman, R. L. (Ed.). Soil testing and plant analysis. 3rd Edition. Soil Science Society of America Book Series. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA. 389-427 pp.

- Kwong, K. F. and Deville, J. 1984. Nitrogen leaching from soils cropped with sugarcane under the humid tropical climate of Mauritius, Indian Ocean. *J. Environ. Quality*. 13:471-474.
- N R C. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th Ed. National Academy Press. Washington. 242 pp.
- Norma Oficial Mexicana (NOM). NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 79 pp.
- Norma Oficial Mexicana (NOM). NOM-021-SEMARNAT-2000. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la destilería. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 75 pp.
- Orlando, F. J.; Zambello, J. E.; Aguajaro, R. E. e Rosseto, A. L. J. 1983. Efeitos da aplicação prolongada de vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana de açúcar. Estudo exploratório. *Rev. Stab. Açúcar*. 1:28-33.
- Pandiyan, T.; De Bazúa, C. D.; Ilangovan, K. and Noyola, A. 1999. ¹³C NMR Studies on vinasses effluent treated with iron; *Water Resources*. 33(1):189-195.
- Paturau, J. M. 1989. By-products of the cane sugar industry: An introduction to their industrial utilization. Sugar series Vol. 11. 3rd edition (Ed.) Elsevier. Amsterdam. 435 pp.
- Perret, S. J. J.; Reyes, E.; Bazán, R. V.; Singh, K. V.; Morgan, T. K. and Gilbert, A. R. 2010. Lysimeter experiments to investigate the fate and transport of vinasse application. *In: tropical soils 21st century watershed technology* (Eds.). Improving water quality and environment conference proceedings. 21-24 February 2010. Universidad Earth Costa Rica American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- PROY-NMX-AA-003/1-SCFI-2008. establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales. Secretaría de Economía. 9 de octubre de 2009. México. 55 pp.
- Quintero, D. R. 2003. Resultados preliminares y proyecciones acerca del uso de la vinaza en Colombia. In VI Congreso colombiano de asociación de técnicos de la caña de azúcar. Memoria Vol. 1. (Ed.) Tecnicaña. Cali, Colombia. 113-121 pp.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Trad. Al español por N. Sánchez D. 6^a (Ed.) Ed. Limusa. México. 171 pp.
- Seoáñez, C. M.; Bellas, V. E. y Seoáñez, O. P. 2003. Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias. A. Madrid V. y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 467 pp.
- Statistical Analysis System for Windows (SAS). 2002. Version 9.00. SAS Institute Inc. Campus Drive. Cary, NC. USA.
- Velloso, A. C. X.; Nunes, M. R. e Leal, E. R. 1982. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo. I. Nitrato e amônio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 17:51-55.