



Interciencia

ISSN: 0378-1844

interciencia@ivic.ve

Asociación Interciencia

Venezuela

Hernández Melchor, Gloria I.; Salgado García, Sergio; Palma López, David J.; Lagunes-Espinoza, Luz del C.; Castelán Estrada, Mepivoseth; Ruiz Rosado, Octavio

Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México

Interciencia, vol. 33, núm. 11, noviembre, 2008, pp. 860-855

Asociación Interciencia

Caracas, Venezuela

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913613>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

VINAZA Y COMPOSTA DE CACHAZA COMO FUENTE DE NUTRIENTES EN CAÑA DE AZÚCAR EN UN GLEYSOL MÓLICO DE CHIAPAS, MÉXICO

Gloria I. Hernández Melchor, Sergio Salgado García, David J. Palma López,
Luz del C. Lagunes Espinoza, Mepivoseth Castelán Estrada y Octavio Ruiz Rosado

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la vinaza y composta de cachaza sobre las propiedades químicas del suelo, en la nutrición del cultivo, el rendimiento de caña, la calidad de los jugos y en el análisis comparativo de los costos de su uso como abonos orgánicos. El experimento fue realizado en el Ingenio Pujiltic, en Chiapas, México. Los tratamientos evaluados fueron vinaza de 150 y 250m³·ha⁻¹, fertilización química NPK (160-80-80), composta de cachaza de 15t·ha⁻¹ y un testigo, utilizando análisis de varianza. Los resultados muestran que las aplicaciones de vinaza y

composta no afectaron el pH, la conductividad eléctrica ni la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Se observó que los tratamientos de vinaza de 250m³·ha⁻¹ y composta de cachaza incrementaron los niveles de materia orgánica, K y P en el suelo. No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de tallos y la calidad de los jugos no se vio afectada. Los efectos de la vinaza y composta de cachaza sobre el suelo no afectaron sus propiedades químicas; sin embargo, un año de estudio es poco tiempo para determinar con precisión su efecto residual.

VINASSE AND FILTER CAKE COMPOST AS NUTRIENT SOURCE FOR SUGARCANE IN A MOLIC GLEYSOL OF CHIAPAS, MÉXICO

Gloria I. Hernández Melchor, Sergio Salgado García, David J. Palma López, Luz del C. Lagunes Espinoza,
Mepivoseth Castelán Estrada and Octavio Ruiz Rosado

SUMMARY

The effects of vinasse and filter cake compost were evaluated on the chemical properties of the soil, culture nutrition, sugarcane yield and juice quality, as well as on the comparative analysis of the costs of its use as an organic fertilizer. The experiment was carried out in the Pujiltic sugarmill, Chiapas, México. The treatments were vinasse of 150 and 250m³·ha⁻¹, NPK fertilization (160-80-80), filtercake compost fertilizer of 15t·ha⁻¹ and a control treatment. Variance analysis was used. The results show that the vinasse and compost fertilizer applications did not affect

the pH, the electrical conductivity or the cationic interchange capacity of the soil. Treatments with 250m³·ha⁻¹ filtercake vinasse and compost increased the levels of organic matter, K and P in the soil. There were no significant differences in the yield of stems and juice quality was not affected. Finally, the application of filtercake vinasse and compost fertilizer on the soil did not affect its chemical properties. However, a year of research is not enough time to determine with precision the residual effects of this product.

Introducción

El Ingenio Pujiltic, situado en Chiapas, México, produce en promedio 210600m³ de vinaza y 40500t de cachaza anualmente. La vinaza es vertida en los canales de riego de la zona aledaña al Ingenio. Con esta agua se han estado

regando 1500ha de caña durante algunos años, sin considerar la dosis de aplicación, la época y el posible impacto al suelo. La cachaza generalmente se deposita en las orillas de los caminos, produciendo malos olores e inclusive por las altas temperaturas se produce su quema.

La cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso de clarificación de los jugos de caña, que incluye materias terrosas e impurezas orgánicas. Por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30 a 50kg de cachaza (Salgado *et al.*, 2003a). Resultados obtenidos indican que la cachaza es

rica en N, P, K y Ca, y que su uso como abono favorece las propiedades físicas y químicas del suelo; incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo por la producción de humus, aumenta la capacidad de retención de humedad del mismo, y durante su descomposi-

PALABRAS CLAVE / Caña de Azúcar / Composta / Fertilización / Vinaza /

Recibido: 22/11/2007. Modificado: 19/09/2008. Aceptado: 23/09/2008.

Gloria I. Hernández Melchor. Maestría en Ciencias en Producción Agroalimentaria Topical, Colegio de Postgraduados (COLPOS), Tabasco, México. Directora del Centro de Apoyo para el Desarrollo Rural, Frontera, Tabasco, México.

Sergio Salgado García. Doctorado en Ciencias en Fertilidad de Suelos, COLPOS, México. Pro-

fesor Investigador, COLPOS, Tabasco, México. Dirección: Periférico Carlos A. Molina s/n km 3.5. H. Cárdenas, Tabasco, México. e-mail: salgados@colpos.mx

David J. Palma López. Doctorado en Ciencias en Génesis y Clasificación de Suelos, Institut National Polytechnique, Lorraine, Francia. Profesor

Investigador, COLPOS, Tabasco, México.

Luz del C. Lagunes-Espinoza, Doctorado en Ciencias en Biología y Agronomía, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Francia. Profesor Investigador, COLPOS, Tabasco, México.

Mepivoseth Castelán Estrada. Doctorado en Ciencias en

Ecofisiología Vegetal, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Francia. Profesor-Investigador, COLPOS, Tabasco, México.

Octavio Ruiz Rosado. Doctorado en Ciencias en Agroecología, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Londres, RU. Profesor-Investigador, COLPOS, Veracruz, México.

VINHAÇA E COMPOSTO DE CACHAÇA COMO FONTE DE NUTRIENTES EM CANA DE AÇUCAR EM UM SOLO GLEI MOLICO DE CHIAPAS, MÉXICO

Gloria I. Hernández Melchor, Sergio Salgado García, David J. Palma López, Luz del C. Lagunes Espinoza, Mepivoseth Castelán Estrada e Octavio Ruiz Rosado

RESUMO

Se avaliou o efeito da vinhaça e composto de cachaça sobre as propriedades químicas do solo, na nutrição do cultivo, o rendimento de cana, a qualidade dos sucos e na análise comparativa dos custos de seu uso como adubos orgânicos. O experimento foi realizado no Engenho Pujiltic, em Chiapas, México. Os tratamentos avaliados foram vinhaça de 150 e 250m³·ha⁻¹, fertilização química NPK (160-80-80), composto de cachaça de 15t·ha⁻¹ e um testemunho, utilizando análise de variância. Os resultados mostram que as aplicações de vinhaça e composto

não afetaram o pH, a condutividade elétrica nem a capacidade de intercâmbio catiônico do solo. Observou-se que os tratamentos de vinhaça de 250m³·ha⁻¹ e composto de cachaça incrementaram os níveis de matéria orgânica, K e P no solo. Não se encontraram diferenças significativas no rendimento de caules e a qualidade dos sucos não se viu afetada. Os efeitos da vinhaça e composto de cachaça sobre o solo não afetaram suas propriedades químicas; no entanto, um ano de estudo é pouco tempo para determinar com precisão seu efeito residual.

ción se produce gran cantidad de CO₂ que al transformarse en H₂CO₃ disuelve, junto con otros ácidos de origen orgánico, los nutrientes insolubles en suelos con pH alcalino (Zérega, 1993). El composteo de la cachaza es una alternativa que permite reducir las dosis de aplicación, facilitando su transporte y aplicación en campo, por lo que favorece el proceso de mineralización, lo cual a su vez permite una mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Arreola *et al.*, 2004).

Por otro lado, la vinaza constituye el principal residuo líquido producto de la fermentación de la melaza para la obtención de alcohol; por cada litro de alcohol producido se generan 13 litros de vinaza. (Cuellar *et al.*, 2002). Tiene elevadas concentraciones de K, Ca y materia orgánica disuelta, así como niveles medios de N y P. La dosis de 100m³·ha⁻¹ de vinaza incrementa los rendimientos de caña en un 23% en soca I y un 65% en soca II, así como también aumenta el rendimiento de azúcar en 22% en plantillas, 30% en soca I y 63% en soca II (Gómez y Rodríguez, 2000). En siete años de estudio se observó que la aplicación de vinaza promueve la lixiviación de K, Ca, Mg y S a través del tiempo, alcanzando profundidades de 0,75-3,5m, favoreciendo el desarrollo profundo de las raíces (Penatti *et al.*, 2005).

Profundidad (cm)	pH (H ₂ O) rel. 1:2	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	CIC
		%		mg·kg ⁻¹		cmol(+)·kg ⁻¹			
0-30	7,5	5,9	0,29	7,3	0,48	69,1	9,8	0,4	34,0
30-60	7,5	4,7	0,24	2,5	0,31	77,6	12,6	0,6	31,4

MO: materia orgánica, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Ante este panorama y considerando los antecedentes experimentales de la vinaza y composta de cachaza, se planteó el presente trabajo en busca de alternativas que permitan, al Ingenio Pujiltic, aprovechar de manera adecuada ambos subproductos, evitando impactos negativos al ambiente. Se evaluó su uso como fuente de nutrientes en cultivo caña de azúcar y su posible impacto en el suelo.

Materiales y Métodos

El estudio fue realizado de abril 2005 a abril 2006, en el

área de influencia del Ingenio Pujiltic, en Chiapas, México. Se evaluaron cinco tratamientos que consistieron en un testigo (sin fertilizante), vinaza (150 y 250m³·ha⁻¹), fertilización química (NPK 160-80-80), y 15t·ha⁻¹ de composta de cachaza, los que se aplicaron en fajas para ocupar toda la parcela del productor cooperante. Los tratamientos fueron establecidos en un Gleysol mólico, cuyo status nutricional antes de la aplicación de los tratamientos se muestra en la Tabla I. La variedad de caña establecida fue Méx 69-290,

ciclo resoca 3. La parcela experimental estuvo conformada por nueve surcos por 100m de largo con un espaciamiento entre surcos de 1,30m, dejando un surco entre cada tratamiento para evitar el efecto de borde. El largo de las parcelas se dividió en cinco subparcelas, que sirvieron como repeticiones, en donde se consideró como parcela útil los cinco surcos centrales de cada unidad experimental.

Los subproductos aplicados provienen del propio Ingenio Pujiltic. Se tomaron muestras de vinaza y composta para determinar su composición química (Tablas II y III). La vinaza fue transportada y aplicada desde un camión cisterna; la composta de cachaza se aplicó sobre las cepas; la dosis 160-80-80 se formuló con las fuentes urea + triple 17 (174 + 470kg·ha⁻¹, respectivamente),

TABLA II
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VINAZA, EXPRESADA EN KG M³, PRODUCIDA EN EL INGENIO PUJILTIC

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	MO	pH	CE
0,6	0,06	4	1,2	0,4	17	4,3	2,8 dS/m

MO: materia orgánica, CE: conductividad eléctrica.

TABLA III
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA COMPOSTA DE CACHAZA PRODUCIDA EN EL INGENIO PUJILTIC

pH (H ₂ O) rel. 1:2	CE dS·m ⁻¹	MO	N	P	Fe	Cu	Zn	K	Ca	Mg	Na	CIC
		%			mg·kg ⁻¹				cmol(+)·kg ⁻¹			
7,8	2,5	59,8	1,6	811	87,3	16	20,8	6,37	56,4	13,8	0,4	31,1

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

TABLA IV
PROPIEDADES DETERMINADAS EN LOS ANÁLISIS DE SUELO
Y MÉTODOS EMPLEADOS*

Análisis	Métodos	Lectura
pH	Relación 1:2 suelo:agua destilada.	Potenciómetro con electrodo de vidrio.
Materia orgánica (MO)	Walkley y Black	Titulación con FeSO ₄
Nitratos y amonios	Difusión de gas	EAA a 590nm
CIC	Tiurea de plata 0,01M	EAA a 328,1nm
N total	Semimicro-Kjeldahl	Titulación con H ₂ SO ₄
P asimilable	Olsen.	Cuantificación colorimétrica a 882nm
K	Tiurea de plata 0,01M	EAA a 328,1nm
Mn, Cu, Zn	DTPA	EAA

CIC: capacidad de intercambio catiónico, EAA: espectrofotometría de absorción atómica.

* NOM-021-RECNAT, 2001).

TABLA V
ELEMENTOS DETERMINADOS Y MÉTODOS EMPLEADOS
EN EL DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE CAÑA DE AZÚCAR A LOS 4 MESES*

Análisis	Método	Lectura
Nitrógeno total	Kjeldahl	Titulación con H ₂ SO ₄
K, Ca, Mg, Fe, Zn y Cu	Digestión con HNO ₃ .HClO ₄	Cuantificación por EAA
P total	Digestión con HNO ₃ .HClO ₄	Cuantificación colorimétrica a 470nm
B	Azometina-H	Cuantificación con espectrofotómetro a 420nm

EAA: espectrofotometría de absorción atómica. * Jones *et al.* (1991).

siendo aplicada en banda sobre el surco de caña. La aplicación de los tratamientos se realizó después del destronque.

Variables evaluadas

Dinámica de nutrientes del suelo. Para observar la dinámica de nutrientes se tomaron muestras de suelo a los 15, 30, 60, 90, 120 y 360 días, usando barrena de acero inoxidable a una profundidad de 0-30cm. La muestra de suelo fue compuesta; se tomaron dos submuestras en el surco y dos en el entresurco (Salgado *et al.*, 2006a). Las submuestras se mezclaron en una cubeta para homogeneizarlas y de ahí se tomó 1,0kg de suelo, el cual fue enviado al Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. En la Tabla IV se muestran las propiedades determinadas, así como los métodos empleados de acuerdo a lo establecido por la NOM-021-RECNAT (2001).

Diagnóstico nutricional. Para el diagnóstico nutricional se realizó el muestreo foliar a los cuatro meses de edad, toman-

do la hoja 4 (Salgado *et al.*, 2006a) por medio de tijeras de acero inoxidable y guardando las muestras en bolsas de papel perforadas. Las muestras fueron secadas a 70°C durante 48h, después fueron molidas y tamizadas (2mm). En la Tabla V se muestran los elementos determinados y los métodos empleados (Jones *et al.*, 1991).

Rendimiento. Para conocer el rendimiento de caña se realizó la cosecha en abril 2006. Se cosecharon 10m lineales de tallos por unidad experimental. En campo se pesó el rendimiento total expresado en kg, separando la materia seca del tallo.

Calidad de jugos. La calidad del jugo de caña se define por los grados Brix, pureza, sacarosa y azúcares reductores, cuyos análisis fueron realizados en el laboratorio de campo del Ingenio Pujiltilic.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete SAS versión 9.1 (1995). Se llevó a cabo un análisis de varianza

asumiendo como tratamientos a los abonos. El análisis de varianza fue realizado con tres repeticiones para la dinámica de nutrientes, cuatro repeticiones para el diagnóstico nutricional y cinco repeticiones para el análisis de rendimiento. Cuando se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos se realizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Martínez, 1988).

Análisis económico

El análisis económico fue realizado con el método propuesto por el CIMMYT (1988), considerando los rendimientos obtenidos, precio de la caña de azúcar, costos de los abonos y fertilizantes, transporte y mano de obra para su aplicación.

Resultados y Discusión

Dinámica de nutrientes

La Tabla VI muestra el comportamiento de las propiedades químicas del suelo en las seis fechas de muestreo. Se observa que durante

los primeros 30 días después de la aplicación de los tratamientos (DAT) el pH no se vio afectado. A los 60 días el pH incrementó en 0,06 unidades respecto al testigo con el tratamiento composta, aumentando a 0,13 unidades a los 90 días. En las siguientes fechas no hubo diferencias entre tratamientos. El comportamiento del pH con el uso de vinaza fue similar al testigo durante las seis fechas de muestreo, por lo que se puede deducir que no afectó dicha propiedad. Este comportamiento coincide con lo reportado por Subirós y Molina (1992), quienes encontraron que en un año de observaciones el pH se mantuvo relativamente estable. El pH no cambió de clase en ningún tratamiento, siendo moderadamente alcalino desde el inicio del experimento (Tabla I).

La aplicación de vinaza y composta no afectó los niveles de conductividad eléctrica (CE) en el suelo y los valores encontrados indican efectos nulos por salinidad. Sin embargo, se sugiere observar el efecto residual por un tiempo más prolongado, ya que tanto la vinaza como la composta presentan una CE>2dS·m⁻¹ (Tablas II y III). Se observa que las fuentes de fertilización no modificaron la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los valores encontrados se consideran altos. De ello se deduce que las aplicaciones de vinaza y cachaza no alteraron la CIC, manteniéndola estable. Con el uso de vinaza de 250m³·ha⁻¹ y composta se observó que a los 30 días DAT incrementó el contenido de materia orgánica (MO), clasificándose como muy alto y, disminuyendo a partir de los 60 días debido probablemente al proceso de mineralización que ocurre en el suelo por la acción de bacterias (Danya, 2000).

De los 15 a los 120 días DAT el N (0,15-0,25 y >0,25%) se clasifica como rico y muy rico según NOM-021-RECNAT (2001) mostrando incrementos a los 350 días, lo cual se atribuye al incremento de temperatura provocado por

TABLA VI
 DINÁMICA DE NUTRIENTES EN UN AÑO DE OBSERVACIONES,
 CON DIFERENTES FUENTES DE FERTILIZACIÓN EN UN GLEYSOL MÓLICO

Muestreos	Fuentes de fertilización (FF)	pH-H ₂ O Rel. 1:2	CE dS m ⁻¹	MO %	N %	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	Cu	Mn	Zn	CIC cmol (+) kg ⁻¹	K kg ⁻¹
								mg·kg ⁻¹					
15 DDA	Testigo	7,46 a	0,54 ab	5,6 a	0,30 a	27,6 a	14,7 b	6,5 b	1,3 a	12,7 a	0,4 a	32,7 a	0,54 b
	Vinaza (150m ³ ·ha ⁻¹)	7,45 a	0,58 a	5,5 a	0,27 a	23,9 a	22,9 ab	5,1 b	1,5 a	13,1 a	0,4 a	32,6 a	0,61 b
	Vinaza (250m ³ ·ha ⁻¹)	7,50 a	0,62 a	5,6 a	0,28 a	24,4 a	17,7 ab	6,9 ab	1,8 a	21,9 a	0,3 a	32,6 a	0,97 a
	NPK 160-80-80	7,45 a	0,48 ab	5,7 a	0,28 a	17,4 a	38,9 a	19,9 a	0,9 a	11,7 a	0,3 a	32,5 a	0,44 b
	Composta (15t·ha ⁻¹)	7,61 a	0,36 b	5,1 a	0,28 a	18,5 a	35,2 a	8,3 ab	0,9 a	9,6 a	0,3 a	32,6 a	0,39 b
	Prueba de F, de FF:	0,07 ns	0,01**	0,84 ns	0,63 ns	0,19 ns	0,01*	0,01**	0,20 ns	0,32 ns	0,90 ns	0,93 ns	0,01**
	CV (%):	0,8	14,0	10,0	6,0	23,8	32,6	49,0	36,6	51,4	39,8	0,6	21,0
30 DDA	Testigo	7,60 a	0,38 b	4,4c	0,25 a	26,3 b	10,3 a	5,2 b	0,9 b	9,6 b	0,3 a	32,7 a	0,43 c
	Vinaza (150m ³ ·ha ⁻¹)	7,51 a	0,50 ab	5,2 bc	0,26 a	50,7 a	8,7 a	9,2 ab	1,1 b	16,5 ab	0,3 a	32,7 a	0,74 b
	Vinaza (250m ³ ·ha ⁻¹)	7,48 a	0,58 a	6,2 a	0,27 a	56,6 a	8,2 a	6,5 b	2,1 a	26,2 a	0,4 a	32,7 a	1,10 a
	NPK 160-80-80	7,52 a	0,37 b	5,3 ab	0,25 a	65,4 a	7,3 a	8,1 ab	0,8 b	8,2 b	0,7 a	32,8 a	0,62 bc
	Composta (15t·ha ⁻¹)	7,56 a	0,36 b	6,1 ab	0,28 a	70,8 a	9,5 a	13,3 a	1,0 b	9,6 a	0,5 a	32,8 a	0,63 bc
	Prueba de F, de FF:	0,11 ns	0,01**	0,01**	0,45 ns	0,01**	0,69 ns	0,01**	0,01**	0,01**	0,08 ns	0,98 ns	0,01**
	CV (%):	0,6	14,4	6,2	8,6	14,3	30,0	22,0	18,4	33,8	40,5	0,3	14,5
60 DDA	Testigo	7,65 abc	0,36 a	4,9 a	0,22 a	70,1 a	26,6 ab	8,7 a	1,1 a	6,7 a	0,2 a	32,6 a	0,50 b
	Vinaza (150m ³ ·ha ⁻¹)	7,63 c	0,41 a	5,1 a	0,27 a	83,1 a	45,8 a	8,8 a	1,3 a	8,3 a	0,2 a	32,7 a	0,59 ab
	Vinaza (250m ³ ·ha ⁻¹)	7,64 bc	0,39 ab	5,4 a	0,25 a	65,2 a	10,5 a	9,1 a	1,5 a	6,2 a	0,2 a	32,7 a	0,74 a
	NPK 160-80-80	7,73 a	0,25 ab	5,2 a	0,24 a	75,8 a	7,5 b	10,1 a	1,3 a	6,7 a	0,2 a	32,7 a	0,55 ab
	Composta (15t·ha ⁻¹)	7,71 ab	0,22 b	5,5 a	0,27 a	65,2 a	7,8 b	12,8 a	1,3 a	7,3 a	0,3 a	32,7 a	0,48 b
	Prueba de F, de FF:	0,01**	0,01**	0,82 ns	0,17 ns	0,46 ns	0,01**	0,09 ns	0,64 ns	0,56 ns	0,97 ns	0,95 ns	0,02*
	CV (%):	0,4	19,0	9,0	9,2	18,4	57,9	18,0	22,0	22,0	28,7	0,4	14,6
90 DDA	Testigo	7,67 b	0,38 a	4,8 a	0,26 a	60,5 a	6,3 a	11,6 a	2,0 a	11,0 a	0,2 a	32,6 a	0,55 ab
	Vinaza (150m ³ ·ha ⁻¹)	7,67 b	0,36 ab	4,9 a	0,26 a	60,0 a	6,3 a	10,8 a	2,0 a	7,7 a	0,2 a	32,7 a	0,57 ab
	Vinaza (250m ³ ·ha ⁻¹)	7,72 ab	0,31 ab	5,0 a	0,26 a	52,6 ab	9,3 a	9,7 a	1,9 a	5,0 a	0,2 a	32,8 a	0,76 a
	NPK 160-80-80	7,75 ab	0,29 ab	5,0 a	0,27 a	51,3 ab	11,5 a	9,4 a	1,7 a	6,1 a	0,1 a	32,7 a	0,43 b
	Composta (15t·ha ⁻¹)	7,80 a	0,16 b	5,2 a	0,27 a	20,7 b	9,3 a	10,2 a	1,3 a	6,1 a	0,1 a	32,6 a	0,43 b
	Prueba de F, de FF:	0,02*	0,02*	0,38 ns	0,72 ns	0,03*	0,46 ns	0,75 ns	0,17 ns	0,28 ns	0,67 ns	0,64 ns	0,01**
	CV (%):	0,5	22,6	7,3	7,2	28,0	45,0	22,0	20,0	46,0	35,1	0,5	16,5
120 DDA	Testigo	7,75 a	0,40 a	4,9 a	0,23 a	23,2 b	58,3 a	3,3 b	0,5 b	6,2 a	0,1 a	32,7 a	0,42 b
	Vinaza (150m ³ ·ha ⁻¹)	7,76 a	0,24 bc	5,2 a	0,24 a	53,5 a	65,9 a	4,8 b	0,8 ab	6,1 a	0,6 a	32,6 a	0,58 ab
	Vinaza (250m ³ ·ha ⁻¹)	7,79 a	0,32 ab	5,4 a	0,26 a	26,8 ab	10,6 a	5,0 b	1,3 a	7,9 a	0,4 a	32,6 a	0,80 a
	NPK 160-80-80	7,84 a	0,18 bc	5,0 a	0,25 a	33,9 ab	52,4 a	5,5 b	0,6 b	7,2 a	0,3 a	32,6 a	0,37 b
	Composta (15t·ha ⁻¹)	7,76 a	0,16 c	5,4 a	0,26 a	36,7 ab	18,4 a	9,8 a	0,6 b	6,4 a	0,5 a	32,6 a	0,44 b
	Prueba de F, de FF:	0,30 ns	0,01**	0,86 ns	0,78 ns	0,03*	0,04*	0,01**	0,01**	0,50 ns	0,52 ns	0,64 ns	0,01**
	CV (%):	0,7	21,0	8,7	16,2	28,0	53,3	23,7	29,4	28,2	32,0	0,5	20,8
350 DDA	Testigo	7,57 a	0,49 a	4,9 a	0,66 a	27,1 a	68,9 a	4,1 a	0,8 b	16,7 a	0,2 a	32,6 a	2,76 a
	Vinaza (150m ³ ·ha ⁻¹)	7,56 a	0,31 b	5,0 a	0,67 a	39,6 a	6,0 a	4,4 a	0,9 ab	16,1 a	0,2 a	32,8 a	2,84 a
	Vinaza (250m ³ ·ha ⁻¹)	7,59 a	0,33 b	5,1 a	0,70 a	32,1 a	9,2 a	4,0 a	1,5 a	18,6 a	0,3 a	32,9 a	3,53 a
	NPK 160-80-80	7,57 a	0,28 b	4,8 a	0,65 a	30,0 a	34,1 a	3,4 a	0,8 ab	15,8 a	0,1 a	32,8 a	2,71 a
	Composta (15t·ha ⁻¹)	7,54 a	0,23 b	5,0 a	0,67 a	31,2 a	15,1 a	4,9 a	1,0 ab	15,8 a	0,3 a	32,8 a	2,39 a
	Prueba de F, de FF:	0,93 ns	0,01**	0,45 ns	0,94 ns	0,35 ns	0,42 ns	0,63 ns	0,01**	0,89 ns	0,19 ns	0,50 ns	0,11 ns
	CV (%):	1,2	14,5	10,1	11,2	22,2	161,9	27,0	20,9	24,3	33,0	0,6	16,0

DDA: días después de la aplicación, CC: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, letras iguales en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos, **: diferencias altamente significativas, *: diferencias significativas, ns: no significativo, CV: coeficiente de variación.

la época de sequía, que pudo favorecer una mayor mineralización de MO y liberación de N. No se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. La liberación de NH₄⁺ fue dominante a los 30, 60 y 90 días DAT, lo cual coincide con la mineralización de la MO. Estas concentraciones se clasificaron como

altas (40-60mg·kg⁻¹; NOM-021-RECNAT, 2001). Después de los 120 días la concentración de amonio disminuye y su contenido se clasifica como medio (20-40mg·kg⁻¹). En relación al nitrato se observa que los contenidos son menores en comparación de los de amonio, debido al exceso de humedad en el suelo que favorece la pre-

sencia de la forma amoniacal y a la absorción por el cultivo. Danya (2000) encontró que en suelos fertilizados con vinazas durante 10 años no se produjo contaminación por NO₃⁻ en los mantos acuíferos, ya que este nitrógeno fue inmovilizado por la biomasa microbiana.

Las fuentes de fertilizantes incrementaron el contenido

de P en el suelo en comparación del testigo. De los 30 a los 60 días los niveles de P mostraron incrementos, siendo la fertilización con composta la que mostró contenidos clasificados como altos (>11mg·kg⁻¹; NOM-021-RECNAT, 2001), los cuales disminuyeron a partir de los 90 días. Los tratamientos

con vinaza y fertilizante químico presentaron contenidos medios (5,5-11mg·kg⁻¹; NOM-021-RECNAT, 2001). El contenido de K se vio favorecido con las aplicaciones de vinaza de 250m³·ha⁻¹, el cual a los 15 días alcanzo un contenido de 0,43cmol(+)-kg⁻¹ más que el testigo, y a los 30 días el aumento fue mayor (0,67cmol(+)-kg⁻¹), mostrando disminución a partir de los 60 días, lo cual es de esperarse debido a la absorción por el cultivo. Este comportamiento confirma lo reportado por otros autores (Gómez, 1992; Cuellar *et al.*, 2002; Pennatti *et al.*, 2005), quienes sugieren que la vinaza puede considerarse como fuente de K para el cultivo de caña, ya que alcanza a satisfacer la demanda del cultivo. En el muestreo final el contenido de K se incrementó considerablemente en las muestras de suelo, debido posiblemente a un proceso de contaminación por las cenizas de la caña, la cual es rica en ese elemento.

La concentración de Cu se clasifica como marginal (0,2-2,0mg·kg⁻¹; NOM-021-RECNAT, 2001), lo cual confirma lo reportado por Salgado *et al.* (2006b), quienes recomiendan la aplicación de 3kg·ha⁻¹ de sulfato de cobre. La concentración de Mn en el suelo se considera adecuado (>1,0mg·kg⁻¹; NOM-021-RECNAT, 2001) en todos los tratamientos; sin embargo, la dosis de vinaza de 250m³·ha⁻¹ presentó los mayores contenidos de los 15 a los 30 días. Los contenidos de Zn se clasifican como marginales (0,5-1,0mg·kg⁻¹; NOM-021-RECNAT, 2001), en todos los tratamientos.

Diagnóstico nutricional

En la Tabla VII se muestran los contenidos nutricionales en tejido vegetal a los cuatro meses del cultivo. Se encontraron deficiencias de N, Cu y Zn en todos los tratamientos (Jones *et al.*, 1991). La deficiencia de N

TABLA VII
CONTENIDO DE NUTRIENTES EN TEJIDO VEGETAL A LOS CUATRO MESES DE EDAD, CON DIFERENTES FUENTES DE FERTILIZACIÓN EN UN GLEYSOL MÓLICO

Fuentes de fertilización (FF)	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	B
	%			mg·kg ⁻¹					
Testigo	1,37 b	0,13 b	0,93 c	1,46 a	0,24 a	3,5 a	113,5 ab	10,2 a	21,9 a
Vinaza (150m ³ ·ha ⁻¹)	1,49 b	0,14 b	1,26 a	1,14 b	0,21 ab	2,8 a	117,5 ab	14,1 a	22,9 a
Vinaza (250m ³ ·ha ⁻¹)	1,73 a	0,18 a	1,06abc	0,88 c	0,16 b	3,0 a	153,5 a	10,1 a	19,0 a
NPK 160-80-80	1,68 a	0,19 a	1,04 ab	0,94 bc	0,23 a	3,4 a	102,5 ab	8,6 a	15,2 a
Composta (15t·ha ⁻¹)	1,68 a	0,19 a	0,90 c	1,06 bc	0,23 a	3,9 a	94,5 b	10,1 a	14,9 a
Medias	1,6	0,17	1,03	1,1	0,2	3,3	116,0	10,7	18,7
CV (%)	5,1	7,7	8,2	8,9	9,9	26,3	18,0	34,0	18,9
Prueba de F para FF:	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,43 ns	0,02*	0,33 ns	0,02*
DSM	0,17	0,02	0,18	0,24	0,05	1,9	45	7,9	7,7

CV: coeficiente de variación, DSM: diferencia mínima significativa, letras iguales en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos, **: diferencias altamente significativas, *: diferencias altamente significativas, ns: no significativo.

se debe posiblemente a que la disponibilidad de nitratos en el suelo se vio reducida por los excesos de humedad entre los 30 y 90 días DAT. Las deficiencias de Cu y Zn, eran de esperarse debido a que los contenidos en el suelo son marginales (Salgado *et al.*, 2006b).

Al fertilizar con vinaza de 250m³·ha⁻¹, fertilizante químico y composta, el contenido de P fue óptimo para el cultivo de caña. La fertilización con vinaza de 150m³·ha⁻¹ suministró niveles óptimos de K para el cultivo. Los contenidos de Ca, Mg, Fe y B son óptimos en todos los tratamientos. De lo anterior se deduce que el uso de vinaza y composta de cachaza reflejan un comportamiento de nutrientes similar a los que presenta el testigo y la fertilización química, mejo-

rando la disponibilidad de K y P (Zérega *et al.*, 2006).

Rendimiento y calidad de jugos

En la Tabla VIII se puede apreciar que en el rendimiento de caña no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. Sin embargo, la fertilización química y la composta superan al testigo y a los tratamientos de vinaza con 33 y 11t·ha⁻¹, respectivamente. La respuesta con la vinaza en el rendimiento de tallos es igual al testigo, lo que confirma lo reportado por Berrocal (1988), quien lo atribuye a la fertilidad del suelo, no obstante que ese autor complementó las dosis de vinaza con 135kg·ha⁻¹ de N. Por el contrario, Gómez y Rodríguez (2000) en un suelo Fluvisol de Lara, Ve-

nezuela, encontraron respuesta significativa a la aplicación de 100m³·ha⁻¹ de vinaza + la dosis de fertilización 180-160-220, tratamiento que produjo en promedio 120t·ha⁻¹ de caña, mientras que cuando solo se aplicó 100m³·ha⁻¹ de vinaza el rendimiento fue de 101t·ha⁻¹ y en el testigo sin fertilizante fue de 74t·ha⁻¹, durante tres ciclos de cultivo de caña, lo cual refleja el efecto benéfico de la aplicación de vinaza sola. Sin embargo, cuando un suelo no tiene aportes nutrimentales, al paso de algunos años, podría empezar a perder fertilidad, lo cual desde el punto de vista de la sostenibilidad no es deseable (Salgado *et al.*, 2003a; Dematte *et al.*, 2005).

La Tabla VIII muestra que, estadísticamente, la vinaza y la composta mantuvieron la

TABLA VIII
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE JUGOS DE CAÑA DE AZÚCAR CON DIFERENTES TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN EN UN GLEYSOL MÓLICO

Fuentes de fertilización (FF)	Producción caña (t·ha ⁻¹)	Grados Brix	Sacarosa	Pureza	Azúcares reductores	Fibra	Humedad
					(%)		
Testigo (0-0-0)	100 a	18,0 a	15,93 a	88,1 a	0,35 a	14,2 a	72,9 a
Vinaza 150m ³ ·ha ⁻¹	100 a	17,5 a	15,86 a	90,3 a	0,41 a	14,4 a	71,6 a
Vinaza 250m ³ ·ha ⁻¹	100 a	17,4 a	15,66 a	90,0 a	0,32 a	14,7 a	71,5 a
NPK 160-80-80	133 a	17,4 a	15,51 a	89,1 a	0,36 a	14,5 a	71,6 a
Composta 15t·ha ⁻¹	111 a	†	†	†	†	†	†
CV (%):	22,3	4,2	9,9	1,8	22,3	5,1	1,3
Media:	106	17,5	15,6	89,3	0,37	14,3	71,8
Prob. de F. para FF:	0,15 ns	0,68 ns	0,78 ns	0,48 ns	0,54 ns	0,30 ns	0,24 ns
DSH	49,3	1,7	1,5	3,8	0,19	1,7	2,2

Letras iguales en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos, ns: no significativo. † El laboratorio de campo del ingenio Pujilic no entregó resultados de esta muestra.

TABLA IX
ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN
EN CAÑA DE AZÚCAR, PUJILITIC

Fuente de fertilización	Rendimiento (t-ha ⁻¹)	CV (\$Mex/ha ⁻¹)	Ingreso (\$Mex/ha ⁻¹)	Incremento rendimiento (t-ha ⁻¹)	Incremento ingreso (\$Mex/ha ⁻¹)	TRCV (\$Mex/ha ⁻¹)
Testigo	100	-	41702	-	-	-
Vinaza 150m ³ ·ha ⁻¹	100	5250	41702	0	0	0
Vinaza 250m ³ ·ha ⁻¹	100	8750	41702	0	0	0
NPK: 160-80-80	133	2987	55463,6	33	13761,6	4,61
Composta 15t·ha ⁻¹	111	4160	46289,2	11	4587,2	1,1

CV: capital variable, TRCV: tasa de retorno de capital variable.

calidad del jugo de la caña de azúcar igual al obtenido con la fertilización química, lo que confirma lo observado por Berrocal (1988) utilizando cachaza y vinaza, por Subirós y Molina (1992) durante dos años de aplicación de vinaza; por Salgado *et al.* (2003b) evaluando diferentes niveles de N; y por Zérega *et al.* (2006) al utilizar vinaza más fertilización química.

Análisis económico

El análisis económico realizado refleja que los tratamientos con vinaza resultan ser los más costosos por el tipo de aplicación usado (Tabla IX); sin embargo, cuando ésta se toma de los canales solo tendría el costo del riego con las ventajas de mantener la fertilidad del suelo y favorecer una mayor exploración del suelo por las raíces de la caña de azúcar (Penatti *et al.*, 2005). En un Vertisol del ingenio Taboga de Venezuela, a pesar de no haber diferencias significativas en el rendimiento de caña, Berrocal (1988) determinó que la dosis de 120m³·ha⁻¹ fue la que produjo los mayores ingresos; en el presente caso, fue la dosis de 150m³·ha⁻¹ la que produjo 100t·ha⁻¹ de caña. La fertilización química sigue siendo la más económica; pero esta carece de los efectos benéficos residuales que sobre el suelo ejercen la composta y vinaza (Dematté *et al.*, 2005). La tasa de retorno de capital variable (TRCV) más alta se logró con la fertilización química e indica que

por cada peso que el productor invierte en fertilizar recupera 4,6. Esto refleja la alta rentabilidad de la fertilización en el cultivo de la caña de azúcar (CIMMYT, 1988).

Conclusiones

En un año de observación, la aplicación de vinaza y composta de cachaza no afecta el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico del Gleysol mólico. El contenido de materia orgánica mejora temporalmente con la aplicación de vinaza y composta. La dosis de vinaza de 250m³·ha⁻¹ incrementó el contenido de K y la composta de cachaza incrementa el contenido de P. El uso de vinaza y composta de cachaza como abonos en el cultivo de caña de azúcar, resultan ser una alternativa viable para el aprovechamiento de ambos subproductos, sin alterar el ambiente y con posibilidad de que su uso pueda satisfacer la demanda nutricional del cultivo de la caña de azúcar. Para mejorar estas recomendaciones es necesario evaluar el efectos de estos residuos por un mayor número de años.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Produce Chiapas A.C. y a la Asociación Local de Productores de Caña de Azúcar de la CNPR del Ingenio Pujiltilic, por su apoyo económico y logístico en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Arreola EJ, Palma LDJ, Salgado GS, Camacho ChW, Obrador OJJ, Juárez LJF, Pastrana AL (2004) Evaluación de abono órgano mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoam.* 22: 351-357
- Berrocal M (1988) Efecto de los residuos de la industria azúcar-alcoholera, bagazo, cachaza y vinaza, en la producción de caña y azúcar en un vertisol de Guanacaste. *Agron. Costarric.* 12: 147-153.
- CIMMYT (1988) *La Formulación de Recomendaciones a Partir de Datos Agronómicos: Un Manual Metodológico de Evaluación Económica*. Ed. revisada. CIMMYT. México. 79 pp.
- Cuellar AI, Villegas DR, León OM, Pérez IH (2002) *Manual de Fertilización de la Caña de Azúcar en Cuba*. Publica. La Habana, Cuba. pp. 88-92.
- Danya JF (2000) Nitrate retention and leaching in variable charge soils of a watershed in Sao Paulo State. Brazil. *Soil Sci. Plant Anal.* 31: 777-791.
- Dematté JAM, Ligia de Sousa SM, Crusoe RG, Alves CL, Formaggio AR, Pittol FL (2005) Variações espectrais em solos submetidos à aplicação de torta de filtro. *Rev. Bras. Cien. Solo* 29: 317-326.
- Gómez TJM (1992) Efecto de la vinaza sobre el contenido de potasio intercambiable en un suelo representativo del área cañera del Río Turbio. *Venezuelos* 3: 69-72.
- Gómez J, Rodríguez O (2000) Effects of vinasse on sugarcane (*Saccharum officinarum*) productivity. *Rev. Fac. Agron. LUZ* 17: 318-326.
- Jones BJ, Wolf, Mills HA (1991) *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro. Athens, GA, EEUU. 213 pp.
- Martínez GA (1988) *Diseños Experimentales: Métodos y*

Elementos de Teoría. Trillas. México. 756 pp.

NOM-021-RECNAT (2001) *Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 88 pp.

Penatti CP, De Araújo JV, Donzelli JL, De Souza AS, Forti JA, Ribeiro R (2005) Vinasse: A liquid fertiliser. *Proc. XXV Cong. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* Vol. 1. pp. 403-411.

Salgado GS, Bucio AL, Riestra DD, Lagunes ELC (2003a) *Caña de Azúcar: Hacia un Manejo Sustentable*. Colegio de Postgraduados. Tabasco, México. 369 pp.

Salgado GS, Núñez ER, Peña CJJ, Etchevers BJD, Palma LDJ, Soto MR (2003b) manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. *Interiencia* 28: 576-580.

Salgado GS, Palma LDJ, Lagunes ELC, Castelan EM (2006a) *Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis*. ISPROTAB/Colegio de Postgraduados. Tabasco, México. 90 pp.

Salgado GS, Palma LDJ, Zavala CJ, Lagunes ELC, Castelan EM, Ortiz GCF, Juárez LJF, Rincón RJA (2006b) *Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes en Caña de Azúcar*. Ingenio Pujiltilic/Colegio de Postgraduados. Tabasco, México. 105 pp.

SAS Institute (1995) *SAS/STAT User's guide: Statistics*. Release 6.11 SAS Institute. Cary North Carolina. USA. 1028 pp.

Subirós JF, Molina E (1992) Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un inceptisol. *Agron. Costarricense* 16: 55-60.

Zérega ML (1993) Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *Caña de Azúcar*. 11: 1-13.

Zérega ML, Echner E, Hernández T, Arrieche A, Franco N, López A (2006) Efecto de la vinaza y la fertilización química sobre el suelo y tres variedades de caña de azúcar en Venezuela. *VI Cong. Asoc. de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe (ATALAC)*. Guayaquil, Ecuador. Vol. 1. pp. 249-261.