

Aplicación sustentable de vinaza en suelos del noroeste argentino



Ing. Agr. Carolina Sotomayor e Ing. Agr. Miguel Morandini
Sección Suelos. EEAOC

La vinaza y el suelo

En el mes de diciembre del 2011 la industria azucarera tucumana firmó el compromiso “Vinaza cero” en los cursos de agua a partir del 1° de abril del 2012. Esta decisión implicaba que el efluente industrial debía tener un destino diferente al vuelco en los cauces de ríos o canales provinciales que desembocan en el embalse de Termas de Río Hondo. Los destinos alternativos por entonces analizados fueron la metanización, el riego de caña de azúcar con vinaza diluida en agua, la aplicación de vinaza pura en caña de azúcar o en suelos salinos/sódicos y el compostaje.

Si tenemos en cuenta que la metanización -la obtención de metano a partir de la materia orgánica de la vinaza mediante digestión anaeróbica- es un proceso que genera un efluente de igual volumen y contenido salino que la propia vinaza incorporada al digestor como sustrato, y que el aprovechamiento de dichos efluentes incluye la aplicación de estos en los suelos, observamos que, directa o indirectamente, es el suelo el destino final de toda la vinaza producida.

En base a información obtenida por investigadores de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) durante las décadas de los 80 y 90 y sumando la obtenida a partir de investigaciones en curso, la EEAOC elaboró, por pedido de la Secretaría de estado de Medio Ambiente de la Provincia de Tucumán (SEMA), pautas de manejo de la vinaza destinadas minimizar los riesgos en los cultivos, el suelo y el medio ambiente provincial. Esas pautas se integraron en los protocolos contenidos en “Alternativas de disposición de la vinaza en los suelos de la provincia de Tucumán” y “Alternativas de manejo de la vinaza en la provincia de Tucumán, aplicación en suelos no productivos” utilizados como base

por la SEMA para la elaboración de las resoluciones 040/2011 y 047/2011 respectivamente.

■ Resolución SEMA N° 040/11 (Tucumán): Alternativas de manejo agrícola

a. Riego de caña de azúcar con vinaza diluida en agua

Esta alternativa prevé:

- La dilución de la vinaza en agua en relaciones superiores a 1/10
- La aplicación de láminas de riego tales que la cantidad de equivalente de vinaza cruda no supere los 150 m³/ha/año
- El diseño y manejo del riego según las pautas generales de diseño de riego por gravedad
- El monitoreo de los contenidos salinos de los suelos
- El monitoreo de los contenidos de sales totales y nitratos en las napas freáticas poco profundas
- El monitoreo de la relación entre los cationes de cambio

Esta alternativa es recomendada para lotes cañeros ubicados aguas abajo de las destilerías, especialmente si manifiestan contenidos bajos de potasio y materia orgánica. Su uso sería limitado para cañaverales desarrollados en suelos con contenidos de sales solubles cercanos a los críticos para caña de azúcar (2,5 dS/m).

b. Aplicación de vinaza cruda mediante sistemas presurizados en caña de azúcar

Esta alternativa prevé:

- Aplicación de vinaza cruda directamente sobre la trocha del surco cañero o sobre la totalidad del área bajo cultivo

Un subproducto de la producción de etanol

La vinaza es un compuesto líquido de PH ácido, resultante de la fermentación de jugos o mieles de caña de azúcar. De acuerdo a valores promedio generales, en su composición participarían el agua en un 90% y en el otro 10% sólidos. Entre los sólidos, un 30% son sales solubles en las que el principal catión es el potasio; el 70% restante es materia orgánica.

En Tucumán se producen anualmente 280.000 m³/año de etanol (zafra 2015-2016) generando alrededor de 3.000.000 m³/año de vinaza.

La riqueza en sales minerales de este efluente industrial y su composición orgánica hacen de la vinaza un compuesto que, bien utilizado, puede servir para su reutilización en el proceso fabril

- La aplicación se realizará mediante el uso de implementos aptos para distribución de líquidos presurizados (camión tanque regador modificado para la aplicación en la trocha, equipos tipo rolapi, aspersores fijos, etc.)
- La aplicación de láminas que no superen los 150 m³/ha/año. Si la aplicación se realiza solo a una determinada edad del cañaveral (ejemplo caña planta), las dosis de aplicación podrán ser superiores a los 150 m³/ha/año e inferiores a 600 m³/ha/año
- Que el diseño y manejo de los sistemas de aplicación cumplan con el objetivo de minimizar el impacto ambiental al menor costo posible
- El monitoreo de los contenidos salinos de los suelos
- El monitoreo de los contenidos de sales totales y nitratos en las napas freáticas poco profundas.

(ahorro en el consumo de agua industrial), para la obtención de otros subproductos que tengan valor comercial o bien aplicándola en suelos agrícolas para aprovechamiento de sus constituyentes. Sin embargo, por ese mismo contenido de materia orgánica y su salinidad, si no se trata adecuadamente puede resultar contaminante. Por tal razón, la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la provincia ha prohibido explícitamente el volcado directo de vinaza en cursos naturales de agua.

El nuevo paradigma a considerar es entonces: **“La vinaza es un subproducto útil de la destilación del alcohol etílico que se convierte en contaminante cuando se dispone inadecuadamente en el suelo o en cursos de agua”.**

- El monitoreo de la relación entre los cationes de cambio

Se recomienda para los lotes cañeros próximos a la destilería, especialmente si manifiestan contenidos bajos de potasio y materia orgánica. Su uso sería limitado para cañaverales desarrollados en suelos con contenidos de sales solubles cercanos a los críticos para caña de azúcar (2,5 dS/m).

■ Resolución SEMA N° 047/11 (Tucumán): Aplicación en suelos no productivos

Existen situaciones donde no es factible la aplicación en gran escala de vinaza en caña de azúcar debido a que los suelos circundantes a las destilerías poseen contenidos moderados de sales o capa freática próxima a la superficie, por lo que la aplicación del efluente podría elevar los tenores salinos por encima de los límites establecidos



Muestreo de suelos

Se deben realizar los muestreos pertinentes para evaluar el efecto que podría llegar a tener la vinaza en los suelos de nuestra provincia, recomendando considerar:

- Propiedades a analizar: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y cationes de cambio (Ca, Mg, Na y K).
- Profundidad de muestreo: 0-25, 25-50, 50-75, 75-100 cm, para el caso de suelos cañeros las dos primeras profundidades, y para el caso de suelos no productivos, todas.
- Fecha de muestreo:
 - Previo a las aplicaciones: abril -

mayo

- Posterior a las aplicaciones:
noviembre

- Densidad de muestreo:
 - Suelos cañeros: una muestra cada 50 ha
- Suelos no productivos: una muestra cada 20 ha

Es de singular importancia el monitoreo de las napas freáticas a fin de evaluar el efecto de las aplicaciones de vinaza en los contenidos de materia orgánica, nitratos y sales solubles; para ello se recomienda seguir los lineamientos de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la provincia de Tucumán.

para esta sacarífera, comprometiendo el potencial productivo de la fábrica. Colindando con áreas cañeras suelen existir áreas de suelo no productivos (generalmente salinos y/o sódicos) que podrían utilizarse como destino del efluente de la producción de alcohol, procurando así la evaporación del agua que contiene y que los elementos sólidos (orgánicos e inorgánicos) se concentren en la superficie del terreno.

Para cumplimentar con este objetivo el área llana de la provincia de Tucumán cuenta con dos elementos de singular importancia: un período del año (coincidente con el período de zafra) de marcado déficit hídrico, donde las condiciones atmosféricas favorecen la evaporación del agua, y una importante superficie de suelos no productivos que colindan con áreas cañeras. Dichos suelos presentan contenidos de sales solubles y/o predominio del catión sodio en magnitudes que imposibilitan la incorporación de estos a las actividades

agropecuarias tradicionales.

Para que esto se lleve a cabo es imprescindible el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- El período de aplicación está determinado por la existencia de déficits hídricos atmosféricos, los cuales se extienden frecuentemente entre los meses de junio y octubre, pudiendo en algunos años continuar durante el mes de noviembre.
- Las láminas y la frecuencia de aplicación deberán ser tales que el déficit de humedad atmosférico posibilite la evaporación del agua de la vinaza.

Experiencias realizadas por la EEAOC permiten establecer como lámina general mínima 10 mm de vinaza pura aplicados con una frecuencia semanal. Dicha lámina podría incrementarse durante los períodos más secos del año (septiembre, octubre y noviembre). Asimismo podrían realizarse

aplicaciones más frecuentes en los mencionados meses.

- El sistema de aplicación debe garantizar la homogénea distribución de la vinaza en el suelo a fin de favorecer la evaporación, de modo que se recomienda la aplicación del efluente por sistemas de aspersión presurizados fijos o móviles (rolapi, aspersores montados en camiones tanques, aspersores fijos, etc).

Si bien cualquier tipo de suelo puede ser destinado a este tipo de aplicación, es mejor hacerlo en suelos no productivos, especialmente sódicos y/o salinos, ya que la acumulación de vinaza en un suelo agrícola disminuiría la capacidad productiva del mismo en el corto plazo.

Este tipo de aplicación tendría una menor sustentabilidad ambiental que la aplicación en suelo cañero, ya que si bien los suelos a los que está destinado poseen limitantes severas para los cultivos, la incorporación de altos volúmenes de vinaza incrementan estas limitantes a pesar de la alta acumulación de materia orgánica. Esta alternativa requiere proseguir con las investigaciones locales ya que es una práctica con escasos antecedentes internacionales.

■ Dosis de vinaza en suelos cañeros

La determinación de la cantidad de vinaza a aplicar en un suelo debería tener en cuenta tanto sus aspectos positivos como los potencialmente peligrosos para el suelo y los cultivos, de forma que su uso mejore o al menos mantenga la capacidad productiva de los mismos.

■ Características potencialmente negativas

Salinidad

La principal característica de la vinaza que limita la cantidad aplicable en los suelos cañeros es

la elevada concentración de sales solubles, Aso y Cárdenas (1985) señalan que la conductividad eléctrica (CE) de la misma puede oscilar entre 12,9 y 65,2 dS/m según provenga de melado o melaza. El agua de riego de peligrosidad media tiene una CE 0,75 a 2,25 dS/m según el manual N° 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Si bien las sales aplicadas no contribuirán linealmente al aumento de la salinidad del suelo, se puede apreciar que la CE de la vinaza pura es entre 9 y 43 veces mayor a la de un agua de salinidad media, por lo que dosis mayores a 450 m³ pueden aportar suficiente cantidad de sales solubles como para afectar el cultivo de forma directa.

La cantidad de sales aplicable al suelo cañero dependerá de las características de este (contenidos salinos y textura principalmente) y del régimen de lluvias del de la región analizada. En la provincia de Tucumán se determinó que dosis de 150 a 300 m³/ha/año podrían ser aplicadas sin que se manifiesten alteraciones en el cultivo ni que se acumulen en el perfil del suelo con la aplicación sucesiva (Dantur *et al.*, 1996). Los mismos autores señalan que 600 m³ o más pueden ocasionar daños directos en el cultivo ya que incrementan los contenidos salinos por arriba de 2,5 dS/m.

Potasio

Si bien sobre este catión dijimos anteriormente que su adición al suelo podría considerarse un factor positivo al nutrir al cultivo en situaciones de suelos deficientes, la aplicación de altas dosis de vinaza podría originar la acumulación de potasio en los suelos y alterar así la relación de este catión con los cationes divalentes del suelo (calcio y magnesio), alterando propiedades físicas (conductividad hidráulica, porosidad, entre otras) y químicas (pH, disponibilidad de calcio y magnesio, etc.) del suelo (Fadda y Morandini, 2008). Este efecto está siendo monitoreado por la EEAOC



Situación negativa. Muestras de suelo a 150 cm de profundidad en sitio hasta donde la vinaza infiltró líquida 30 días antes del muestreo. Lámina anual de aplicación 6000 m³/ha.



Situación negativa. Suelo cañero donde se aplicó 600 m³/ha por aspersion.



Situación negativa. Suelo cañero donde se aplicó 600 m³/ha por aspersion. Se observa daño por efecto salino en el cultivo.



Situación negativa. Acumulación de sólidos (materia orgánica y sales) en el suelo luego de aplicado 6000 m³/ha/año. Foto tomada 30 días luego de la aplicación.



Situación negativa. Muestras de suelo a 0-30 cm (izquierda), 30-60 (centro) y 60-90 (derecha), 30 días después de finalizada la aplicación de 6000 m³/ha/año.



Situación negativa. Muestras de suelo a 0-30 cm (izquierda), 30-60 (centro) y 60-90 (derecha), 30 días después de finalizada la aplicación de 6000 m³/ha/año. Vista lateral de los primeros 15 cm de suelo.

en áreas donde la vinaza se aplica anualmente en dosis de 150 a 300 m³/ha/año, y luego de cinco años de aplicaciones la relación K/Ca+Mg se modificó ligeramente, por lo que las propiedades del suelo se mantienen estables. Solo el pH manifestó un incremento sostenido desde valores calificados como moderadamente ácidos a ligeramente ácidos o neutros, sobre todo en áreas donde los volúmenes aplicados fueron mayores a 150 m³/ha/año.

Teniendo en cuenta tanto las características positivas como las negativas de la vinaza antes señaladas, la EEAOC evaluó el efecto de dosis de aplicación que oscilan entre los 50 y 1000 m³/ha/año, resultando la dosis de 150 m³/ha/año la que equilibra de mejor forma ambos tipos de aportes.

Características potencialmente positivas

Nitrógeno

En las condiciones de Tucumán, la vinaza puede aportar cantidades apreciables de nitrógeno (N) orgánico, posibilitando disminuir la dosis de fertilizante entre el 50 y 100% (Dantur *et al.*, 1996) cuando se aplican dosis de 150 a 300 m³/ha/año.

Potasio

Dosis de 100 a 150 m³/ha/año de vinaza aportan cantidades de potasio (K) suficientes para nutrir al cultivo aun en suelos muy pobres en este elemento. Evaluaciones recientes realizadas en suelos de la región del pedemonte (Tabla 1) mostraron que la aplicación de vinaza incrementó los rendimientos del cultivo de la caña en forma similar a la aplicación de 60 kg/ha cloruro de potasio. Los suelos donde este comportamiento se manifiesta se caracterizan por tener texturas gruesas (franco arenoso a arenoso franco), reacción moderada a fuertemente ácida (pH menores a 6, generalmente ente 5 y 5,5) y valores de K menores a 6 Cmolc/kg.



Situación negativa. Muestras de suelo a 150 cm de profundidad en sitio hasta donde la vinaza infiltró líquida 30 días antes del muestreo. Lámina anual de aplicación 6000 m³/ha.



Cilindro de suelo.



Cilindros de suelo.



Situación positiva. Aspersión de vinaza.

Materia orgánica

Aso y Cárdenas (1985) señalan que las vinazas pueden contener entre el 27 y el 73% de materia orgánica (en base seca) según provengan de la fermentación de melado o mezcla jugo-melado o melaza. Trabajos internacionales y locales concuerdan en señalar los beneficios del aporte

Tabla 1. Suelos de la región del Pedemonte bajos en potasio.

Profundidad (cm)	pH	Textura	Mat. Org (%)	Potasio (Cmol/Kg)	Fósforo (ppm)	Salinidad (dS/m)
0-30	6,4	F. Arenoso	1,8	0,6	142	0,9
30-60	6,1	F. Arenoso	-	0,3	-	0,5





Situación positiva. Aspersión de vinaza.

de la materia orgánica proveniente de la vinaza en diversas propiedades físico químicas, **ya que de las interacciones de las partículas del suelo y la materia orgánica derivan el reciclaje de nutrientes, desarrollo de perfil, estabilidad de agregados, porosidad, capacidad amortiguadora del suelo, recepción, transformación e inactivación de contaminantes, sumado al hecho de que es el reservorio del nitrógeno mencionado anteriormente.**

Si se tiene en cuenta que Aso y Cárdenas (1985) informan que las vinazas en Tucumán pueden tener entre 3,3 y 14,3 kg/m³ de K₂O, las diferentes dosis de vinaza podrían aportar las cantidades de estos elementos recalculadas en la Tabla 2.

■ Investigaciones recientes

Evaluaciones recientes realizadas por la EEAOC en columnas de suelo donde se aplicaron dosis de 0, 10, 50, 100 y 150 m³/ha/año de vinaza proveniente de la fermentación de melazas manifestaron que los contenidos de sales solubles aumentan a medida que se incrementan las dosis de vinaza aplicada, presentando la mayor concentración en los primeros

Tabla 2. Aportes mínimos y máximos de nitrógeno, potasio y materia orgánica que realizarían diferentes dosis de vinaza.

Dosis (m ³ /ha)	Nitrógeno (Kg/ha)		Potasio (Kg/ha)		Materia orgánica (tn/ha)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
10	4,9	24,8	33	143	0,32	0,86
50	24,3	124,1	165	715	1,62	4,38
100	48,6	248,2	330	1430	3,24	8,76
150	72,9	372,3	495	2145	4,86	13,14
300	145,8	744,6	990	4290	9,72	26,28



Situación positiva. Suelo antes y después de la aplicación de 150 m³/ha de vinaza



10 cm. Los incrementos fueron significativos hasta los 30 cm y no significativos entre 30 y 60 cm.

La reacción del suelo (pH) se incrementó en todas las profundidades con el aumento de las dosis de vinaza aplicadas, desde neutro hacia moderadamente alcalino en los primeros 30 cm de profundidad.

Los contenidos de potasio registraron incrementos estadísticamente significativos a medida que mayores fueron las dosis de vinaza aplicada. Las mayores concentraciones se encontraron en los primeros 10 cm de profundidad, similar a lo que sucede con la conductividad eléctrica.

Tanto en la densidad aparente y conductividad hidráulica no se evidenciaron diferencias significativas.

Con respecto a los lixiviados, los valores de pH se fueron incrementando a medida que fueron sucediéndose los riegos con vinaza y agua. No hubo diferencias entre dosis de vinaza aplicada y el testigo solo regado con agua, sucediendo lo mismo al analizar la conductividad eléctrica. El potasio manifestó incrementos significativos en el percolado del tratamiento con 150 m³/ha/año de vinaza.

El suelo primero

La aplicación de vinaza en los suelos de la provincia de Tucumán no se utiliza aún como una alternativa de fertilización química -o en general de incremento de los contenidos orgánicos del suelo- que aproveche especialmente su riqueza en nitrógeno y/o potasio. Comenzó a practicarse y aún se practica para la simple disposición final de ese efluente industrial de la manera más amigable posible con el medio ambiente. La posibilidad de que su uso se extienda en el tiempo sin poner en riesgo la actividad sucroalcoholera depende de que

Situación positiva. Aspersor.



Situación positiva. Aplicación de vinaza por chorreado en suelo no productivo mediante tanque cisterna.



Situación positiva. Suelo cañero luego de la aplicación de 200 m³/ha/año.

se realice teniendo en cuenta tanto parámetros del cultivo como de las condiciones ambientales que deben preservarse, fundamentalmente las condiciones del suelo.

La información obtenida tanto en campo como en laboratorio evidencia la necesidad de aplicar en los suelos cañeros volúmenes controlados de vinaza y que los mismos pueden oscilar alrededor de los 150 m³/ha/año. La condición agroecológica de la región y el manejo del cultivo definen la dosis óptima a utilizar, con ajustes fundados en el monitoreo de los suelos.

Si tenemos en cuenta que una hectárea de caña de azúcar

produce 10 m³/ha/año de vinaza (fermentación de melaza) y que la dosis recomendada es de 150 m³/ha/año, se requeriría el 6,7 % de la superficie de caña molida como destino del 100 % de la vinaza producida. Un criterio aun más conservador implicaría destinar el 13,4 % de la superficie molida a la aplicación de 150 m³/ha cada dos años (6,7 % de la superficie un año y 6,7 % al año siguiente).

Si bien este enfoque resulta de una estrategia todavía simplista de manejo del efluente, permite hacer evidente el hecho de que es factible utilizar la vinaza en los suelos de una forma que resulte a la vez productiva y sustentable; y que permita, también, planificar

su uso por un número de años lo suficientemente amplio para dar lugar a la adecuación de otras técnicas de manejo como la metanización, la concentración, la combustión, la extracción de potasio u otras orientadas a convertir la vinaza, para los suelos en los que se aplique, en una verdadera enmienda química y/o física de valor económico, es decir, productivo y sustentable en el tiempo. La última garantía es la de la sustentabilidad del suelo.

Bibliografía citada

Aso, P. J. Y y G. Cárdenas. 1985.

Algunos aspectos del uso de la vinaza para el riego. Avance Agroind. 5 (20): 14-15.

Dantur, N.; J. Scandalariis: 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. Avance Agroind. 17 (1) : 38-41.

Fadda, G. y M. Morandini. 2008. El uso agrícola de la vinaza. Revisión de antecedentes y caracterización de las condiciones del área cañera tucumana para su aplicación. Publicación Especial N° 26. EEAOC

Sotomayor, C.; M. Morandini; G. A. Sanzano y H. R. Rojas Quinteros.

2016. Efecto de la aplicación de vinaza cruda en propiedades químicas y físicas del suelo. Resumen SATCA XX



Situación positiva. Brotación de la caña de azúcar en un suelo aplicado con 300 m³/ha.