

# Efecto de la aplicación de vinaza en suelos bajo cultivo de caña de azúcar.

*Effect of vinasse application on soils under sugarcane crop*  
*Efeito da aplicação de vinhaça em solos sob cultivo de cana de açúcar*

DEL PINO MACHADO, A.<sup>1</sup>; CASANOVA, O.<sup>1</sup>; HERNÁNDEZ, J.<sup>1</sup>; TAKATA, V.<sup>1</sup>; PANISSA, G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesor Agregado de Fertilidad de Suelos, Dpto. de Suelos y Aguas- Facultad de Agronomía Universidad de la República Oriental del Uruguay. Facultad de Agronomía. Uruguay

<sup>2</sup>ALUR-ANCAP

amabelia@fugro.edu.uy

## Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de vinaza sobre algunas propiedades químicas en dos suelos representativos de la zona de producción de caña de azúcar de Uruguay. La vinaza es un residuo líquido proveniente de la producción de etanol y su utilización como bio fertilizante permitiría disminuir los costos de fertilización, evitando riesgos de contaminación ambiental. Se realizaron incubaciones agregando dosis equivalentes a 150, 300 y 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a material proveniente del horizonte A de dos suelos (LB2 y L1, clasificados como Vertic Argiudoll y Typic Argiudoll respectivamente), con humedad y temperatura controladas. El suelo se muestreó a los 4, 14, 28 y 90 días y se analizó: Conductividad eléctrica (CE), pH, P disponible, N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na). En ambos suelos se observaron rápidos incrementos en la CE, aunque solamente la dosis máxima alcanzó niveles negativos para el crecimiento vegetal. No hubo efectos sobre el pH del suelo. A los 14 días en ambos suelos predominó la forma de N amoniacal, pero a los 28 días la mayoría se había nitrificado en el suelo de textura más pesada (LB2), no así en L1, indicando efectos diferenciales de la vinaza sobre la actividad de la biomasa microbiana de ambos suelos. La vinaza produjo incrementos de escasa magnitud en el contenido de P disponible y Ca intercambiable. Los efectos más importantes de la aplicación de vinaza corresponden a K y Mg intercambiables. Se concluye que la vinaza evaluada es capaz de realizar un importante aporte de nutrientes en el corto plazo.

**Palabras clave:** Uruguay - incubación - enmienda de suelo

## Introducción

El uso de residuos agroindustriales como bio fertilizantes requiere de una caracterización previa, debido a que generalmente se trata de materiales de composición variable (Barbazán et al., 2011). Cuando se intenta utilizar materiales que no registran antecedentes en la producción, es necesario estudiar su efecto sobre las propiedades del suelo y su aporte de nutrientes a los

## Summary

*The objective of this work was to evaluate the effects of vinasse in two soils, representative of the sugarcane production area in Uruguay. Vinasse is a liquid residue generated during ethanol production and its use as a bio fertilizer would allow to reduce fertilization costs, avoiding environmental contamination risks. Incubations were performed, adding rates equivalent to 150, 300 y 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> to two soils (LB2 and L1, classified as Vertic Argiudoll and Typic Argiudoll respectively), under controlled conditions. The soils were sampled at 4, 14, 28 and 90 days, and the analysis performed were: Electrical conductivity (EC), pH, available P, mineral N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), and exchangeable bases (Ca, Mg, K y Na). In both soils rapid EC increments were observed, although only the highest rate reached values potentially negative for plant growth. There were no effects on soil pH. At 14 days in both soils the ammoniacal form of N dominated, but at 28 days most of it had been nitrified in the heavy textured soil (LB2), but not in L1, indicating differential effects of vinasse on the activity of microbial biomass in both soils. Vinasse produced increments in available P content and exchangeable Ca, although of low magnitude. The most important effects of vinasse application correspond to exchangeable K and Mg. It was concluded that the evaluated vinasse is suitable to make an important nutrient contribution in the short term.*

**Key words:** Uruguay - incubation - soil amendment

## Resumo

*O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de vinhaça em dois solos representativos da área de produção de cana no Uruguai. A vinhaça é um resíduo líquido gerado durante a produção de etanol e sua utilização como biofertilizante permitiria reduzir os custos de fertilização e evitar riscos de contaminação ambiental. Realizaram-se Incubações adicionando doses equivalentes a 150, 300 e 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ao material do horizonte A de dois solos (LB2 e L1, classificados como VerticArgiudoll e TypicArgiudoll, respectivamente), com umidade e temperatura controladas. O solo foi amostrado aos 4, 14, 28 e 90 dias e analisado: condutividade elétrica (CE), pH, P disponível, N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e bases intercambiáveis (Ca, Mg, K e Na). A CE aumentou rapidamente em ambos os solos, embora apenas a dose máxima tenha atingido níveis negativos para o crescimento da planta. Não houve efeitos no pH do solo. Aos 14 dias, a forma N amoniacal predominou em ambos os solos, mas aos 28 dias a maioria foi nitrificada no solo de textura mais pesada (LB2), não em L1, indicando efeitos diferenciais da vinhaça na atividade da biomassa microbiana de ambos os solos. A vinhaça aumentou ligeiramente o teor de P disponível e Ca intercambiável. Os efeitos mais importantes da aplicação da vinhaça foram em K e Mg intercambiáveis. Concluiu-se que a vinhaça avaliada é capaz de fazer um importante aporte de nutrientes no curto prazo*

**Palavras-chave:** Uruguai – incubação – emenda de solo

cultivos (Gale et al., 2006; del Pino et al., 2012). En general solamente una parte de los nutrientes de los residuos está disponible para las plantas, lo cual constituye un desafío a la hora de establecer dosis de aplicación que satisfagan adecuadamente los requerimientos de los cultivos (Moore et al., 2010).

En Uruguay la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) se ubica en la zona de Bella Unión (Dpto de Artigas), y está destinada al complejo industrial agro energético-alimentario de ALUR en el cual principalmente se produce etanol. La vinaza es un residuo líquido, que proviene de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar, por lo tanto su composición tiene similitudes con la del material de origen. La vinaza es de color marrón oscuro, ácida (pH: 3,5 – 5) y contiene materia orgánica (MO), así como sustancias inorgánicas solubles, entre las que predominan  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $SO_4^{2-}$  (Vadivel et al., 2014). Su contenido de N y P es relativamente bajo, comparado con el de K, y debido a que parte de estos nutrientes se encuentran en forma orgánica, su disponibilidad depende de su descomposición (Moraes et al. 2014). En general no presenta alto contenido de metales pesados ni otros elementos tóxicos (Soobadar, 2014). Se producen entre 10 y 18 L de vinaza por L de etanol, variando según las características de la materia prima y el proceso de producción (da Silva, 2014). Este gran volumen producido realza la importancia de lograr una utilización productiva de la vinaza para evitar que se transforme en un pasivo ambiental.

Se ha evaluado la aplicación de vinaza con el fin de sustituir los fertilizantes sintéticos para el cultivo de caña de azúcar (Resende et al., 2006; Gallego Blanco et al., 2012; Soobadar, 2014). Estos estudios indican que hubo efectos positivos de la vinaza sobre el crecimiento y la absorción de nutrientes, identificando como un problema el establecer dosis que maximicen la producción evitando excesos negativos para el cultivo y el medio ambiente. La dificultad para la recomendación de dosis se agrava cuando no hay tradición en el uso de vinaza, como ocurre en Uruguay. Si bien en la bibliografía se observa gran disparidad en las dosis utilizadas, generalmente se aplican de 50 a 150  $m^3 ha^{-1} año^{-1}$  (Canelas et al., 2003; de Barros et al., 2010; Da Silva et al., 2014).

En su amplia revisión de los efectos de la aplicación de vinaza sobre el suelo, Fuess & García (2014) citan como ventajas, además del aporte de nutrientes, el aumento en la MO, y por lo tanto aumento en la CIC, mejoras en la agregación, estructura, aumentos en el pH, relacionados a su aporte de bases y fomento de la actividad microbiana. Los mismos autores consideran como

## Materiales y Métodos

**Suelos.** Para el estudio se seleccionaron dos suelos a partir de la carta detallada de suelos del área afectada a la plantación de caña de azúcar, en base al área ocupada. Los suelos se llamarán de aquí en adelante por los nombres L1 y LB2 de dicha carta, (Coordenadas L1: 30° 26' S; 57° 39' W y LB2: 30° 19' S; 57° 33' W). El suelo L1 clasificado como Fine, mixed, superactive, thermic Typic Argiudoll (Soil Survey Staff, 2006) proviene de lodolitas, y LB2, clasificado como Fine, mixed, superactive, thermic Pachic Vertic Argiudoll (Soil Survey Staff, 2006) proviene de sedimentos derivados de la alteración de basalto. Estos suelos nunca habían recibido vinaza, ni fueron fertilizados en el último año. Para el experimento se tomó material del horizonte A de cada suelo. La Tabla 1 muestra las características de ambos suelos.

**Tratamientos.** A cada suelo se le aplicaron 4 tratamientos: tres dosis de vinaza y un testigo sin aplicación (dosis equivalentes a 150, 300 y 450  $m^3 ha^{-1}$ ), con tres repeticiones. El cálculo de dosis equivalente se realizó considerando una profundidad de aplicación de 20 cm, y densidad aparente del suelo de 1,25  $g cm^{-3}$ . La composición de la vinaza se presenta en la Tabla 2. Se calculó que el agregado de 150, 300 y 450  $m^3 ha^{-1}$  de vinaza, corresponde a 518, 1035 y 1553  $kg ha^{-1}$  de K, 21, 42 y 63  $kg ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ , en tanto que para el N las dosis fueron 109, 218 y 327  $kg ha^{-1}$  respectivamente.

riesgos de la aplicación de vinaza la salinización, la acidificación, la pérdida de estructura, la posibilidad de escurrimiento a cursos de agua, la generación de olores desagradables, la inhibición de la germinación y pérdidas de rendimiento. Esta disparidad en los efectos de la aplicación de vinaza en las diferentes publicaciones revisadas pone de manifiesto la necesidad de realizar estudios locales detallados de los efectos de la aplicación de vinaza sobre el suelo y cultivos.

Un aspecto a considerar en la evaluación de residuos es la diversidad de las condiciones locales de suelo y clima. Algunos autores enfatizan el riesgo de lixiviación de vinaza, o los productos de su descomposición, cuando se aplica en caña de azúcar plantada en suelos de textura arenosa, escasa diferenciación textural y napas freáticas superficiales (da Silva et al., 2007; Ortegón et al., 2016). Estas condiciones promueven la lixiviación y el riesgo de contaminación de aguas profundas, aunque no son frecuentes en los suelos de Uruguay debido a la textura media o arcillosa en el horizonte A y a la presencia de un horizonte subsuperficial arcilloso. Adicionalmente el efecto de la vinaza es menor en los suelos que tienen mayor capacidad de amortiguación, relacionada con la CIC y contenido de MO. Es así que de Mello et al. (2016) estudiando el efecto de la vinaza sobre propiedades físicas de dos suelos contrastantes, observaron que mientras en un suelo arenoso su aplicación aumentaba la floculación de arcilla, no había efecto en un suelo arcilloso. También las características de la vinaza varían en función de la materia prima y la tecnología utilizada para la producción de etanol (de Resende et al., 2006). Es evidente que se debe contar con información que relacione las características químicas de la vinaza con su efecto en propiedades de suelo para posibilitar un uso adecuado desde el punto de vista agronómico y ambiental.

El presente trabajo tuvo como objetivo la evaluación de los efectos de la aplicación de vinaza sobre algunas propiedades químicas en dos suelos representativos de la zona de producción de caña de azúcar de Uruguay. El estudio se realizó mediante la incubación del horizonte superficial de los dos suelos con diferentes dosis de vinaza en condiciones controladas de laboratorio.

**Incubación de laboratorio.** Los suelos se tamizaron a un tamaño de agregados < 5 mm, eliminando raíces y gravillas. Luego se extendió el suelo en una fina capa y se incorporó la vinaza, mezclando cuidadosamente. En cada bandeja de incubación (de 15 cm de largo por 10 cm de ancho y 10 cm de profundidad) se colocaron 900 g de suelo seco. Se calculó para cada suelo la humedad a 90 % de capacidad de campo, complementando el agregado de vinaza con el agua desionizada necesaria. Luego se llenaron las bandejas de incubación, las cuales se mantuvieron tapadas, con pequeños orificios en la tapa para permitir el intercambio gaseoso. Se mantuvo el nivel de humedad en el suelo reponiendo semanalmente la cantidad evaporada. La incubación se realizó a 25°C de temperatura.

**Muestreos de suelos y análisis químicos.** Los muestreos de suelo se realizaron tomando aproximadamente 100 g de suelo húmedo de cada bandeja. Se realizó el primer muestreo a los 4 días de incubación para medir conductividad eléctrica (CE). A los 14, 28 y 90 días se colectaron muestras que se secaron a 40 °C durante 48 horas y molieron a menos de 2 mm. Se analizaron: Conductividad eléctrica pH, P disponible (Bray N°1), N mineral: amonio ( $N-NH_4^+$ ) y nitrato ( $N-NO_3^-$ ) y bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na). La CE y el pH fueron determinados con relación suelo:agua 1:1 en volumen, el N mineral fue extraído con una solución de KCl 2M, determinándose el  $NH_4^+$  según el método de Berthelot y

el  $\text{NO}_3^-$  según la reacción de Griess-Ilosvay (Mulvaney, 1996). Para extraer los cationes se usó acetato de amonio neutro, determinando Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica, y K y Na por espectrofotometría de emisión.

**Cálculos y análisis estadísticos.** Se calculó la tasa mineralización neta de N restando el contenido de N mineral al final y al

principio y dividiendo entre los días de incubación. Se realizó el análisis de varianza de los parámetros medidos con un diseño completamente aleatorizado. Para la comparación de medias por tratamiento se utilizó el test de Tukey. Mediante análisis de contrastes se evaluó el efecto lineal de la dosis sobre las diferentes propiedades.

**Tabla 1:** Datos analíticos del horizonte A de un Typic Argiudoll (L1) y un Vertic Argiudoll (LB2) usados en un experimento de aplicación de vinaza.

Suelo	Profundidad	Arena	Limo	Arcilla	pH	pH	C orgánico	Ca	Mg	K	Na	Bases totales	CIC (pH 7)
	cm	g kg <sup>-1</sup>			(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	g kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					
L1	15	520	290	190	5,4	4,4	11,9	6,37	1,33	0,16	0,52	8,38	12,45
LB2	25	250	510	240	5,1	4,1	14,6	6,98	1,72	0,21	0,64	9,55	13,86

**Tabla 2:** Caracterización de la vinaza utilizada en el estudio. Contenido total de C y nutrientes, excepto para el caso del N donde se distingue la fracción amoniacal.

pH	CE	C	N-total	C/N	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Mg	Ca	Na	
	dS m <sup>-1</sup>						kg m <sup>-3</sup>				
5,96	5,60	11,26	0,73	15	0,47	0,06	3,45	0,48	0,53	0,13	

## Resultados y Discusión

El agregado de vinaza produjo aumentos en la CE del suelo (Figura 1). En ambos suelos hubo un efecto lineal de las dosis de vinaza agregadas sobre la CE ( $P < 0,05$ ).

En el suelo LB2 la vinaza produjo un mayor efecto sobre la CE, lo cual fue inesperado, dado que este suelo tenía mayor contenido de arcilla y MO, y por lo tanto una mayor capacidad de amortiguación. Es probable que el hecho de medir CE con relación 1:1 suelo:agua afecte en forma diferencial ambos suelos. Debe destacarse que valores por encima de 1 dS m<sup>-1</sup> (medidos con relación 1:1 suelo:agua) considerados negativos para el crecimiento de plantas (Doran, 1999), fueron alcanzados solamente con la dosis de 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Aún en esos casos la CE estuvo por debajo de 1,7 dS m<sup>-1</sup>, valor que se observó provoca una reducción en los rendimientos de caña de azúcar del orden del 10% (Soodabar, 2014). El mayor nivel de CE en el suelo se produce inmediatamente después de agregada la enmienda ya que con el tiempo la retención de iones disminuye su concentración en la solución del suelo. Adicionalmente en un experimento de campo con agregado de vinaza que se realizó en condiciones de producción sobre

los mismos suelos, la CE del suelo que había aumentado por el agregado de vinaza, disminuyó rápidamente, probablemente debido a la absorción de nutrientes por el cultivo y a la lixiviación de iones en profundidad.

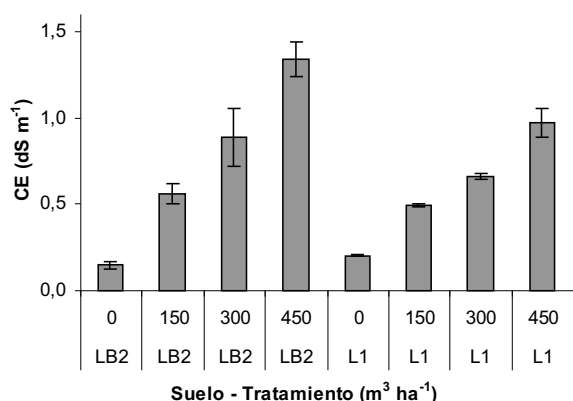
El pH del suelo no mostró efectos significativos de la aplicación de vinaza, aunque hubo una tendencia creciente en los dos suelos, con aumentos de la dosis máxima respecto al testigo de 0.05 unidades en L1 y 0.04 en LB2. En la literatura se citan aumentos en el pH producidos por la aplicación de vinaza (de Barros et al., 2010; Da Silva et al., 2014), estando este hecho relacionado al aporte de cationes básicos de la enmienda. El pH ácido de la vinaza se debe a ácidos orgánicos que son rápidamente descompuestos en el suelo y por tanto no acidifican (de Resende et al., 2006). La falta de un efecto claro en el pH se debe probablemente a que se evaluó una sola aplicación, aunque utilizando dosis altas. Es probable que los cambios en el pH del suelo sean más evidentes cuando se hacen aplicaciones repetidas durante un período largo de tiempo.

En cuanto al efecto de la vinaza sobre la disponibilidad de los nutrientes evaluados en los dos suelos, debe destacarse que se observaron incrementos desde el inicio de la incubación. Tanto en lo que respecta al contenido de P disponible como de cationes intercambiables, los valores se mantuvieron con pequeños cambios hasta el final de la incubación (90 días). Por lo tanto para estos parámetros se presentan solamente los resultados del muestreo realizado a los 90 días de incubación. En lo que respecta a la disponibilidad de N en cambio se observó un aumento a lo largo de la incubación, por lo que se examinará su evolución más detalladamente.

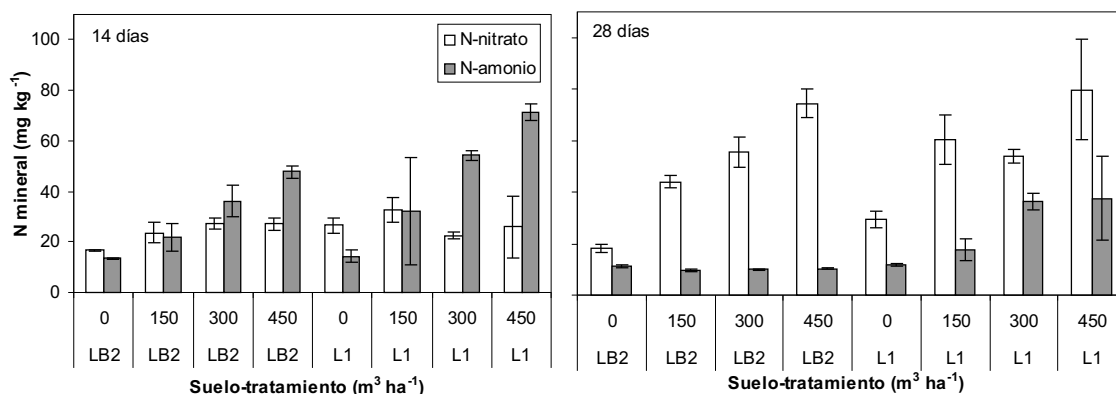
La aplicación de la vinaza aumentó el contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en ambos suelos a las 2 semanas, en tanto que a los 28 días predominó la forma N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Figura 2).

La lenta nitrificación se debe probablemente a una baja actividad de los microorganismos nitrificadores, afectados por los aumentos de CE (Irshad et al., 2006). Por otra parte a los 28 días de incubación se observa diferente comportamiento en los dos suelos, ya que en el suelo más pesado (LB2) la mayor parte del N

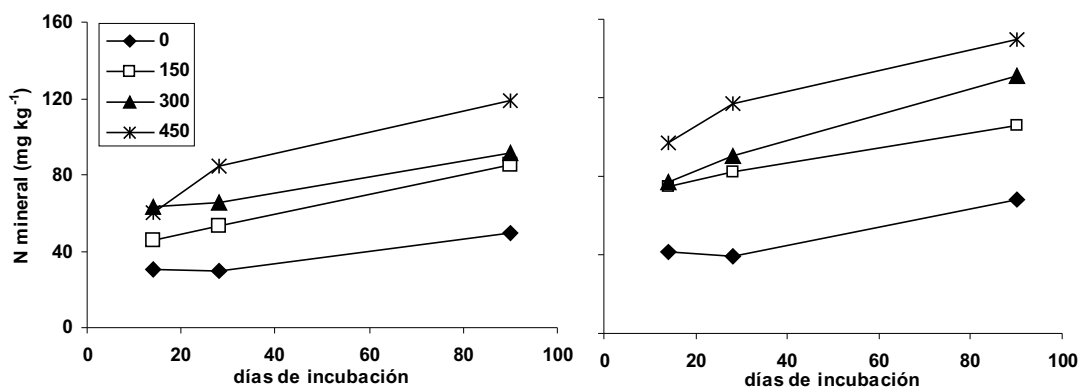
**Figura 1:** Conductividad eléctrica (CE) del horizonte A de un Typic Argiudoll (L1) y un Vertic Argiudoll (LB2) 4 días después del agregado de vinaza en dosis de 0, 150, 300 y 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Relación suelo:agua 1:1).



**Figura 2:** Contenido de N mineral (N-NO<sub>3</sub> y N-NH<sub>4</sub>) del horizonte A de un Typic Argiudoll (L1) y un Vertic Argiudoll (LB2) con agregados de vinaza de 0, 150, 300 y 450 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Muestras realizadas a los 14 y 28 días de incubación.



**Figura 3:** Evolución del contenido de N mineral del horizonte A de un Vertic Argiudoll (LB2, izquierda) y un Typic Argiudoll (L1, derecha) con agregados de vinaza de 0, 150, 300 y 450 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>.



**Tabla 3:** Nitrógeno mineralizado luego de 90 días de incubación del horizonte A de un Typic Argiudoll (L1) y un Vertic Argiudoll (LB2) con diferentes dosis de vinaza.

Suelo	Dosis vinaza m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Dosis N	N mineral 90 días kg ha <sup>-1</sup>	N de vinaza	Proveniente de vinaza %
L1	0	0	170		
	150	109	265	95	87
	300	218	327	157	72
	450	327	374	204	62
LB2	0	0	124		
	150	109	213	89	82
	300	218	228	104	48
	450	327	297	173	53

se nitrificó, en tanto que en el suelo más liviano (L1) todavía se detectó un contenido importante de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en los tratamientos con vinaza. A los 90 días de incubación predominó el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en ambos suelos (datos no presentados).

La Figura 3 presenta la evolución del contenido total de N mineral (suma de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), el cual en ambos suelos se relacionó directamente con las dosis aplicadas (*P*<0,05). Las líneas divergentes indican que hubo una paulatina liberación de N de la vinaza, probablemente debido a mineralización de formas de N orgánico. El suelo L1 mostró mayor nivel de N mineral que LB2, esto reflejó la diferencia en contenido inicial en ambos suelos, pero también las tasas de liberación de N de los testigos (promedio 0,27 y 0,39 mg de N kg<sup>-1</sup> de suelo día<sup>-1</sup> para

LB2 y L1 respectivamente). En consecuencia la mineralización de N no estuvo directamente vinculada con el contenido de MO del suelo (el cual fue mayor en LB2 que en L1). La textura de los suelos en cambio podría tener influencia en este aspecto, por tratarse LB2 de un suelo más arcilloso, y en consecuencia con mayor estabilidad en la MO (Hassink, 1997).

A los 90 días de incubación se calculó la liberación de N mineral en términos de dosis equivalente, y se comparó este valor con la cantidad de N aplicada (Tabla 3).

En el suelo L1 la proporción de N mineralizada proveniente de la vinaza fue mayor que en LB2. En el suelo L1 el N mineralizado representó del 62 a 87 % del N aplicado, en tanto que en LB2 la

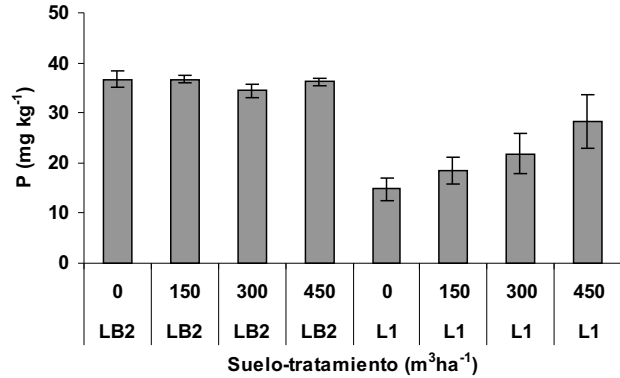
proporción mineralizada estuvo en el rango de 48 a 82 %. Cuanto mayor fue la cantidad de vinaza aplicada menor resultó la proporción mineralizada. Es remarcable que en 3 meses de incubación la mayor parte del N de la vinaza estuvo disponible. No obstante, debe considerarse que las incubaciones se realizaron en condiciones controladas de temperatura y humedad, por lo tanto los resultados no son totalmente extrapolables a lo que ocurriría en el campo luego de la aplicación de vinaza, con variaciones en la temperatura y la humedad del suelo que pueden entelecer la mineralización de compuestos orgánicos.

El P disponible de los suelos se incrementó ligeramente por el agregado de vinaza (Figura 4). En el suelo LB2, donde esta tendencia no fue significativa estadísticamente los niveles de P eran muy altos, probablemente debido a fertilizaciones anteriores, por lo tanto el incremento carece de valor agronómico. En tanto que en el suelo L1 el P del tratamiento testigo fue significativamente menor a los que recibieron vinaza. Si bien el contenido de P del testigo está en el rango de suficiencia para el cultivo, los agregados son importantes para asegurar la buena disponibilidad y la sostenibilidad de este nutriente en el largo plazo (Canellas et al., 2003).

El efecto de la vinaza sobre la suma de bases intercambiables de los suelos, aunque estadísticamente significativo, no fue importante, especialmente en el suelo LB2 (datos no presentados). Dado que el contenido de bases del suelo LB2 es relativamente alto es improbable que sea alterado por una única aplicación de enmienda, aun con dosis altas.

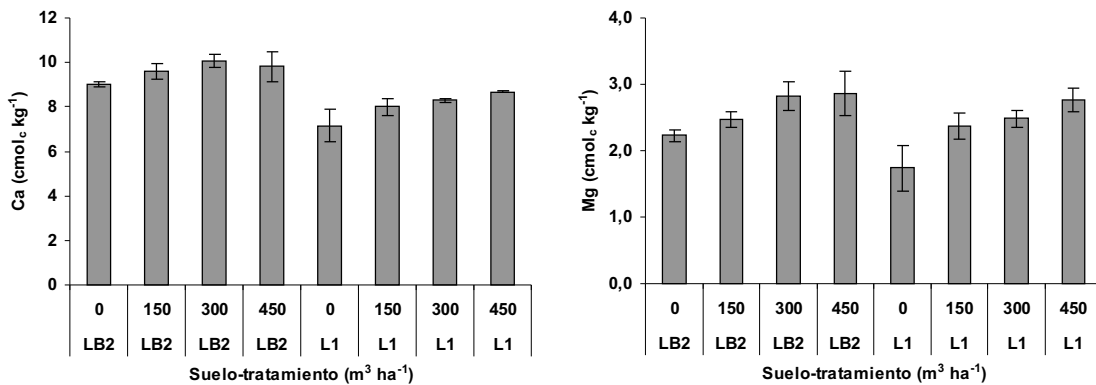
Tanto el contenido de Ca como el de Mg intercambiables de los suelos se incrementaron al agregar vinaza (Figura 5). El aumento en el nivel de Ca fue significativo para el suelo L1, no así para el

**Figura 4:** Fósforo disponible (Bray 1) del horizonte A de un Typic Argiudoll (L1) y un Vertic Argiudoll (LB2) con agregados de vinaza de 0, 150, 300 y 450 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Muestreo realizado a los 90 días de incubación.

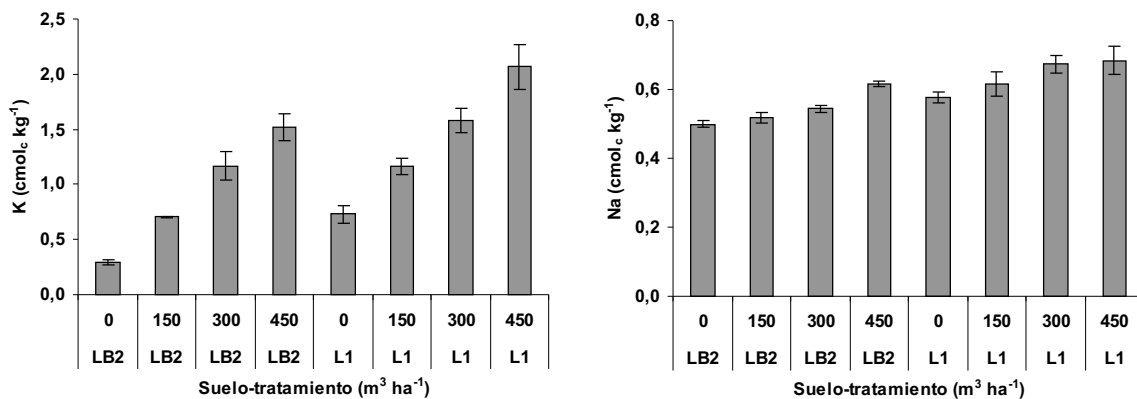


suelo LB2. Para el nivel de Mg, se encontraron incrementos significativos en ambos suelos, con una tendencia lineal relacionada a la dosis de vinaza. En el Suelo L1 el incremento fue proporcionalmente más importante. En otros trabajos se han observado marcados incrementos de Ca y Mg intercambiables a partir del agregado de vinaza (de Barros et al., 2010). Este resultado tiene relevancia desde el punto de vista agronómico, dado que si bien se trata de cationes que actualmente no se consideran limitantes para la nutrición del cultivo, su continua extracción puede promover la acidificación del suelo. Debe destacarse que en el manejo tradicional del cultivo de caña de azúcar en suelos ácidos de Brasil suele emplearse encalado

**Figura 5:** Contenido de Ca y Mg intercambiables del horizonte A de un Typic Argiudoll (L1) y un Vertic Argiudoll (LB2) con agregados de vinaza de 0, 150, 300 y 450 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Muestreo realizado a los 90 días de incubación.



**Figura 6:** Contenido de K y Na intercambiables del horizonte A de un Typic Argiudoll (L1) y un Vertic Argiudoll (LB2) con agregados de vinaza de 0; 150; 300 y 450 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Muestreo realizado a los 90 días de incubación.



(Rossetto et al., 2004), pero esta práctica no es frecuente en la producción azucarera de Uruguay.

Como era de esperar dado su alto contenido, la aplicación de vinaza aumentó el K disponible linealmente con la dosis ( $P < 0,05$ ) en ambos suelos (Figura 6). Sin embargo, el cálculo teórico de aumento en el contenido de K por agregado de vinaza (0,53; 1,06 y 1,59  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para las dosis de 150; 300 y 450  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  respectivamente) no fue alcanzado en ninguno de los suelos y tratamientos. Las diferencias entre el contenido de K intercambiable de los tratamientos con respecto a los suelos testigo promediaron un 80 % de estos valores teóricos. Este hecho indicaría que parte del K agregado sufrió una retrogradación

hacia formas de K no intercambiable como ha sido observado en otros suelos del área por Hernández et al. (1988).

Si bien se observó una tendencia creciente del Na intercambiable con el agregado de vinaza ( $P < 0,05$ ), la misma no fue de gran magnitud. Este hecho es positivo, ya que el Na afecta negativamente las propiedades físicas y químicas del suelo, debido que provoca la dispersión de los coloides y aumento de la presión osmótica. En suelos de Brasil, de Mello et al. (2016) observaron efectos positivos de la aplicación de vinaza sobre la floculación de las arcillas, concluyendo que el efecto de los cationes divalentes Ca y Mg es mayor que el posible efecto de dispersión de los cationes monovalentes (K y Na).

## Conclusiones

Se puede concluir que la vinaza producida en la planta de ALUR, Bella Unión, es un material capaz de realizar un importante aporte de nutrientes en el corto plazo. Tempranamente, en el muestreo realizado a las dos semanas de aplicación, se observaron aumentos en los niveles de bases intercambiables, así como de N mineral y P disponible de los suelos. La evolución del contenido de N mineral en ambos suelos indica que hubo una paulatina contribución del N orgánico de la vinaza durante la incubación, mineralizándose al final de la incubación una alta

proporción del N aplicado, especialmente con la dosis menor de vinaza. Los incrementos más importantes de bases intercambiables producidos por la vinaza corresponden a K y en menor medida Mg. Un aspecto a tener en cuenta es el aumento provocado en la salinidad en el suelo, debiendo ajustarse las dosis para evitar dañar los cultivos. También la dosificación deberá realizarse de tal forma de no sobrepasar valores de N agregado que sean ambientalmente inconvenientes por peligro de contaminación de acuíferos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a ALUR-ANCAP por la financiación del presente trabajo, así como a su personal técnico y de campo. A la Dra. Natalia Bajsa (IIBCE) por su apoyo como coordinadora del proyecto en el cual se llevó a cabo este estudio.

## Bibliografía

1. BARBAZÁN M, DEL PINO A, MOLTINI C, HERNÁNDEZ J, RODRÍGUEZ J. (2011). Caracterización de Materiales Orgánicos Aplicados en Sistemas Agrícolas Intensivos de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15:82-92.
2. CANELLAS LP, VELLOSO ACX, MARCIANO CR, RAMALHO JFGP, RUMJANEK VM, REZENDE CE, SANTOS GDA. (2003). Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:935-944.
3. DASILVA MA, GRIEBELER NP, BORGES LC. (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11:108-114.
4. DA SILVA AP, BONO JA, PEREIRA FAR. (2014). Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 18:38-43.
5. DE BARROS RP, VIÉGAS PRA, DA SILVA TL, DE SOUZA RM, BARBOSA L, VIÉGAS RA, DE MELO AS. (2010). Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40:341-346.
6. DE MELO T R, TELLES TS, MACHADO WS, TAVARES FILHO J. (2016). Factors affecting clay dispersion in oxisols treated with vinasse. *Semina: Ciências Agrárias*, 37: 3997-4004.
7. DE RESENDE AS, XAVIER RP, DE OLIVEIRA OC, URQUIAGA S, ALVES BJ, BODDEY RM. (2006). Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, NE Brazil. *Plant and soil*, 281:339-351.
8. DEL PINO A, CASANOVA O, BARBAZÁN M, MANCASSOLA V, ARLÓ L, RODRÍGUEZ J, BORZACCONI L, PASSEGGI M. (2012). Caracterización y Evaluación de Biosólidos Producidos por Digestión Anaerobia de Residuos Agroindustriales. *Ciencia del Suelo*, 30:129-136.
9. DORAN DC. (1999). Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo. EUA: USDA
10. FUESS LT, GARCIA ML. (2014). Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation. *Journal of Environmental Management*, 145:210-229.
11. GALE ES, SULLIVAN DM, COGGER CG, BARY AI, HEMPHILL DD, MYHRE EA. (2006). Estimating plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *Journal of Environmental Quality*, 35:2321-2332.
12. GALLEGGO-BLANCO J, MUÑOZ E, HERNÁNDEZ-RÍOS L. (2012). Effects of a vinasse-microorganism blend application on a Vertisol with sugarcane. *Agronomía Colombiana*, 30:116-123.
13. HASSINK J. (1997). The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil*, 191: 77-87
14. HERNÁNDEZ J, CASANOVA ON, ZAMALVIDE JP. (1988). Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay. *Facultad de Agronomía*.
15. IRSHAD M, HONNA T, YAMAMOTO S, ENEJI AE, YAMASAKI N. (2005). Nitrogen mineralization under saline conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36:1681-1689.

16. **MOORE AD, ALVAAK, COLLINS HP, BOYDSTON R A.** (2010). Mineralization of nitrogen from biofuel by-products and animal manures amended to a sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41:1315-1326.
17. **MORAES BS, JUNQUEIRA TL, PAVANELLO LG, CAVALETT O, MANTELATTO PE, BONOMI A, ZAIAT M.** (2014). Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense?. *Applied Energy*, 113:825-835.
18. **MULVANEY R L.** (1996). Nitrogen inorganic forms. En D.L. Sparks et al, (Ed), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. ASA and SSSA, Madison WI. p 1123-1184.
19. **ORTEGÓN GP, ARBOLEDA FM, CANDELA L, TAMOH K, VALDES-ABELLAN J.** (2016). Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). *Science of the Total Environment*, 539: 410-419.
20. **ROSSETTO RA, SPIRONELLO H, CANTARELLA J, QUAGGIO A.** (2004). Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com doses de Potássio. *Bragantia*, 63: 105-119.
21. **SOIL SURVEY STAFF** (2006). *Keys to Soil Taxonomy*, 10th edition. Washington, DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
22. **SOOBADAR A.** (2014). Application of vinasse to sugarcane. *Sugarcane: Production, Consumption, and Agricultural Management System*, 1:331-359.
23. **VADIVEL R, MINHAS PS, KUMARS, SINGH Y, DVK NR, NIRMALE A.** (2014). Significance of vinasses waste management in agriculture and environmental quality-Review. *African Journal of Agricultural Research*, 9:2862-2873.