

Efecto de la aplicación de vinaza en propiedades químicas y físicas del suelo

Carolina Sotomayor*, Miguel Morandini*, Gerardo A. Sanzano* y Hugo C. Rojas Quinteros*

RESUMEN

Los residuos originados en la industria azucarera pueden convertirse en subproductos de elevado valor económico tales como la melaza. Esta es empleada en la producción de bioetanol, obteniéndose un residuo líquido llamado vinaza, el cual se produce en una relación media de 10 a 15 litros por cada litro de alcohol producido. Debido a la elevada Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) que la caracteriza, cuando es volcada a los cursos de agua consume el oxígeno disuelto y provoca elevada mortandad de la flora y la fauna acuática. También es de importancia el alto contenido de sales solubles, con predominio relativo de potasio (K⁺). En Tucumán, las alternativas de manejo de este efluente son su disposición en suelos cultivados con caña de azúcar y en suelos no productivos. Al ser necesario conocer su impacto en el suelo se llevó adelante una experiencia, en condiciones controladas, cuyo objetivo general fue evaluar el efecto de la aplicación de distintas dosis de vinaza en las propiedades físicas y químicas de un suelo de la provincia de Tucumán; y como objetivo específico, evaluar la lixiviación del ión K⁺ hacia capas más profundas del perfil del suelo.

Se trabajó con columnas de suelo inalteradas, de 60 cm de longitud, extraídas en la localidad de Los Zelaya, Departamento Leales, en un diseño completamente aleatorizado. Se evaluaron cinco dosis de vinaza equivalentes a 0, 10, 50, 100 y 150 m³ de vinaza por hectárea, con tres repeticiones, procurando simular el efecto de tres años de uso del efluente, intercaladas cada una de ellas con un riego con agua. Se recolectaron los lixiviados y analizaron pH, sales y potasio soluble y en las muestras de suelo, extraídas cada 10 cm de profundidad, se analizaron pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, potasio intercambiable, densidad aparente y conductividad hidráulica. Los resultados arrojaron incrementos significativos en el pH y en la salinidad para los primeros 30 cm del suelo, y el potasio intercambiable aumentó significativamente en todas las profundidades analizadas, con el incremento de las dosis de vinaza aplicadas. En materia orgánica, densidad aparente y conductividad hidráulica no se evidenciaron diferencias significativas. El pH y las sales en los lixiviados mostraron incrementos significativos después de las tres aplicaciones de vinaza. El potasio soluble se incrementó significativamente en el tratamiento de dosis más elevada. El incremento del ión potasio no provocó alteraciones en las propiedades físicas del suelo. El aumento en la concentración de sales solubles en el suelo podría considerarse de riesgo en el caso que este fuera destinado al cultivo de caña de azúcar, por lo que dicho parámetro debería seguirse en el tiempo y profundidad. Se debería considerar también la lixiviación de las sales hacia capas más profundas, incluso si podrían llegar a la napa freática.

Palabras clave: melaza, bioetanol, contaminante, potasio, lixiviados.

ABSTRACT

Effect of the application of vinasse on chemical and physical properties of the soil

Waste from sugar industry can be converted into by-products of high economic value, such as molasses. This is used in the production of bioethanol, obtaining a liquid residue called vinasse, which is produced in an average ratio of 10 to 15 liters per liter of ethanol produced. Because of its high biological demand for oxygen (BOD), when it is turned over to the watercourses, it consumes dissolved oxygen and causes a high mortality of aquatic flora and fauna. The high content of soluble salts is also important, with relative predominance of potassium (K⁺). In Tucumán, alternatives for managing this effluent include irrigation in fields where sugarcane is going to be planted as well as in non-productive soils. Since it was necessary to know its impact on the soil, an experiment was carried out under controlled conditions. The objective was to evaluate the

Artículo recibido: 21/05/18 y Aceptado: 4/06/18.

*Sección Suelos y Nutrición Vegetal. EEAOC. csotomayor@eeaoc.org.ar

effect of the application of different doses of vinasse on physical and chemical properties of a soil in Tucumán and to evaluate the leaching of K⁺ towards deeper layers of the soil profile.

Unaltered soil columns of 60 cm long were used in a completely randomized design. The soil was from Los Zelaya, Leales Department. Five vinasse doses equivalent to 0, 10, 50, 100 and 150 m³ of vinasse per hectare were evaluated with three replicates, trying to simulate the effect of three years of effluent use. Each vinasse application was followed by water irrigation. The leachates were collected and analyzed for pH, salts and soluble potassium. Electrical conductivity, pH, organic matter, exchangeable potassium, bulk density and hydraulic conductivity were analyzed in the soil samples, every 10 cm depth. The results showed significant increases in pH and salinity for the first 30 cm of soil. Exchangeable potassium increased significantly in all studied depths, with an increase of applied doses of vinasse. Organic matter, bulk density and hydraulic conductivity showed no significant differences. Salts and pH in the leachates showed significant increases after the third vinasse application. Soluble potassium increased significantly with higher doses of vinasse. K⁺ increase did not cause alterations in physical properties of the soil. The increase in the concentration of soluble salts in soils could be considered a risk in sugar cane fields, confirming the need to evaluate this parameter in time and soil depth. Salt leaching to deeper layers and to the water table should also be considered.

Key words: molasses, bioethanol, pollutant, potassium, leachates.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los residuos originados en la industria azucarera pueden convertirse en subproductos de elevado valor económico tales como la melaza. Esta es empleada en la producción de alcohol etílico (bioetanol), obteniéndose un residuo líquido llamado vinaza, que se produce en una relación media de 10 a 15 litros por cada litro de alcohol, dependiendo de los equipos disponibles en la destilería (Aristizábal Alzate, 2015). La vinaza contiene todo el material presente en el mosto original que no ha sido fermentado, además de los productos de desecho de la levadura usada y cantidades abundantes de sustancias inorgánicas solubles. Tradicionalmente era descargada en los cursos de agua donde, por su elevada demanda de oxígeno, compete con la flora y fauna presentes en el agua, llegando en ciertos casos a eliminarlas por completo. La elevada concentración salina y el predominio relativo de potasio y sodio a cationes divalentes indican que el empleo de vinaza para riego puede ocasionar cambios desfavorables en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Aso y Cárdenas, 1985). Algunos autores consideran que la vinaza tiene un gran valor como fertilizante debido a su alto contenido de materia orgánica y de micronutrientes, y a menudo se la emplea en el riego del cultivo de caña de azúcar. Sin embargo, cuando se usa en grandes cantidades pueden saturar el suelo y contaminar las fuentes de agua, ya que la aplicación indiscriminada estaría relacionada con la salinización del suelo y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Aristizábal Alzate, 2015). Otros autores discuten que la vinaza no debe ser tomada como un contaminante en sí misma; el error está en su inadecuada disposición y en no considerar su potencial como subproducto del proceso de producción de etanol, el que tiene utilidad económica y social (Zuñiga Cerón y Gandini, 2013). En la provincia de Tucumán las alternativas de manejo de la vinaza se relacionan con la disposición en suelos cultivados con caña de azúcar y en suelos no productivos, según lo establecen

los protocolos de aplicación desarrollados por la Sección Suelos y Nutrición Vegetal de la EEAOC y la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la provincia de Tucumán (Morandini *et al.*, 2015). La vinaza presenta elevadas cantidades de sales solubles, principalmente de potasio, catión monovalente que se caracteriza por su poder dispersante de las partículas del suelo. Por otro lado, (Sanzano *et al.* 2016) señalan que los suelos tucumanos son ricos en K, como consecuencia de que el material original es predominantemente del tipo de la illita, mineral de arcilla que provee este elemento. El mismo autor destaca que en un relevamiento de suelos del área cañera de la provincia de Tucumán, sobre 2000 sitios georeferenciados el 21% presentaba valores de K intercambiable por debajo del 0,4 cmolc.kg⁻¹; en el 79% restante la saturación potásica excedía al 10% de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), por lo que el agregado de K constituyente de la vinaza podría constituir un problema desde el punto de vista del balance catiónico de los suelos. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de la aplicación de distintas dosis de vinaza sobre propiedades físicas y químicas del suelo, tales como reacción química (pH), conductividad eléctrica (salinidad), materia orgánica, potasio intercambiable, densidad aparente y conductividad hidráulica en un suelo de la provincia de Tucumán, y la lixiviación de sales y del ión K⁺ hacia capas más profundas del perfil del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó bajo condiciones controladas en las instalaciones de la Sección Suelos y Nutrición Vegetal de la EEAOC. Se trabajó sobre columnas de suelo inalteradas extraídas de un monte natural de la localidad Los Zelaya, Departamento Leales, provincia de Tucumán, República Argentina. El suelo se clasificó como Haplustol fluvacuéntico. Las muestras fueron obtenidas introduciendo columnas de cloruro de polivinilo (pvc) de 60 cm de longitud y diámetro externo de

160 mm directamente en el suelo. Una vez extraídas, se trasladaron al sitio donde se llevó adelante el ensayo; allí fueron acondicionadas colocándose en su parte inferior una malla metálica para evitar pérdidas de partículas de suelo y permitir el flujo de los lixiviados (Flores *et al.*, 2012). Para la caracterización físico química inicial del suelo, que incluyó los parámetros clase textural, reacción química, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbonato de calcio, capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio), las muestras fueron extraídas con pala barreno a las profundidades de 0-20 cm; 20-40 cm y 40-60 cm. Las propiedades físicas evaluadas fueron densidad aparente (método del cilindro) y conductividad hidráulica (método permeámetro de carga constante - Clasificación USDA Soil Survey Manual) cada 10 cm de profundidad.

Se evaluaron cuatro dosis de vinaza cruda, que incluyen la dosis de 150 m³/ha*año, recomendada por Dantur *et al.* (1987) y un testigo sin aplicar.

- **Tratamiento T:** testigo (sin aplicación de vinaza)
- **Tratamiento V10:** se aplica un equivalente a 10 m³/ha de vinaza
- **Tratamiento V50:** se aplica un equivalente a 50 m³/ha de vinaza
- **Tratamiento V100:** se aplica un equivalente a 100 m³/ha de vinaza
- **Tratamiento V150:** se aplica un equivalente a 150 m³/ha de vinaza

Las aplicaciones de vinaza, que se realizaron sobre las columnas de suelo, fueron distribuidas en un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones en cada tratamiento. Se efectuaron tres aplicaciones de vinaza durante el transcurso de un año a modo de aspersión, distanciadas cada dos meses, procurando simular el efecto de tres años de uso del efluente en los suelos. Treinta días posteriores a cada aplicación se regó con agua una lámina de 240 mm, incluyendo al testigo. La lámina aplicada se calculó en función de la humedad

Una vez finalizada la etapa de riego (vinaza y agua), se dejó pasar un período de incubación de 45 días, posterior al cual se procedió a la extracción de muestras de suelo de las columnas, cada 10 cm de profundidad, analizándose pH (electrodo de vidrio), conductividad eléctrica del extracto de saturación (conductímetro), materia orgánica (Walkley & Black), potasio intercambiable (fotometría de llama), densidad aparente (método del cilindro) y conductividad hidráulica (permeámetro de carga constante). Para cada variable se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) por profundidad y tratamiento. Se realizó una comparación de medias por profundidad y tratamiento con el test de Fisher ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la caracterización físico química inicial del suelo del cual fueron extraídas las columnas, se destaca el elevado contenido de materia orgánica, probablemente debido a que el suelo no tuvo en su historial cultivo alguno, una baja concentración de sales solubles, una reacción química ligeramente alcalina en superficie y tenores de potasio intercambiable altos (Tabla 1).

La composición química de la vinaza, proveniente de melaza, empleada en los riegos se detalla en la Tabla 2.

Muestras de suelo

Efecto en el pH: en todas las profundidades analizadas hubo un incremento del pH con el aumento de las dosis de vinaza aplicadas con respecto al testigo, clasificándose desde neutro hacia moderadamente alcalino en los primeros 30 cm de profundidad; y de ligeramente alcalino a moderadamente alcalino a profundidades mayores, siendo estas diferencias estadísticamente significativas en los primeros 30 cm (Figura 1).

El efecto de la vinaza sobre el aumento del pH de suelo, a pesar de su acidez elevada, pudo deberse a la disolución de las diferentes formas de carbonatos, fosfatos

Tabla 1. Caracterización físico química inicial del suelo del cual se extraen las columnas.

Profundidad (cm)	Clase Textural	pH	CE (dS/m)	MO (%)	CaCO ₃ (%)	Na (Cmolc/kg)	K (Cmolc/kg)	Ca (Cmolc/kg)	Mg (Cmolc/kg)	CIC (Cmolc/kg)
0-20	FA	7,5	0,6	3,8	0,3	0,42	1,25	16,29	2,77	15,52
20-40	F	7,7	0,6	1,2	0,2	0,43	0,48	9,12	1,86	10,72
40-60	F	8,0	0,9	0,8	0,2	0,37	0,55	7,09	1,30	6,82

gravimétrica, la densidad aparente y la profundidad del perfil en estudio con el objeto de saturar la columna y recoger los lixiviados de cada una, para luego ser analizados en el Laboratorio de la Sección Suelos y Nutrición Vegetal de la EEAOC. Se determinó pH (electrodo de vidrio), conductividad eléctrica (conductímetro) y potasio soluble (fotometría de llama).

Tabla 2. Composición química promedio de la vinaza, en base a materia seca, empleada en los riegos de las columnas de suelo.

pH	Ce (dS/m)	COT (%)	MOT (%)	K total (%)	N total (%)
5,33	25,63	36,47	62,63	0,90	0,27

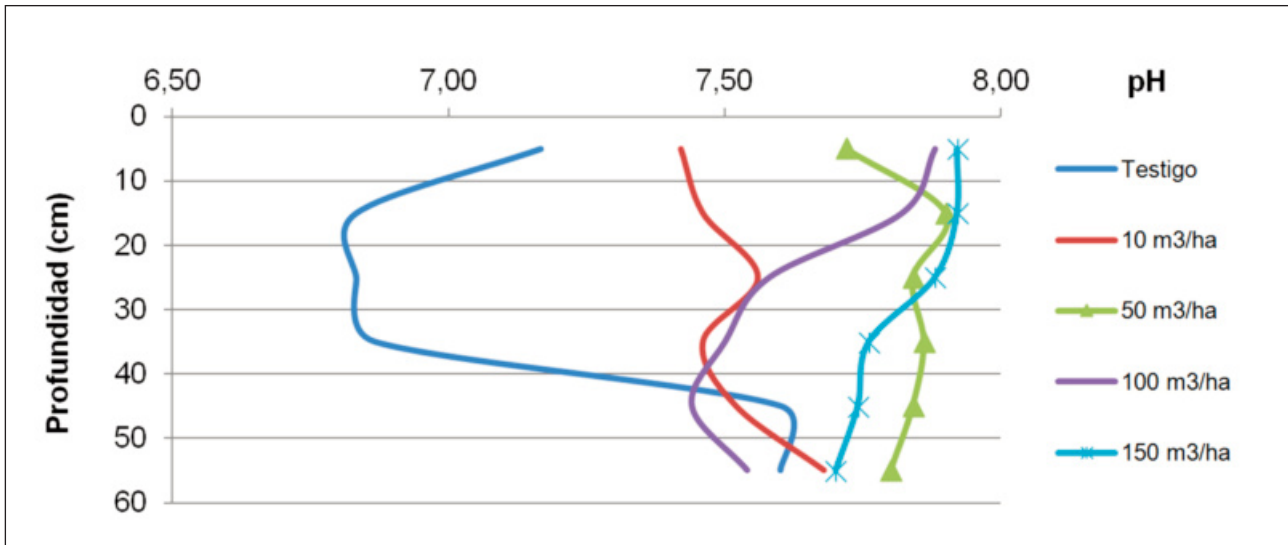


Figura 1. Variaciones del pH en función de la profundidad y dosis de vinaza en columnas de suelo.

*DMS: 0-10 cm= 0.76; 10-20 cm=0.92; 20-30 cm=0.69

de calcio y otros compuestos, con lo cual se incrementa el pH y se mejora la nutrición de las plantas debido a una mayor disponibilidad de nutrientes acompañada de un mejor balance entre ellos (García y Rojas, 2006).

Efecto en la conductividad eléctrica: los resultados obtenidos muestran que la concentración de sales solubles se incrementa en todo el perfil del suelo analizado a medida que las dosis de vinaza empleadas son mayores. Las diferencias establecidas entre los tratamientos que recibieron vinaza y el testigo fueron significativas en los primeros 30 cm de profundidad, presentando la mayor concentración en los 10 cm superficiales. El aumento en la concentración de sales en la capa más profunda puede haberse debido al lixiviado

de estas, provocado por la cantidad de agua de riego aplicada durante el ensayo (Figura 2).

Como se describió, la vinaza contiene elevada concentración de sales, por lo que es de esperar que la conductividad eléctrica en la solución del suelo aumente. En suelos Acrisoles y Fluvisoles de la zona cañera de Córdoba (Veracruz México), la aplicación de vinaza cruda en macetas aumentó más de cinco veces el valor de la conductividad eléctrica, valor que disminuyó con el paso del tiempo pero que queda por arriba del valor inicial una vez finalizada la experiencia (Bautista-Zuñiga *et al.*, 2000), por lo cual el autor consideró la aplicación de vinaza cruda como de alto riesgo de salinización.

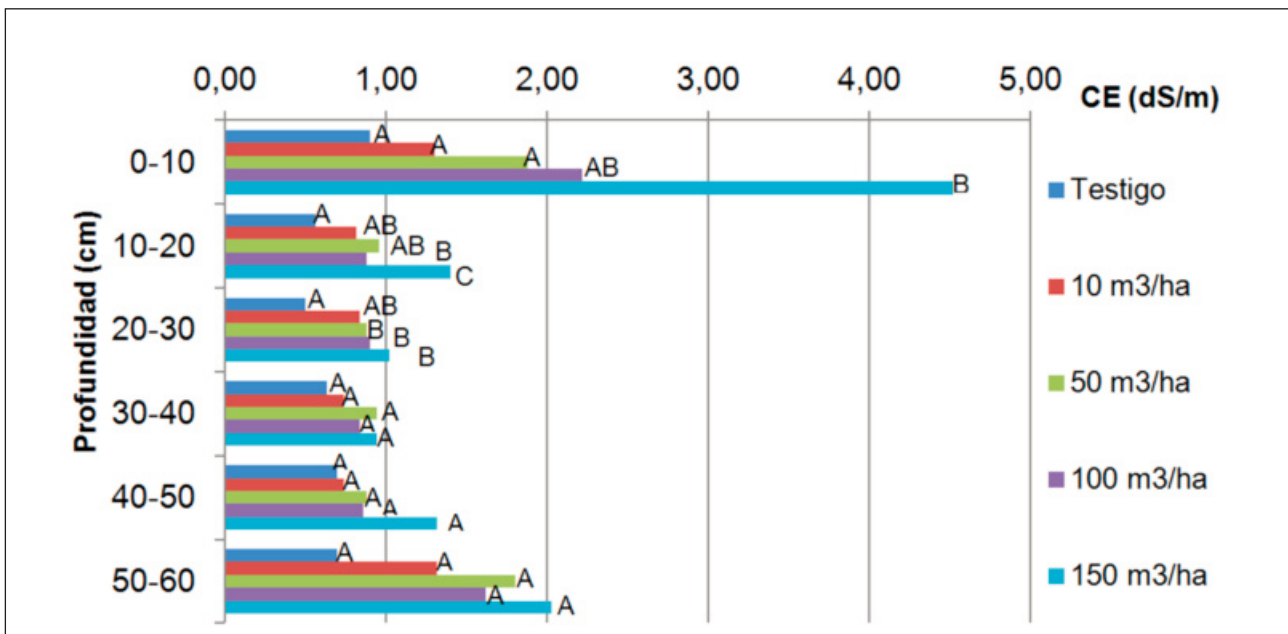


Figura 2. Variaciones en la Conductividad eléctrica en función de la profundidad y dosis de vinaza en columnas de suelo.

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En las situaciones evaluadas en este trabajo, los valores encontrados, a medida que se incrementaron las dosis de vinaza, fueron elevados, considerando que inadecuadas aplicaciones de vinaza pueden contribuir al incremento de solutos en la solución del suelo y, por consiguiente, al aumento de la conductividad eléctrica. En aquellos suelos cultivados con caña de azúcar, cultivo moderadamente sensible a la salinidad (valor crítico de 2,0 dS.m⁻¹), podrían provocar alteraciones en el normal crecimiento del mismo (Sanzano *et al.*, 2015). Es por esta razón que es de suma importancia darle seguimiento a esta propiedad edáfica.

Efecto en la materia orgánica: No se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos debido

probablemente a que el suelo en estudio (sin cultivo alguno en su historial) originalmente contiene elevados contenidos de materia orgánica (Figura 3), o bien se debió a que las aplicaciones aisladas y los tiempos esperados no fueron los suficientes como para mostrar un incremento significativo.

Efecto en el potasio intercambiable: se registraron incrementos estadísticamente significativos, en todas las profundidades evaluadas, al incorporar dosis crecientes de vinaza, siendo notorio en el tratamiento que mayor cantidad recibió (V150). Los resultados de esta experiencia demuestran que las mayores concentraciones de potasio intercambiable se encontraron en los primeros 10 cm de profundidad, situación similar a lo que sucede con la conductividad eléctrica (Figura 4).

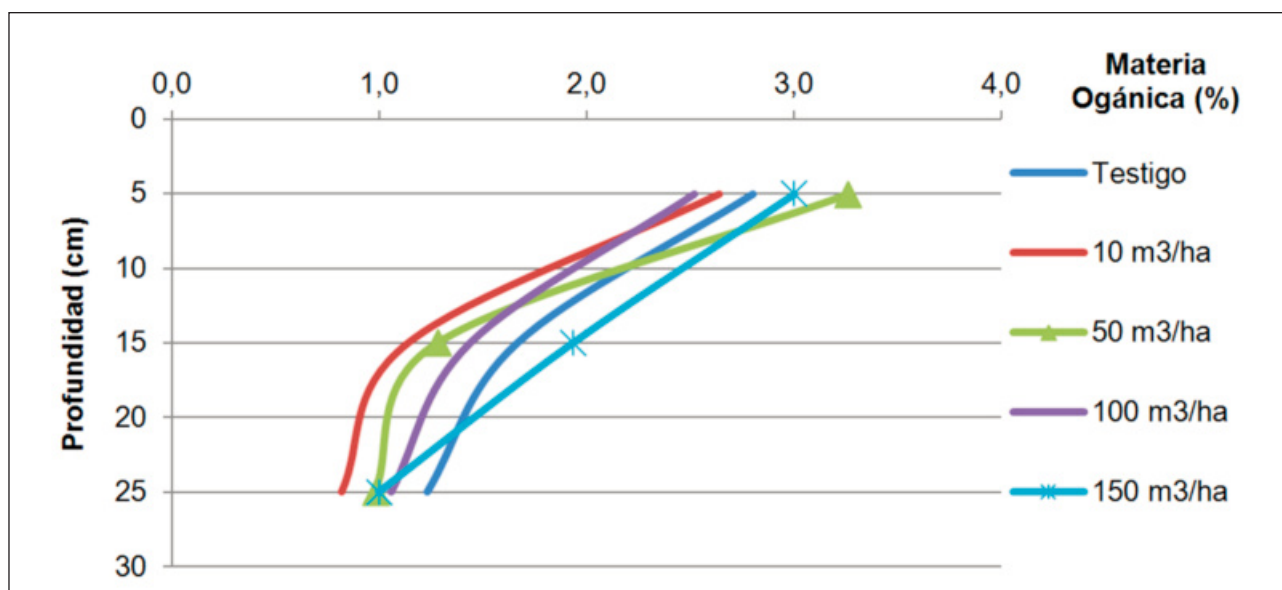


Figura 3. Variaciones de la Materia orgánica en función de la profundidad y dosis de vinaza en columnas de suelo.

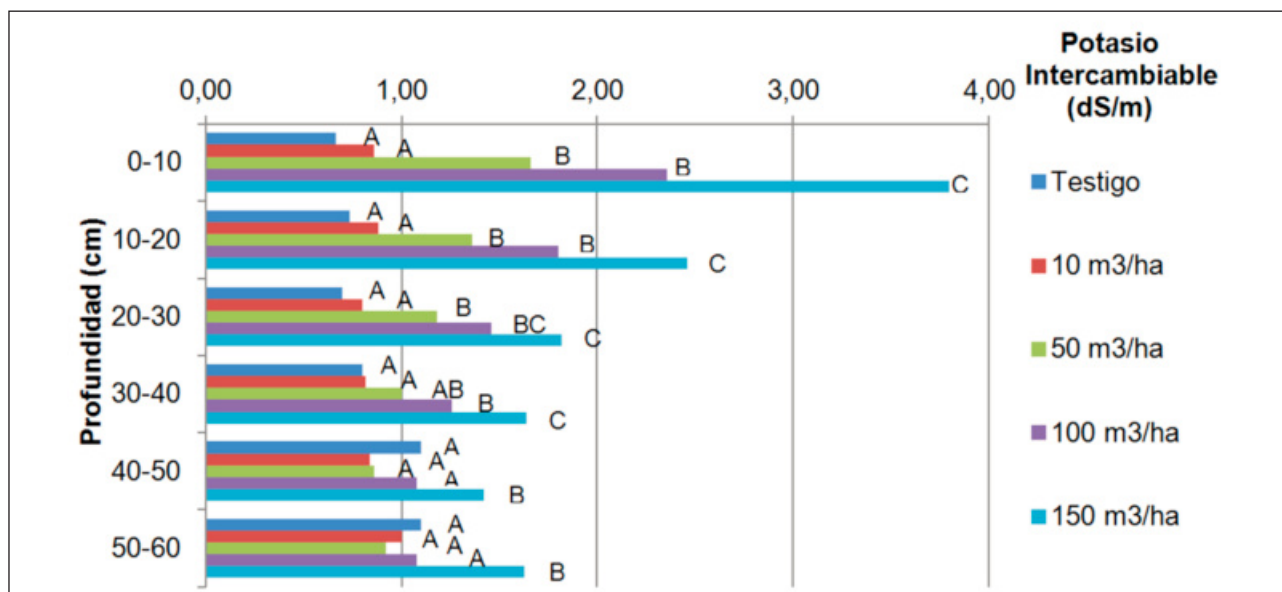


Figura 4. Variaciones de potasio intercambiable en función de la profundidad y dosis de vinaza en columnas de suelo.

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Dantur *et al.* (1996) registraron incrementos de este catión al evaluar dosis crecientes de vinaza en tres localidades de la provincia de Tucumán.

Resultados similares, pero con evaluaciones a menor profundidad (20 cm), fueron obtenidos por Nunes *et al.* (1982), que trabajando con muestras de un suelo franco arcillo arenoso, empleando diversas dosis de vinaza, encontraron niveles más elevados en los tenores de potasio intercambiable a medida que mayores eran las cantidades de vinaza aplicada. Gómez Toro (1995) obtuvo resultados que indican que a la profundidad de 0-20 cm, al incorporar dosis crecientes de vinaza, se incrementa "significativamente" el contenido de potasio intercambiable, no así a la profundidad de 20-60 cm, donde la variación fue insignificante debido posiblemente a que no hubo una adecuada lixiviación de este elemento a través del suelo.

Efecto en la densidad aparente y en la conductividad hidráulica: el valor inicial promedio de densidad aparente del perfil fue de 1,1 gr/cm³ y una conductividad hidráulica moderadamente alta. Los resultados obtenidos demostraron que no hubo variaciones estadísticamente significativas en los valores de densidad aparente ni en la conductividad hidráulica con respecto a las dosis de vinaza aplicadas. Si bien se considera el poder dispersante del ión potasio sobre las partículas de suelo, en esta experiencia no hubo relevancia alguna; esto probablemente puede haberse debido al período de incubación de las columnas de suelo, que podría haber sido insuficiente para permitir la expresión de algún cambio en dichas propiedades.

Muestras de percolados

Efecto en el pH: los valores se fueron incrementando a medida que fueron sucediéndose los riegos con vinaza y agua, no habiendo diferencias entre las dos primeras fechas de recolección, pero sí para la tercera, siendo esta última de significancia. No hubo diferencias entre dosis de vinaza aplicada y el testigo solo regado con agua (Tabla 3).

Efecto en la conductividad eléctrica: existen diferencias significativas entre las tres fechas de recolección de percolados, concentrándose los mayores contenidos salinos en el último mes de aplicación. No se evidenciaron diferencias significativas entre las distintas dosis de vinaza con respecto al testigo (Tabla 3).

Efecto en el contenido de potasio soluble: no se evidenciaron diferencias en cuanto a las fechas de recolección de los percolados (Tabla 3), pero sí en lo que respecta a las distintas dosis de vinaza aplicadas, en las cuales aquel tratamiento que recibió un equivalente a 150 m³/ha de vinaza presentó incrementos significativos del potasio soluble (Tabla 4).

Siendo la vinaza un residuo rico en potasio, su aplicación al suelo en dosis variadas ha elevado los niveles de potasio intercambiable en el complejo de cambio, lo cual puede acarrear un aumento simultáneo de potasio en la solución del suelo y consecuentemente una mayor susceptibilidad a la lixiviación de este último (Nunes *et al.*, 1982). Las consideraciones de este autor pueden ser tenidas en cuenta en esta experiencia, ya que se ha visto reflejado tanto en los resultados de las muestras de suelo (potasio intercambiable) como las de los percolados (potasio soluble).

CONCLUSIONES

La simulación de tres años de aplicación de vinaza cruda no provocó variaciones en las propiedades físicas, densidad aparente y conductividad hidráulica como consecuencia del incremento de los contenidos de potasio intercambiable. El aumento en la concentración de sales solubles llegó a valores que pueden considerarse de riesgo si el cultivo a implantar fuera caña de azúcar.

Es de suma importancia realizar el seguimiento en el tiempo de los diferentes parámetros edáficos estudiados en esta experiencia, a mayor escala, extrapolando a campo lo evaluado en las columnas, a mediano y largo plazo, en los distintos tipos de suelos que caracterizan la provincia de Tucumán.

Tabla 3. Valores medios de pH, sales y potasio soluble en los lixiviados en función de las recolecciones realizadas en distintas fechas.

	1 ^{er} Lixiviado	2 ^{do} Lixiviado	3 ^{er} Lixiviado	DMS
pH	7,21 a	7,22 a	7,67 b	0,3193
CE (dS/m)	1,43 a	2,52 b	3,04 c	0,3900
Potasio soluble (meq/l)	3,23 a	3,29 a	3,66 a	1,2524

*Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas (p ≤ 0.05).

Tabla 4. Valores medios finales, en percolados de las columnas de suelo, de potasio soluble en función de las dosis de vinaza aplicada.

	Testigo	10 m ³ /ha	50 m ³ /ha	100 m ³ /ha	150 m ³ /ha
Potasio (meq/l)	3,30 a	2,89 a	2,47 a	2,54 a	5,71 b

*Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0.05).

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aristizábal Alzate, C. E. 2015.** Caracterización físico-química de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. *Revista Ing. USMMed* 6 (2): 36-41 [En Línea].
- Aso, P. J. y G. Cárdenas. 1985.** Algunos aspectos del uso de la vinaza para riego. *Revista Avance Agroindustrial*, Año 5, Nº 20 p14-15.
- Bautista Zuñiga, F.; C. Durán de Bazúa y R. Lozano. 2000.** Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 16 (3): 89-10 [En Línea].
- Dantur, N. C.; J. Scandaliaris y P. Aso. 1987.** Caña de azúcar: Mayor producción al aplicar vinaza. *Revista Avance Agroindustrial* 8 (29): 16-19.
- Dantur, N.; J. Scandaliaris; F. Pérez Zamora y M. Roncedo. 1996.** Aprovechamiento agrícola de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar. Parte II: el uso de la vinaza. *Revista Avance Agroindustrial* 17 (1): 38-41.
- Flores, R. P.; F. Gavi; B. Torres y E. Hernández. 2012.** Lixiviación de potasio y contenidos nutrimentales en suelo y alfalfa en respuesta a dosis de vinaza. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (5): 833-846 [En Línea].
- García, A. O. y C. A. Rojas. 2006.** Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. Nota técnica. [En Línea] Disponible en: www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p3-13.pdf. Consultado:29/01/2016.
- Gómez Toro, 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 (2): 69-72.
- Morandini, M.; C. Sotomayor; E. Quaia; D. Machado; C. Hernandez; G. A. Sanzano y M. Ruiz. 2015.** Manejo de efluentes industriales en la provincia de Tucumán. Aportes de la EEAOOC al dictado de las resoluciones de la Secretaria de Estado de Medio Ambiente de la provincia de Tucumán. *Revista Avance* 36 (1): 40-43.
- Nunes, M.; J. Leal y A. Velloso. 1982.** Efeito da vinhaca na lixiviacao de nutrientes do solo III. Pôtasio, Cálcio e Magneso. *Pesq. agropec. bras.* 17 (3): 371-374.
- Sanzano, A.; N. Aranda; E. Arroyo; F. Sosa; J. Romero; C. Sotomayor; R. Correa; C. Hernandez; M. Morandini y H. Rojas Quinteros. 2015.** Características y manejo de los suelos cañeros de Tucumán. *Guía Técnica del cañero*, capítulo A (2): 21- 35.
- Sanzano, G. A.; E. A. Arroyo; N. D. Aranda; H. Rojas Quinteros; P. Sorol; S. Figueroa; F. Madrid y J. Navarro. 2016.** Estado actual de la fertilidad de los suelos del área cañera de la provincia de Tucumán. Libro de resúmenes de la XX Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar. Tucumán. Abril 2016.
- Soil Survey Manual, USDA. 1993.** Examination and Description of Soils. Chapter 3, pp. 36-38.
- Zuñiga Cerón, V. y M. A. Gandini A. 2013.** Caracterización ambiental de las vinazas de residuos de la caña de azúcar resultantes de la producción de alcohol. *Revista Dyna* 80 (177): 124-131 [En Línea].