



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO DE PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL
TRÓPICO

VINAZA Y COMPOSTA DE CACHAZA COMO
FUENTES DE NPK EN CAÑA DE AZÚCAR

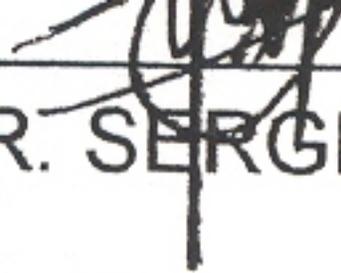
GLORIA ISELA HERNANDEZ MELCHOR

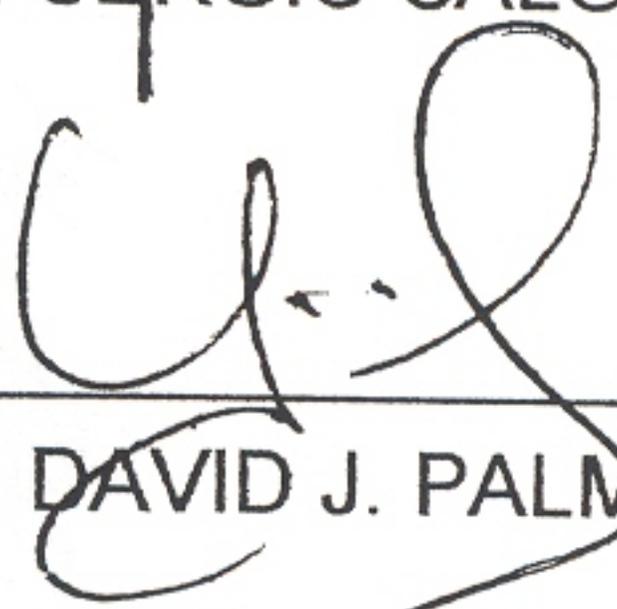
T E S I S

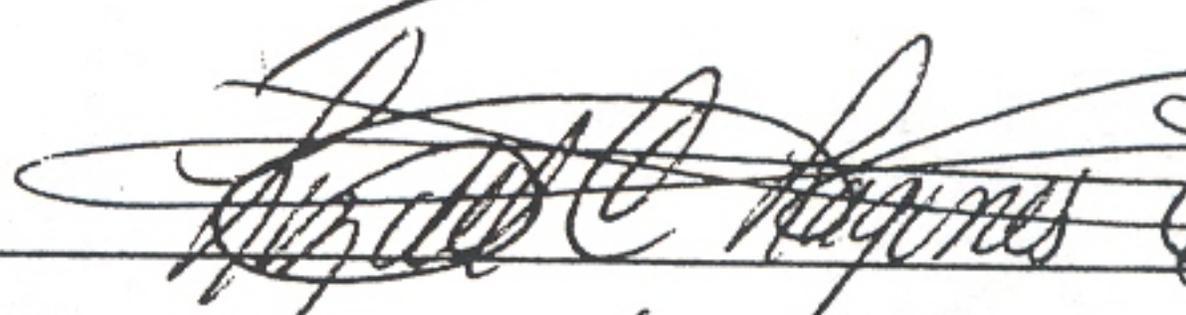
PRESENTADA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE :

MAESTRA EN CIENCIAS

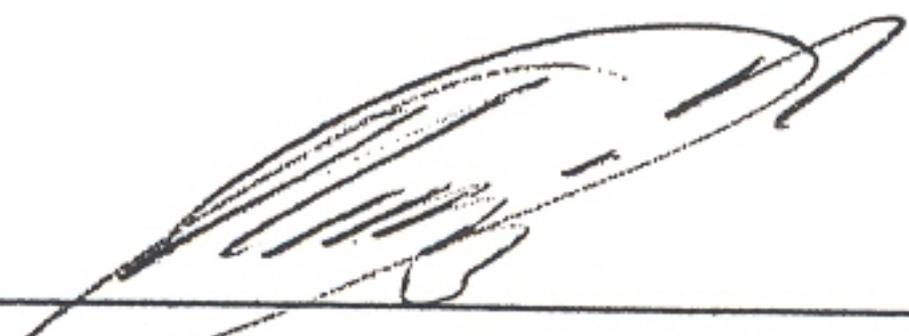
H. CARDENAS, TABASCO, MÉXICO
2007


DR. SERGIO SALGADO GARCIA


DR. DAVID J. PALMA LÓPEZ


DRA. LUZ DEL C. LAGUNES ES


DR. MEPIVOSETH CASTELAN E


DR. OCTAVIO RUIZ ROSADO

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado.

Al CONACYT ya que gracias a la beca otorgada, ha sido uno de los eslabones imprescindibles para la conclusión de mí formación como maestra en ciencias.

A la Fundación Produce Chiapas, A. C., por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto titulado “Uso de vinaza y composta de cachaza como sustitutos de fertilizantes NPK en caña de azúcar: Ingenio Pujiltilic”, con clave: FPCH4-02

A mi Consejo Particular, formado por el Dr. Sergio Salgado García, Dr. David J. Palma López, Dra. Luz del C. Lagunes Espinoza, Dr. Mepivoseth Castelàn Estrada y el Dr. Octavio Ruiz Rosado, por su guía para la elaboración del presente trabajo.

Al Técnico Esteban Osorio, que labora en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Campus Tabasco, por su valioso apoyo en la realización de los análisis químicos.

Al Dr. Angel Sol Sánchez, por su invaluable apoyo moral en los momentos difíciles durante la realización del Postgrado.

Dedico esta tesis a:

Nuestro creador, por concederme la vida y por iluminar el camino que debo seguir.

Mis padres Altamirano y Gloria, quienes con su ejemplo de lucha constante han sabido impulsarme para enfrentar retos y alcanzar metas.

Mis hermanos Delia, Flor, Santiago y Wilbert, por el cariño invaluable que me brindan.

VINASSE AND FILTER CAKE AS A SOURCE OF NPK IN SUGAR CANE CULTURE

Gloria Isela Hernández Melchor, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2007.

Pujiltic sugar cane refinery, municipality of Venustiano Carranza, Chiapas, México, faces environmental problems caused by the production of residues: vinasse and filter cake. Vinasse is spilled in the irrigation channels of the zones bordering to sugar cane refinery without any control and filter cake is accumulated in the ways and roads, where the high temperatures of fermentation bring about their burning fire. Experimental results indicate that according to their chemical composition these by-products could profiteers like source of nitrogen, phosphorus and potassium in the sugar cane culture. For this reason, experiments with eight treatments were settled down in two types of soils: Gleysol mólico and hypocalcium Calcisol. The evaluated variables were; soil dynamics, nutriments, foliar diagnosis, yield, quality of juice and economic analysis. The results indicate that the applications of vinasse and filter cake compost did not affect the pH, EC, CIC and MO in the evaluated soils. The application of vinasse ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) increased the content of K in both soils and the application of filter cake compost (15 t has^{-1}) increased the availability of phosphorus in both soils. The foliar diagnosis revealed deficiencies of N, Cu and Zn in both cultures. With the application of $150 \text{ m}^3 \text{ t has}^{-1}$ of vinasse, it was obtained a yield of 100 t has^{-1} and with the application of 10 t has^{-1} of filter cake compost it was obtained a yield of 118 t has^{-1} . On the other hand the quality of the juice was not affected with the use of vinasse and filter cake. We concluded that the use of vinasse and filter cake as a source of NPK in the sugar cane culture is a viable alternative to Pujiltic sugar cane refinery for eliminating both by-products without discrediting the chemical properties of the soils neither the quality of the cane juice.

Key words: *fertilization dose, by-products, vinasse, filter cake, sugar cane*

VINAZA Y COMPOSTA DE CACHAZA COMO FUENTES DE NPK EN CAÑA DE AZÚCAR

Gloria Isela Hernández Melchor, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2007.

El Ingenio Pujiltic del municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, enfrenta problemas ambientales ocasionados por la producción de residuos: vinaza y cachaza. La vinaza es vertida en los canales de riego de las zonas aledañas al Ingenio sin ningún control, mientras que la cachaza es acumulada en los caminos, donde las altas temperaturas de fermentación provocan su quema. Resultados experimentales indican que la composición química de estos subproductos les permite ser aprovechados como fuente de nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de caña de azúcar. Por ello, se establecieron experimentos con ocho tratamientos en dos tipos de suelos: Gleysol mólico y Calcisol hipocálcico. Las variables evaluadas fueron; dinámica de nutrimentos edáficos, diagnóstico foliar, rendimiento, calidad de jugos y análisis económico. Los resultados indican que las aplicaciones de vinaza y composta de cachaza no afectaron el pH, CE, CIC y MO en los suelos evaluados. La vinaza aplicada ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) incrementó el contenido de K en ambos suelos. La aplicación de composta de cachaza (15 t ha^{-1}) aumentó la disponibilidad de fósforo en ambos suelos. El diagnóstico foliar reveló deficiencias de N, Cu y Zn en ambos cultivos. Con la aplicación de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza se obtuvo un rendimiento de tallos de 100 t ha^{-1} . Con la aplicación de 10 t ha^{-1} de composta de cachaza se obtuvo un rendimiento de tallos de 118 t ha^{-1} . La calidad de los jugos no se vió afectada con el uso de vinaza y composta de cachaza. Se concluye que el uso de vinaza y composta de cachaza como fuente de NPK en el cultivo de caña de azúcar, es una alternativa viable para que el Ingenio Pujiltic logre deshacerse de manera adecuada de ambos subproductos sin demeritar las propiedades químicas del suelo y la calidad de los jugos de caña.

Palabras clave: Dosis de fertilización, subproductos, vinaza, composta de cachaza, caña de azúcar.

I. INTRODUCCION

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), reviste gran importancia económica y social ya que en nuestro país es la principal fuente de materia prima para la obtención de sacarosa y al mismo tiempo genera beneficios económicos en 12 millones de personas (Unión Nacional de Cañeros, 2007). Sin embargo, su cultivo intensivo disminuye el contenido de materia orgánica y nutrientes del suelo. Dichos aspectos han dado origen a estudios fisiológicos, genéticos, ecológicos y productivos encaminados a mejorar su producción, con enfoques sostenibles. Por otro lado, durante la obtención del producto final la agroindustria azucarera genera residuos en gran escala, los cuales al ser acumulados en determinadas áreas representan focos de contaminación. En general los ingenios azucareros con destilerías anexas liberan un promedio de 8 m³ de agua de lavado, 156 L de vinaza, 250 kg de bagazo y 30 kg de cachaza por tonelada métrica de caña molida; y se obtienen en promedio 12 L de alcohol y 94 kg de azúcar (Kodorfer y Anderson, 1993).

En el área de influencia del Ingenio Pujiltic, localizado en el municipio de Venustiano Carranza, Chiapas se cultivan 15,000 ha con caña de azúcar, con un rendimiento promedio de 90 t ha⁻¹. El Ingenio produce en promedio 210,600 m³ de vinaza y 40,500 t de cachaza anualmente. La vinaza es actualmente vertida a los canales de riego de la zona aledaña al Ingenio Pujiltic. Con esta agua se han estado regando los campos cañeros 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 y percolación al subsuelo.

La vinaza, es el principal efluente líquido de desecho, producto de la fermentación. Se generan 13 L por cada litro de alcohol (Orlando *et al.*, 1983). Resultados experimentales de Brasil y Argentina indican que puede ser utilizada como un sustituto de la fertilización química, ya que empleada en dosis apropiadas contribuye a incrementar el rendimiento de caña hasta un 30 % además de beneficiar al suelo (Kodorfer y Anderson, 1993).

La cachaza proviene de los lodos sedimentados en el proceso de clarificación de los jugos de caña (tierra, ceras, raíces y fibra). Este residuo es rico en materia orgánica, nitrógeno, calcio y fósforo, por lo que se usa en varios países como fuente de nutrimentos (Zérega, 1993). En México han sido poco los esfuerzos enfocados a generar tecnología para incorporar este subproducto al suelo, del cual se producen 1,000,000 de t año⁻¹ en el país, lo cual crea problemas de contaminación (Salgado *et al.*, 2003a).

Ante este panorama y considerando las evidencias del uso que se le puede dar a estos subproductos, se planteó el presente trabajo para evaluar la factibilidad del uso de la vinaza y composta de cachaza en la nutrición de la caña de azúcar, en el área de influencia del Ingenio Pujiltilic.

POTENCIAL DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO FUENTE DE NUTRIENTES EN CAÑA DE AZÚCAR

Gloria I. Hernández, Sergio Salgado, David J. Palma, Luz del C. Lagunes, Mepivoseth Castelán y Octavio Ruiz.

RESUMEN

De abril de 2005 a abril de 2006, 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 área de Influencia del Ingenio Pujiltic. Los tratamientos evaluados fueron: vinaza de 150 y 250 m³ ha⁻¹, fertilización química NPK (160-80-80), composta de cachaza de 15 t ha⁻¹ y un testigo, utilizando un diseño de bloques al azar. Los resultados muestran que las aplicaciones de vinaza y composta no afectaron el pH, la

conductividad eléctrica ni la CIC del suelo. Se observó que los tratamientos vinaza de 250 m³ ha⁻¹ y composta de cachaza incrementaron los niveles de materia orgánica, potasio y fósforo en el suelo. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en el rendimiento de tallos, y la calidad de los jugos no se vio afectada. El efecto 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 poder determinar con precisión su efecto residual, por lo que se sugiere sea evaluado por 3 ó 4 años.

Palabras clave: Vinaza, composta, caña de azúcar, fertilización.

POTENTIAL OF THE AGRO INDUSTRIES RESIDUES AS A SOURCE OF NUTRIENTS IN SUGARCANE

Gloria I. Hernández, Sergio Salgado, David J. Palma, Luz del C. Lagunes, Mepivoseth Castelán y Octavio Ruiz.

ABSTRACT

From April 2005 to April 2006 it was evaluated the effects of the vinasse and filter cake on the chemistry properties of the soil, culture nutrition, sugarcane field, juice quality and in the comparative analysis of the costs of its use as an organic fertilizer. The experiment was carried out in the influence area of the Pujiltic sugar refinery, Venustiano Carranza, Chiapas. The treatments were: vinasse of 150 and 250 m³ ha⁻¹, chemistry fertilization NPK (160-80-80), cachase fertilizer of 15 t ha⁻¹ and a treatment zero. A random blocks design was used. The results show that the vinasse applications and fertilizer did not affect, the pH.,

either the electrical conductivity or the cationic interchange capacity of the soil. Treatments with vinasse of 250 m³ ha⁻¹ and the fertilizer of compost increased the organic matter levels, potash and phosphorous in the soil. There were not significance differences in the field and stems. Likewise, the juice quality was not affected. Finally, the vinasse and fertilizer of compost over the soil did not affect its chemistry properties. However, a year of research is not enough time to determine with high precision the residuals effect of this product. For this reason it is recommended to continue the evaluation for a long time more.

Key words: Vinasse, fertilizer, sugar cane, fertilization.

Gloria Isela Hernández. Ingeniero Agrónomo, Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca, Tabasco, Méx. Estudiante de Maestría, Colegio de Postgraduados. e-mail: isela7827@colpos.mx.

Sergio Salgado. Ingeniero Agrónomo, Colegio Superior de Agricultura del Estado de Guerrero. Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Doctorado en Ciencias, Colegio de Postgraduados, México. Investigador Nacional Nivel I, SIN.

David Jesus Palma. Ingeniero Agrónomo, Colegio Superior de Agricultura Tropical, Cárdenas Tabasco. Maestría en Ciencias, Colegio Superior de Agricultura Tropical y Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. Doctorado en Ciencias, Ecole

Nationale d'Agronomie et des Industries Alimentaires de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Francia. Investigador Nacional Nivel I, SIN.

Luz del Carmen Lagunes. Químico Agrícola, Facultad de Ciencias Químicas-Universidad Veracruzana, Orizaba, Ver. Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo. Méx. Doctorado en Ciencias, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. Rennes, Francia. Investigador Nacional Nivel I, SIN.

Mepivoseth Castelán. Ingeniero Agrónomo, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver.

Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. Doctorado en Ciencias, Université de Paris-Grignon. París, Francia. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, México.

Octavio Ruiz. Ingeniero Agrónomo, Colegio Superior de Agricultura Tropical, Cárdenas Tabasco. Maestría en Artes, Universidad de California-Santa Cruz, CA, EUA. Doctorado en Filosofía, University of London Imperial Collage of Science, Technology and Medicine, Inglaterra. Investigador Nacional Nivel I, SIN.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	.. 1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2. La fertilización en caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	.. 3
2.1. Fertilizantes químicos	. 3
2.2. Abonos orgánicos	5
2.2.1. Uso de cachaza como abono orgánico	5
2.2.2. Uso de vinaza como abono orgánico	7
III. OBJETIVOS E HIPOTESIS	. 10
3.1. Objetivo general	.. . 10
3.2. Objetivos articulares	. 10
3.3. Hipótesis	... 10
IV. MATERIALES Y METODOS	. 11
4.1. Localización del área de estudio	. . 11
4.2. Clima	. 11
4.3. Suelos	... 11
4.3.1. Gleysol mólico (GLmo)	.. 13
4.3.2. Calcisol hipocálcico (CLccw)	. 13
4.4. Material genético	. 14
4.5. Diseño experimental	. .. 14
4.6. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos	... 15
4.7. Variables de estudio	.. . 16
4.7.1. Composición química del suelo y subproductos evaluados	.... . 16
4.7.2. Dinámica de nutrimentos en el suelo	.. . 16
4.7.3. Diagnóstico nutricional	. ... 17
4.7.4. Rendimiento de tallos	... . ... .. 18
4.7.5. Calidad de jugos	.. 19
4.7.6. Análisis económico	19
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	... .... 26
5.1. Composición química del suelo y subproductos evaluados	.. .. 26
5.2. Dinámica de nutrimentos en el suelo	.. 28

5.2.1. pH	..	28
5.2.2. Conductividad eléctrica	..	30
5.2.3. Capacidad de Intercambio Cationico	.....	32
5.2.4. Materia orgánica	... ..	33
5.2.5. Nitrógeno total	..	36
5.2.6. Nitrógeno inorgánico (NH ₄ ⁺ y NO ₃ ⁻)	..	37
5.2.7. Fósforo	..	40
5.2.8. Potasio	... ..	42
5.2.9. Micronutrientes (Cu, Mn y Zn)		44
5.2.10. Propiedades químicas del suelo en dos profundidades	....	48
5.3. Diagnóstico nutricional	...	51
5.3.1. Nitrógeno	....	51
5.3.2. Fósforo	... ..	51
5.3.3. Potasio	..	52
5.3.4. Calcio	.	53
5.3.5. Magnesio	. ..	53
5.3.6. Cobre	.	53
5.3.7. Hierro	.	54
5.3.8. Zinc	... ..	54
5.3.9. Boro	...	54
5.4. Rendimiento de tallo	.	.. 55
5.5. Calidad de jugos	..	56
5.6. Análisis económico	... ..	57
VI. CONCLUSIONES	.....	59
VII. LITERATURA CITADA	.....	60
VIII. A P E N D I C E	.....	66

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Comparación de la composición química de la vinaza producida en Ingenios de diferentes países	8
Cuadro 2. Características agronómicas de las variedades de caña de azúcar utilizadas en el experimento realizado en dos suelos: Gleysol móllico y Calcisol hipocalcico	14
Cuadro 3. Tratamientos evaluados en los suelos GLmo y CLccw del área de influencia del Ingenio Pujiltic .	14
Cuadro 4. Variables determinadas y métodos empleados en las muestras de suelo del experimento realizado en un GLmo y CLccw en Pujiltic, Chiapas	17
Cuadro 5. Elementos determinados y métodos empleados en el diagnóstico nutricional de caña de azúcar, en Pujiltic, Chiapas	18
Cuadro 6. Composición química del suelo de las parcelas experimentales ubicadas en el área de influencia del Ingenio Pujiltic ..	26
Cuadro 7. Composición química de la vinaza producida en el Ingenio Pujiltic .	27
Cuadro 8. Kilogramos de NPK aportados, de acuerdo a las dosis de vinaza aplicadas en el GLmo y CLccw, en Pujiltic, Chiapas . .	27
Cuadro 9. Composición química de la composta de cachaza producida en el Ingenio Pujiltic, Chiapas	27
Cuadro 10. Kilogramos de NPK en kilogramos de acuerdo a la dosis aplicada de composta de cachaza 28	
Cuadro 11. Dinámica del pH en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm ..	29
Cuadro 12. Dinámica del pH en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	29
Cuadro 13. Dinámica de la CE ($dS\ m^{-1}$) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	31
Cuadro 14. Dinámica de la CE ($dS\ m^{-1}$) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm ..	31

Cuadro 15. Dinámica de la CIC ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. . . . .	33
Cuadro 16. Dinámica de la CIC ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	..	33
Cuadro 17. Dinámica de la MO (%) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. . . . .	34
Cuadro 18. Dinámica de la MO (%) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	..... ..	34
Cuadro 19. Dinámica del Nt (%) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	..	36
Cuadro 20. Dinámica del Nt (%) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	..	36
Cuadro 21. Dinámica del NH_4^+ (mg kg^{-1}) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. ...	38
Cuadro 22. Dinámica del NH_4^+ (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. . . . .	38
Cuadro 23. Dinámica del NO_3^- (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. . . . .	40
Cuadro 24. Dinámica del NO_3^- (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. . . . .	40
Cuadro 25. Dinámica del P (mg kg^{-1}) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	.. ..	41
Cuadro 26. Dinámica del P (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm		41
Cuadro 27. Dinámica del K ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. . . . .	43
Cuadro 28. Dinámica del K ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. . . . .	43
Cuadro 29. Dinámica del Cu (mg kg^{-1}) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	.....	46
Cuadro 30. Dinámica del Cu (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	. . . . .	46
Cuadro 31. Dinámica del Mn (mg kg^{-1}) en un GLmo, durante un		

año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	....	47
Cuadro 32. Dinámica del Mn (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	.	47
Cuadro 33. Dinámica del Zn (mg kg^{-1}) en el GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	.	48
Cuadro 34. Dinámica del Zn (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm	.	48
Cuadro 35. Propiedades químicas del GLmo en dos profundidades a los 350 días del experimento	.	50
Cuadro 36. Propiedades químicas del CLccw en dos profundidades a los 360 días del experimento	.	50
Cuadro 37. Contenido de nutrientes en tejido foliar de caña de azúcar, con diferentes fuentes de fertilización en un suelo GLmo	...	52
Cuadro 38. Contenido de nutrientes en tejido foliar de caña de azúcar, con diferentes fuentes de fertilización en un suelo CLccw	...	52
Cuadro 39. Rendimiento de caña de azúcar en un GLmo, con diferentes fuentes de fertilización		55
Cuadro 40. Calidad de jugos de caña de azúcar cultivada en un GLmo, con diferentes fuentes de fertilización		57
Cuadro 41. Análisis económico de fuentes de fertilización en caña de azúcar, en el área de Influencia del Ingenio Pujiltic	.	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización del área de influencia del Ingenio Pujiltic y parcelas experimentales	12
Figura 2. Climograma del área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic	. 13
Figura 3. Distribución de los tratamientos evaluados en el experimento.	15
Figura 4. Sitios experimentales en el área de influencia del Ingenio Pujiltic	20
Figura 5. Aplicación de los tratamientos con vinaza	.... 21
Figura 6. Aplicación de los tratamientos con composta de cachaza	. 22
Figura 7. Realización de muestreos	... 23
Figura 8. Preparación de muestras y análisis químicos	. 24
Figura 9. Ultimo muestreo realizado a los 350 días	25

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2. La fertilización en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Dos de los factores externos que influyen en el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar y que más fácilmente pueden ser controlados por el hombre, es el suministro de agua y fertilizantes, ya que se pueden regular las demandas nutricionales del cultivo (Martín *et al.*, 1987).

Se han definido 14 elementos que constituyen los nutrimentos esenciales para las plantas superiores. Estos se dividen en macronutrimentos cuando la planta los requiere en cantidades mayores a 500 ppm (N, P, K, Ca, Mg y S), y micronutrimentos si son utilizados en cantidades menores a 50 ppm (Cl, Fe, B, Mn, Mo, Ni, Cu y Zn) (Buckman y Brady, 1993). Dichos elementos son necesarios para formar las estructuras de la planta de caña de azúcar, si algún nutrimento no esta disponible la planta no logra un desarrollo adecuado. En agricultura hemos aprendido a ajustar la dosis de estos nutrimentos en el suelo para satisfacer las necesidades del cultivo (Gliessman, 2002).

En caña de azúcar el nitrógeno, fósforo y potasio son nutrimentos que se necesitan en cantidades relativamente abundantes. Así pues, para obtener rendimientos de 97 t ha⁻¹ se requieren 135 t ha⁻¹ de N, 90 t ha⁻¹ de P, 392 t ha⁻¹ de K, 143 t ha⁻¹ de Ca, 111 t ha⁻¹ de Mg, 10 t ha⁻¹ de Fe, 0.15 t ha⁻¹ de Mn y 0.43 t ha⁻¹ de Zn (Salgado *et al.*, 2006a).

2.1. Fertilizantes químicos

Los fertilizantes son compuestos químicos que aportan minerales al suelo pero no mejoran sus condiciones físicas como lo hacen los abonos (Palma-López y Triano, 2002). En los fertilizantes los nutrientes se encuentran en forma asimilable o disponible para la planta, sin embargo, pueden contribuir a la acidificación de los

suelos, especialmente cuando se realizan aplicaciones de sulfato de amonio (Salgado *et al.*, 2006a).

Usados en exceso los fertilizantes conducen a impactos negativos en el entorno, sobre todo con los fertilizantes nitrogenados y fosfóricos, pero bien utilizados aumentan hasta en 25 % los rendimientos e incrementan significativamente la rentabilidad de los cultivos y la calidad de la materia prima (Cuellar *et al.*, 2003). El valor agrícola de un fertilizante es incierto, ya que un material tan fácilmente sujeto a cambios es colocado en dos amplias variables, el suelo y el cultivo. Las condiciones del suelo fluctúan constantemente, no solo de año en año sino progresivamente a través de una estación (Buckman y Brady, 1993).

Se ha evaluado la respuesta del cultivo de caña de azúcar a la aplicación de fertilizantes químicos en diferentes suelos. Para la zona de Influencia del Ingenio AZSUREMEX se definieron cinco unidades de suelos y sus respectivas dosis de fertilización de NPK en caña de azúcar: Fluvisol 160-60-60, Vertisol 120-80-80, Cambisol 120-60-60, Luvisol 140-80-80 y Leptosol 160-80-80 (Palma-López *et al.*, 2002).

Al evaluar dosis de fertilización NPK en un Vertisol serie *Limón*, en caña variedad Mex 69-290, se obtuvieron rendimientos en el ciclo plantilla de 158.2 y 143.8 t ha⁻¹ que fueron asociados a las dosis 160-80-80 y 200-80-80, respectivamente. Esta tendencia se observó en los tres ciclos de cultivo con la dosis 160-80-80 (Salgado *et al.*, 2003b).

En el área de influencia del Ingenio Pujiltil se ha usado durante más de 45 años la dosis de fertilización 160-85-85, sin considerar la variedad, el ciclo de cultivo y el tipo de suelo (Salgado *et al.*, 2006b). Lo que conlleva a concluir que en esas condiciones el uso de los fertilizantes es inadecuado.

2.2. Abonos orgánicos

Un gran número de materiales orgánicos pueden ser utilizados como abonos y suministro de nutrientes a las plantas. De esta forma, muchos productos de desechos se pueden utilizar como abonos, reciclando los nutrientes, esto sin lugar

a dudas, es muy importante desde el punto de vista económico y ecológico (Salgado *et al.*, 2003a).

En la agroindustria azucarera, la cachaza, la ceniza, la vinaza o mosto de destilerías y las aguas residuales de fabricación de azúcar crudo representan una fuente económica significativa por su valor como fertilizantes, sin contar su valor como fuentes de agua y materia orgánica además de los efectos benéficos en la conservación y el mejoramiento de los suelos. Sin embargo, si se vierten indiscriminadamente ocasionan daños al ambiente debido a su alta carga orgánica contaminante (Cuellar *et al.*, 2003). Al usar la vinaza como fertilizante en el cultivo de caña de azúcar, el Ingenio debe evitar mezclarla con el agua de lavado de molinos, ya que contiene NaOH que puede causar quemaduras al pelillo y salinización del suelo a largo plazo.

2.2.1. Uso de cachaza como abono orgánico

La cachaza es un residuo del proceso de clarificación del guarapo, que incluye materias terrosas e impurezas orgánicas. Su composición química es variable y depende de las características del lugar, del manejo agronómico, del tiempo en que es producida y de las sustancias empleadas en la fabricación del azúcar (Cuellar *et al.*, 2002).

Generalmente la cachaza es rica en fósforo, calcio y nitrógeno y pobre en potasio. Sin embargo, por su alto contenido de humedad (75-80%), por su baja relación peso/volumen (0.375), por presentar olores desagradables, por ser fuente de criaderos de moscas y por tomar combustión espontánea en estado seco al exponerse al sol, la mayoría de los Ingenios tienen problemas de almacenamiento, transporte y manejo. Por ello no es totalmente aprovechada y se presentan dificultades para su eliminación (Zérega, 1993).

La cachaza es el residuo sólido de caña, de más fácil descomposición debido al reducido tamaño de sus partículas (expuestas con mayor facilidad a la acción de microorganismos), a su baja relación C/N, a su humedad absoluta de 70 a 80 %, a su alta relación porcentual entre la demanda biológica de oxígeno y la demanda

química de oxígeno de 80 %, y a su contenido relativamente alto de azúcares (Velarde *et al.*, 2004).

Como enmienda, la cachaza incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo, por la producción de humus; aumenta el contenido o la capacidad de retención de humedad del mismo y durante su descomposición se produce gran cantidad de CO₂, que al transformarse en H₂CO₃, junto con otros ácidos de origen orgánico, disolverán los nutrimentos insolubles en suelos de pH alcalino (Zérega, 1993).

En México, la cachaza ha sido utilizada como mejorador de suelos en los Ingenios Emiliano Zapata, El Modelo, El Potrero y otros, con muy buenas respuestas a su aplicación, incluida en el agua de riego o distribuida al voleo en el proceso de preparación de tierras para la siembra de la caña. Una tonelada de cachaza provee aproximadamente de 0.4 kg de nitrógeno y potasio, necesitándose 100 t ha⁻¹ para obtener 40 kg de nitrógeno y 40 kilogramos de potasio. Esta dosis se emplea actualmente en el ingenio El Potrero, y se estima un rendimiento de caña de azúcar de 100 t ha⁻¹ aproximadamente. El incremento de la producción cañera al aplicarse la cachaza se debe, no solo al contenido de N y K, sino también a las mejoras físicas que se agregan al suelo, pues la dosis de 100 t ha⁻¹ de cachaza significa agregar de 46 a 67.5 t ha⁻¹ de productos que mejoran la textura del suelo tratado (Rodríguez, 1994).

En Tabasco se han reportado rendimientos de 70 t ha⁻¹ de caña con una dosis de 40 t ha⁻¹ de cachaza en el ciclo resoca (Obrador *et al.*, 1996). En un vertisol de la serie limón se obtuvieron rendimientos de 100 t ha⁻¹ de caña de azúcar aplicando 40 t ha⁻¹ de cachaza, cultivado con caña ciclo soca (Armida *et al.*, 1998).

El composteo de la cachaza es una alternativa que permite reducir las dosis de aplicación, facilitando su transporte y aplicación en campo. Por otra parte favorece el proceso de mineralización, lo que a su vez permite una mayor disponibilidad de nutrimentos por el cultivo (Arreola, 1999).

Reportes recientes mencionan que con 10 y 15 t ha⁻¹ de composta de cachaza

enriquecida con N (0.6 %) y K (0.2 %) es posible incrementar el rendimiento de caña de azúcar sin afectar la calidad del jugo y simultáneamente evitar la actual contaminación ambiental provocada por los fertilizantes químicos utilizados en este cultivo, y por la cachaza arrojada a los cuerpos de agua y suelo (Arreola *et al.*, 2004).

2.2.2. Uso de vinaza como abono orgánico

La vinaza, es el principal efluente líquido de desecho producto de la fermentación de azúcares. Se generan 13 L de vinaza por cada litro de alcohol destilado (Orlando *et al.*, 1983). Este efluente puede ser un contaminante si no se dispone adecuadamente. Aunque no contiene virus ni bacterias patógenas, el mayor problema de contaminación de aguas superficiales se debe a su contenido de materia orgánica (19-45 %), que afecta la demanda biológica de oxígeno (Samuels, 1982). En México, se obtuvo una producción de 495 377 480 L de vinaza en la zafra 2006/2007, producto derivado de cuatro Ingenios con destilerías anexas (Comité de la Agroindustria Azucarera, 2007).

La composición química de la vinaza es variable (Cuadro 1), y depende de factores tales como el origen de la materia prima y el equipo de destilación. El potasio (K) inorgánico, es el elemento presente en mayor cantidad. El nitrógeno (N) se encuentra en forma orgánica como coloide y por lo tanto se libera al mineralizarse. El Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K) se encuentran normalmente en forma soluble. También contiene microelementos esenciales para la caña de azúcar, tales como manganeso (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) (Kordorfer y Anderson, 1993).

La vinaza debería ser aplicada en suelos cultivados con caña de azúcar, principalmente porque constituye una fuente de potasio y otros nutrientes para el propio cultivo, además de proporcionar carbohidratos rápidamente asimilables por el crecimiento microbiano (Nahas *et al.*, 1990 citado por Terumi *et al.*, 2006). En suelos de alta fertilidad es difícil esperar respuesta; en áreas con textura arcillosa, con bajos contenidos de potasio y desequilibrio de bases, es más factible que la caña responda a la adición de vinaza. Las dosis en que se aplica dependen de la

naturaleza y de la composición del suelo, pero en general se emplean de 100 a 150 m³ ha⁻¹ (Subiros y Molina, 1992).

Cuadro 1. Comparación de la composición química de la vinaza producida en Ingenios de diferentes países.

Elemento	Contenido kg/m ⁻³			
	1	2	3	4
N	0.6	1.8	0.4	2
P ₂ O ₅	0.12	1.5	0.26	2.3
K ₂ O	3.7	4.5	2.28	7.5
Ca	0.8	-	0.72	1.8
S	-	-	0.53	-
Cu	-	-	0.03	-
Zn	-	-	0.03	-
MO	12.2	190-450	-	90
pH	4.47	-	-	4.2

Tomado de: ¹ Pennatti *et al.*, 2005, ² Cuellar *et al.*, 2002, ³ Kodorfer y Anderson, 1993, ⁴ Gómez, 1992.

Al aplicar vinaza de 344 m³ ha⁻¹ a un suelo Alfisol de textura arcillosa y pH de 5.2, la respiración del suelo fue un 39 % mayor en relación al control sin vinaza. Este resultado se debió, al aumento de la actividad microbiana por la contribución de una fuente de carbono disponible aportada por la vinaza (Terumi *et al.*, 2006).

En siete años de estudio, en un latosuelo amarillo-rojo de textura arenosa cultivado con caña de azúcar, se observó que la aplicación de 300 m³ ha⁻¹ de vinaza, se promueve la lixiviación de K, Ca, Mg y S, alcanzando profundidades de 0.75 a 3.5 m, favoreciendo el desarrollo profundo de raíces, obteniendo en promedio rendimientos de 126 t ha⁻¹ de caña (Penatti *et al.*, 2005).

Resultados experimentales indican un incremento en el rendimiento de caña del 30 %, con la dosis de 150 m³ ha⁻¹. El empleo de dosis elevadas (900 m³ ha⁻¹) puede ocasionar daños en la brotación, dependiendo principalmente del estado de crecimiento de los brotes, de las condiciones ambientales y de las variedades. El momento de mayor sensibilidad se observa en brotes de 30 cm, con hojas expandidas, con aplicaciones de vinaza efectuadas a una temperatura ambiente de 40 °C (Scandalaris *et al.*, 1993). La aplicación de 150 m³ ha⁻¹ equivale a 15 mm de lluvia y se vuelve importante durante la estación seca. Esta aplicación

puede ser el instrumento que estimula la brotación y desarrollo de los vastagos (Korndorfer y Anderson, 1993).

A pesar del pH ácido de la vinaza (3.5 a 4.5), normalmente se observa un aumento de 4.4 a 6.0 unidades inmediatamente después de su aplicación (Neves *et al.*, 1983; Scandalaris *et al.*, 1993). Esta reacción se debe a la intensificación de la actividad microbiana del suelo, donde la materia orgánica proveniente de la vinaza siendo en gran parte coloidal, al adicionarse al suelo forma complejos con el aluminio provocando un aumento del pH (Gloria *et al.*, citados por Berrocal, 1988).

En suelos Fluventic Ustropept de textura arcillosa y pH de 7.4, la aplicación de vinaza de 100 m³ ha⁻¹ incrementó el contenido de potasio intercambiable en los primeros 20 cm del suelo, alcanzando valores de 116, 194 y 218 mg kg⁻¹ en plantilla, soca I y soca II respectivamente (Gómez, 1992). La aplicación de 50 m³ ha⁻¹ incrementó los rendimientos de caña en un 27 % en el ciclo plantilla. La dosis de 100 m³ ha⁻¹ incrementó los rendimientos de caña en un 23 % en soca I y 65 % en soca II, asimismo aumentó el rendimiento de azúcar en un 22 % en plantillas, 30 % en soca I y 63 % en soca II (Gómez y Rodríguez, 2000).

III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

3.1. Objetivo general

Evaluar la factibilidad del uso de la vinaza y composta de cachaza en la nutrición de la caña de azúcar, en el área de influencia del Ingenio Pujilic.

3.2. Objetivos particulares

Evaluar:

- La concentración de elementos NPK en la vinaza.
- La concentración de elementos NPK en la composta de cachaza.
- El impacto de la vinaza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.
- El impacto de la composta de cachaza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.
- El efecto de la vinaza sobre el rendimiento y calidad de los jugos de caña.
- El efecto de la composta de cachaza sobre el rendimiento y calidad de los jugos de caña.
- Analizar comparativamente los costos de fertilización con vinaza, composta de cachaza y fertilizantes químicos.

3.3. Hipótesis

- La vinaza contiene elementos nutritivos NPK.
- La composta de cachaza contiene elementos nutritivos NPK.
- La vinaza mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.
- La composta de cachaza mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.
- La aplicación de vinaza al cultivo de caña mejora el rendimiento y la calidad de los jugos.

- La aplicación de composta de cachaza al cultivo de caña mejora el rendimiento y la calidad de los jugos.
- Fertilizar con vinaza y composta de cachaza es más barato que el uso de fertilizantes químicos.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización del área de estudio

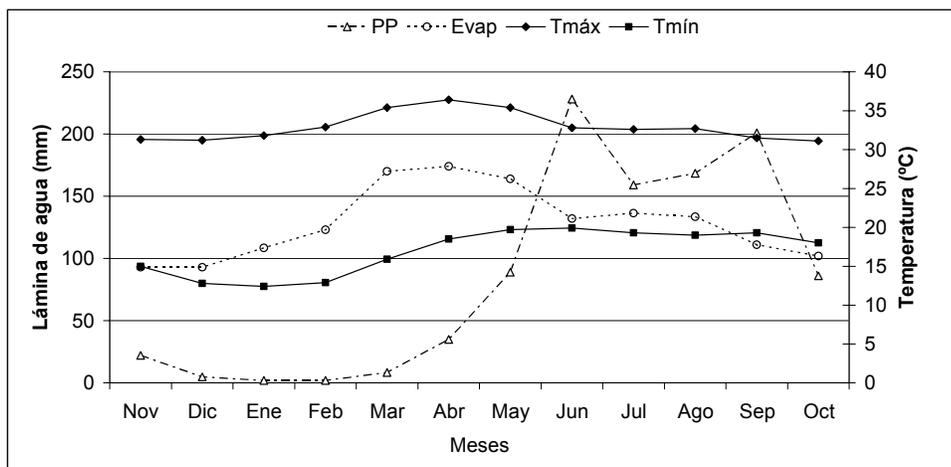
El estudio se realizó en el municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, en el área de influencia del Ingenio Pujiltilic, la cual abarca una superficie de 15, 000 ha y se localiza en la Región de la Depresión Central del Estado, relieve montañoso y semiplano. Las coordenadas geográficas de las parcelas experimentales son: 16° 16' latitud norte y 92° 29' longitud oeste para la parcela uno, y 16° 17' latitud norte y 92° 27' longitud oeste para la parcela dos (Figura 1).

4.2. Clima

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura promedio anual de 25 °C y una precipitación promedio anual de 1006 mm (CONAGUA, 2006). Durante los meses de noviembre a abril, solo llueven 72 mm, condición que favorece el proceso de maduración de la caña de azúcar permitiendo la zafra. En cambio, de mayo a octubre se registra una precipitación de 932 mm. Las temperaturas durante el período de crecimiento son superiores a 21 °C, favoreciendo el desarrollo del cultivo (Figura 2) (Salgado *et al.*, 2006b).

4.3. Suelos

La presente investigación se llevó a cabo en dos parcelas de productores cooperantes, el suelo de la parcela propiedad del Sr. Ermilo Gómez Vásquez, pertenece a la subunidad Gleysol mólico (Figura 4 c y d), y el suelo de la parcela propiedad de la Sra. Ma. Del Carmen García Cautiño, pertenece a la subunidad Calcisol hipocálcico (Figura 4 e y f).



PP= precipitación; Evap= Evapotranspiración; Tmáx= Temperatura máxima; Tmín= temperatura mínima.

Figura 2. Climograma del área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic (datos de 1960 a 1990).

4.3.1. Gleysol mólico (GLmo)

Este suelo ocupa el 12.6 % de los suelos cañeros de Pujiltic, Chiapas. En estos suelos domina la textura arcillosa, debido a su fisiografía es un sitio con drenaje superficial receptor con permeabilidad lenta en los horizontes inferiores y es pobremente drenado. El pH es moderadamente alcalino, la CE no indica problemas serios de salinidad ($< 3 \text{ dS m}^{-1}$); la MO es muy rica en el horizonte superficial Ap, disminuye con la profundidad (6.5-0.2 %). El contenido de P en estos suelos es medio en la capa arable y bajo en el horizonte subsuperficial, hasta no ser detectado en la profundidad (7.8-0.7 mg kg^{-1}). El K es muy bajo en estos suelos (0.5 – 0.2 $\text{cmol } (+) \text{ Kg}^{-1}$); el Ca es muy alto (90.0 - 38.8 $\text{cmol } (+) \text{ Kg}^{-1}$), al igual que el Mg (18.9 – 4.2 $\text{cmol } (+) \text{ Kg}^{-1}$). La CIC es muy alta en la mayor parte del perfil del suelo (Salgado *et al.*, 2006b).

4.3.2. Calcisol hipocálcico (CLccw)

Este suelo ocupa el 1.9 % de los suelos cañeros de Pujiltilic, Chiapas. La textura de estos suelos es migajón arcillosa, presentando en ocasiones un horizonte de textura franca, su densidad aparente es de 1 g cm⁻³ en promedio. La permeabilidad es rápida por lo que presenta un buen drenaje. El pH en general se considera como moderadamente alcalino, la CE es de 0.20 dS m⁻¹, lo que indica que no existen problemas de salinidad, la MO es muy rica en la capa arable (5.33 %) (Salgado *et al.*, 2006b).

4.4. Material genético

El material genético utilizado fue el que se encontraba establecido en cada plantación, MEX 69-290 (GLmo) y MEX 57-473 (CLccw), ciclo soca 3, cuyas características agronómicas se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características agronómicas de las variedades de caña de azúcar utilizadas en el experimento realizado en el GLmo y CLccw en Pujiltilic, Chiapas.

Características agronómicas	Variedad	
	MEX 69-290	MEX 57-473
Germinación	Regular	Buena
Maduración	Media	Media a tardía
Floración	Nula o escasa	Escasa
Resistencia a enfermedades	Resistente al mosaico, roya, carbón y escaldadura.	Resistente al mosaico, roya, carbón y escaldadura.
Rendimiento	100 t ha ⁻¹ plantilla 92 t ha ⁻¹ soca	118 t ha ⁻¹ plantilla 90 t ha ⁻¹ soca

Adaptado de Flores, 2001.

4.5. Diseño experimental

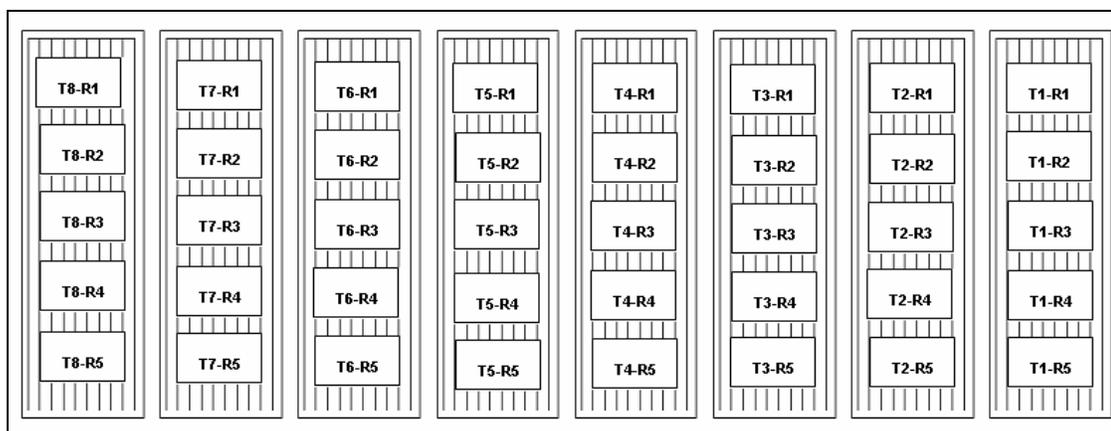
Para alcanzar los objetivos planteados en el estudio, fueron seleccionados ocho tratamientos (Cuadro 3), utilizando un diseño de Arreglo en Bloques Divididos (arreglo en franjas), bajo un diseño experimental de Bloques al Azar.

Cuadro 3. Tratamientos evaluados en los suelos GLmo y CLccw del área de influencia del Ingenio Pujiltilic, Chiapas.

Tratamiento	Fuente de fertilización	Dosis
1	Testigo	0

2	Vinaza	100 m ³ ha ⁻¹
3	Vinaza	150 m ³ ha ⁻¹
4	Vinaza	200 m ³ ha ⁻¹
5	Vinaza	250 m ³ ha ⁻¹
6	Fertilizante químico	160-80-80
7	Composta de cachaza	10 t ha ⁻¹
8	Composta de cachaza	15 t ha ⁻¹

Las parcelas experimentales estuvieron conformadas por nueve surcos por 100 m de largo (GLmo), y diez surcos por 90 m de largo (CLccw), con un espaciamento entre surcos de 1.30 m. 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 (Figura 3).



T= tratamiento, R= repetición.

Figura 3. Distribución en campo de los tratamientos evaluados en el experimento del área de influencia del Ingenio Pujiltic.

4.6. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos

Una vez realizado el destronque se distribuyeron los tratamientos en campo el día 23 de abril del 2005.

La vinaza, fue obtenida del área de producción del Ingenio Pujiltic, y fue transportada hasta el sitio del experimento en un camión/cisterna, siendo aplicada de manera uniforme en cada parcela de acuerdo a las dosis por tratamiento (Cuadro 3). La vinaza tenía una temperatura de 60 °C, sin embargo, al momento

de su aplicación la temperatura de la superficie del suelo bajó de 46 a 38.8 °C, disminuyendo conforme aumentó la profundidad (Ver figura 5).

La composta de cachaza utilizada es subproducto del Ingenio Pujiltic, la cual tenía 4 meses de composteo. Su procesamiento consiste en distribuir la cachaza en filas, una vez que alcanza una temperatura de 60 °C se le adiciona agua y cada 15 días se le da aireación con la composteadora. La composta fue aplicada sobre los surcos de caña después del destronque (Ver figura 6).

Para obtener la dosis del fertilizante químico 160-80-80 se usó urea + triple 17 (174 + 470 kg ha⁻¹). El cual fue aplicado de manera manual en banda.

Las labores de cultivo fueron realizadas de acuerdo con el paquete tecnológico que recomienda el Ingenio Pujiltic y estuvieron a cargo de los productores cooperantes.

4.7. Variables de estudio

4.7.1. Composición química del suelo y subproductos evaluados

Previo a la aplicación de tratamientos se realizaron muestreos de suelo para estimar las condiciones de fertilidad de las parcelas experimentales. Las muestras fueron tomadas con barrena a dos profundidades: 0 a 30 cm y 30 a 60 cm.

Para conocer la composición química de la vinaza y composta de cachaza, usadas en el experimento, se tomaron muestras que fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA), con los métodos establecidos por la NOM-021-RECNAT (2000).

4.7.2. Dinámica de nutrimentos en el suelo

Para evaluar la dinámica de nutrimentos en el suelo se realizaron muestreos a los 15, 30, 60, 90, 120 y 350 días, en los tratamientos 1, 3, 5, 6, y 8 (Cuadro 3), por ser los más contrastantes. El muestreo se realizó de acuerdo a los procedimientos

descritos por Salgado *et al.* (1999). Se tomaron dos muestras en el surco y dos en el entresurco, de donde se obtuvo una muestra compuesta, a una profundidad de 0 a 30 cm utilizando barrena de acero inoxidable (Ver figura 7 a, b, c y d). A los 350 días se realizó un muestreo adicional de 30 a 60 cm de profundidad, para determinar la lixiviación de nutrimentos (Ver figura 9 e y f).

Para las variables determinadas en los análisis químicos del suelo (Cuadro 4), se emplearon los métodos especificados por la NOM-021-RECNAT (2000). Dichos análisis fueron realizados en el LASPA del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco (Ver figura 8 a, b, c y d).

Cuadro 4. Variables determinadas y métodos empleados en las muestras de suelo del experimento realizado en un GLmo y CLccw, en Pujilic, Chiapas.

Análisis	Métodos	Lectura
pH	Relación 1:2 suelo:agua destilada.	Potenciómetro con electrodo de vidrio.
Materia orgánica	Walkley y Black.	Titulación con FeSO ₄ .
Nitratos y amonios	Difusión de gas.	Espectrofotometría de absorción atómica a 590 nm.
Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)	Tiurea de plata 0.01 M.	Espectrofotometría de absorción atómica a 328.1 nm de longitud de onda.
Nitrógeno total	Semimicro-kjeldahl.	Titulación con H ₂ SO ₄ .
Fósforo asimilable	Olsen.	Cuantificación colorimétrica a 882 nm.
Potasio	Tiurea de plata 0.01 M.	Espectrofotometría de absorción atómica a 328.1 nm de longitud de onda.
Manganeso, cobre y zinc	DTPA.	Espectrofotometría de absorción atómica.

Para el análisis estadístico se realizó el análisis factorial 5 x 6 (cinco tratamientos de fertilización y seis fechas de muestreo), con tres repeticiones y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Martínez, 1988), usando el programa SAS versión 9.1 (1995).

4.7.3. Diagnóstico foliar

Para el diagnóstico nutricional se consideraron los tratamientos 1, 3, 5, 6 y 8 (Cuadro 3). El muestreo foliar fue realizado a los cuatro meses del cultivo, tomando la hoja 4 y eliminando la nervadura central según los procedimientos descritos por Salgado *et al.* (1999), utilizando tijeras de acero inoxidable y guardando las muestras en bolsas de papel perforadas siendo colocadas en una nevera a 4 °C para su traslado al laboratorio (Ver figura 7 e y f). Las muestras fueron lavadas y secadas a 70 °C durante 48 horas, posteriormente fueron molidas y tamizadas (2 mm) (Ver figura 8 e y f). El Cuadro 5 muestra los elementos determinados y los métodos empleados de acuerdo a lo descrito por Jones *et al.* (1991). Los análisis fueron realizados en el LASPA del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

Cuadro 5. Elementos determinados y métodos empleados en el diagnóstico foliar de caña de azúcar en Pujilic, Chiapas.

Análisis	Método	Lectura
Nitrógeno total	Kjeldahl	Titulación con H ₂ SO ₄
Potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y cobre.	Digestión con HNO ₃ -HClO ₄ .	Cuantificación por espectrofotometría de Absorción Atómica.
Fósforo total	Digestión con HNO ₃ -HClO ₄ .	Cuantificación colorimétrica a 470 nm.
Boro	Azometina-H	Cuantificación con espectrofotómetro a 420 nm.

Para el análisis estadístico se realizó el análisis de varianza de bloques al azar, cinco tratamientos de fertilización con cuatro repeticiones y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Martínez, 1988), usando el programa SAS versión 9.2.

4.7.4. Rendimiento de tallo

El rendimiento de tallos solo fue realizado en el GLmo, debido a que en el CLccw la cosecha fue realizada por el productor sin previo aviso, impidiendo la realización del muestreo.

El muestreo se realizó en los 8 tratamientos de fertilización con cinco repeticiones. Para ello se cosecharon cinco surcos de caña por 2 m de largo (10 mL). A los tallos se les quito la paja y fueron pesados en campo en una balanza digital. Se cálculo el equivalente en toneladas por hectárea (Ver figura 9 a, b, c y d).

Para el análisis estadístico se realizó el análisis de varianza de bloques al azar, ocho tratamientos de fertilización con cinco repeticiones y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Martínez, 1988), usando el programa SAS versión 9.2.

4.7.5. Calidad de jugos

El análisis calidad de los jugos se mide con los parámetros sacarosa (%), pureza del jugo (%), grados Brix y azúcares reductores (%). El muestreo se realizó en los 8 tratamientos estudiados (Cuadro 3), con cinco repeticiones. La muestra de cinco tallos fue seleccionada al azar dentro de cada parcela.

Para el análisis estadístico se realizó el análisis de varianza de bloques al azar, ocho tratamientos de fertilización con cinco repeticiones y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Martínez, 1988), usando el programa SAS versión 9.2.

4.7.6. Análisis económico

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



Figura 4. Sitios experimentales en el área de influencia del Ingenio Pujiltic. a) Vista del Ingenio Pujiltic, b) Vista de la destilería de alcohol, c y d) Parcela experimental del Gleysol mólico antes de la aplicación de los tratamientos, e y f) Delimitación y trazado de las parcelas experimentales en el Calcisol Hipocálcico.



Figura 5. Aplicación de los tratamientos con vinaza. a) Fosa de vinazas en el Ingenio Pujilic, b) Medición de temperatura de la vinaza, c) Transporte de la vinaza en camión-cisterna al área experimental, d y e) aplicación de vinaza con manguera, en la parcela experimental, f) Medición de la temperatura del suelo después de la aplicación de la vinaza.



Figura 6. Aplicación de los tratamientos con composta de cachaza. a) Área de desalojo de la cachaza en el Ingenio Pujiltic, b) Proceso de composteo de la cachaza, c) Composta de cachaza a los 4 meses de composteo, d) Composta en sacos de 25 kg., e y f) Aplicación de la composta sobre las cepas de caña de azúcar.



Figura 7. Realización de muestreos. a) Muestreo de suelos utilizando barrena de acero inoxidable, b) Barrenación de 0 a 30 cm de profundidad sobre el surco de caña, c) Homogenización de las muestras de suelo, d) Identificación de las muestras de suelo, e) Selección de la hoja cuatro en el muestreo foliar, f) Guardado de muestras foliares en bolsas de papel perforadas.



Figura 8. Preparación de muestras y análisis químicos. a y b) Preparación de las muestras de suelo, molido y tamizado, c) Titulación para la determinación de materia orgánica, d) Muestra de suelo en proceso de digestado para determinar nitrógeno total, e) Molido de las muestras foliares, f) Lectura de fósforo vegetal en espectrofotómetro.



Figura 9. Último muestreo realizado a los 350 días. a y b) Corte y acarreo de caña para determinar el rendimiento, c) Separación de paja del tallo de caña, d) Pesado de tallos, e y f) Muestreo de suelos a dos profundidades al momento del corte.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Composición química del suelo y subproductos evaluados

a) Suelo

Los valores de pH en el GLmo y CLccw (Cuadro 6), se clasifican como moderadamente alcalinos (7.4 a 8.5, NOM-021-RECNAT, 2000), en donde la disponibilidad de K, Ca y Mg es alta y puede verse limitada la disponibilidad de P, Fe, Mn, B, Cu y Zn. Son ricos en MO y N. El contenido de P en el GLmo se clasifica como medio de 0 a 30 cm y bajo de 30 a 60 cm. En el CLccw el P es bajo de 0 a 30 cm y medio de 30 a 60 cm. En ambos suelos el K se clasifica como medio (NOM-021-RECNAT, 2000). Esta concentración no es suficiente para satisfacer la demanda de K del cultivo de caña, por lo que se debe incrementar la dosis de potasio para asegurar la fertilidad del suelo (Bolio *et al.*, 2006). El Ca, Mg y CIC se clasifican como altos. Lo anterior confirma los resultados obtenidos en el diagnóstico de fertilidad de ambos suelos realizado por Salgado *et al.* (2006b).

Cuadro 6. Composición química del suelo de las parcelas experimentales ubicadas en el área de influencia del Ingenio Pujilic.

Parcela	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	CIC
		Rel. 1:2	----- % -----	mg kg ⁻¹	----- cmol (+) kg ⁻¹ -----					
1. GLmo	0-30	7.5	5.9	0.29	7.3	0.48	69.11	9.87	0.41	34
	30-60	7.57	4.7	0.24	2.5	0.31	77.59	12.66	0.66	31.4
2. CLccw	0-30	7.41	4.7	0.24	2.4	0.35	61.23	6.09	0.07	35
	30-60	7.33	2.6	0.13	5.63	0.22	37.4	4.93	0.41	21.3

Prof= profundidad

b) Vinaza

Los resultados encontrados en el análisis químico de la vinaza muestran un pH de 4.3 (Cuadro 7), lo cual confirma su naturaleza ácida. Como ya se había mencionado la composición química de la vinaza es variable, sin embargo, se puede observar que sus principales componentes son la materia orgánica y el K, de ahí la importancia del uso de la vinaza como fuente de potasio en los cañaverales (Pennatti *et al.*, 2005, Cuellar *et al.*, 2002, Kodorfer y Anderson, 1993, y Gómez, 1992).

De acuerdo al aporte de NPK a través de la aplicación de las diferentes dosis de vinaza (Cuadro 8), se observa que las aportaciones de N y P son inferiores a las aplicaciones que realizan los productores a través de la fertilización química (160-80-80).

Cuadro 7. Composición química de la vinaza (kg m³), producida en el Ingenio Pujiltic, Chiapas.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	M.O	pH	CE
0.6	0.06	4	1.2	0.4	17	4.3	2.8 dS/m

Cuadro 8. Kilogramos de NPK aportados, de acuerdo a las dosis de vinaza aplicadas en el GLmo y CLwwc, en Pujiltic, Chiapas.

Elemento	Dosis aplicada			
	100 m ³	150 m ³	200 m ³	250 m ³
N	60	90	120	150
P ₂ O ₅	13.74	20.61	27.48	34.35
K ₂ O	400	450	800	1000

c) Composta de cachaza

Los resultados del análisis químico de la composta de cachaza (Cuadro 9), indican que sus principales componentes son la materia orgánica y N, lo que confirma su potencial como fertilizante nitrogenado (Scandaliaris *et al.*, 1990), aunque algunos autores reportan que su uso se debe principalmente al aporte de fósforo (Korndorfer y Anderson, 1993).

La cantidad de NPK, aportada al cultivo de caña, incrementa de acuerdo a la dosis aplicada (Cuadro 10), y se observa que con la dosis de 10 ton ha⁻¹ se aporta la misma cantidad de N que actualmente aplican los productores del Ingenio Pujiltic.

Cuadro 9. Composición química de la composta de cachaza producida en el Ingenio Pujiltic, Chiapas.

pH (H ₂ O) Rel. 1:2	CE dS m ⁻¹	MO ----- % -----	N -----	P -----	Fe mg kg ⁻¹	Cu -----	Zn -----	K -----	Ca -----	Mg -----	Na -----	CIC -----
7.8	2.5	59.8	1.6	411	87.3	16	20.8	6.37	56.4	13.82	0.48	31.1

Cuadro 10. Kilogramos de NPK aportados, de acuerdo a la dosis aplicada de composta de cachaza en el GLmo y CLwvc, en Pujiltic, Chiapas.

Dosis (t ha ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
10	160	9.4	29.8
15	240	14.1	44.7

5.2. Dinámica de nutrimentos en el suelo

5.2.1. pH

El análisis de varianza del pH en el GLmo (Cuadro 11) demuestra que existen diferencias altamente significativas entre las fuentes de fertilización (FF), siendo la fertilización con composta la que incrementó en promedio 0.2 unidades el valor del pH con respecto al valor inicial (Cuadro 6), y se observa que las dosis de vinaza mantuvieron un pH promedio de 7.6 igual que el testigo. En las fechas de muestreo (FM) se encontraron diferencias altamente significativas y se observa que después de la aplicación de los tratamientos (DAT) el pH de 7.5 se mantuvo estable hasta los 30 días, presentando ligeros incrementos a los 60 y 90 días DAT, alcanzando el valor más alto (7.8) a los 120 días DAT, y posteriormente disminuyó a los 360 días alcanzando un pH de 7.6. La interacción FF x FM no fue significativa.

En el análisis de varianza del pH en el CLccw (Cuadro 12), se encontraron diferencias altamente significativas entre FF, en donde se observa que la vinaza de 250 m³ ha⁻¹ mantuvo el pH inicial del suelo (Cuadro 6), y contrario a lo encontrado en el GLmo la fertilización con composta mantuvo un pH de 7.6 igual que el testigo. En las FM se encontraron diferencias altamente significativas, y se observa que el pH de 7.4 se mantuvo estable hasta los 30 días DAT, incrementando 0.2 unidades a los 60 y 90 días DAT, y a partir de los 120 días disminuye alcanzando su valor inicial a los 350 días DAT. La interacción FF x FM no fue significativa.

Cuadro 11. Dinámica del pH en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	7,5	7,6	7,7	7,7	7,8	7,6	7,6 ab
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7,5	7,5	7,6	7,7	7,8	7,6	7,6 b
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7,5	7,5	7,6	7,7	7,8	7,6	7,6 ab
160-80-80	7,5	7,5	7,7	7,8	7,8	7,6	7,6 ab
Composta (15 t ha ⁻¹)	7,6	7,6	7,7	7,8	7,8	7,5	7,7 a
Medias de fechas de muestreo	7,5 d	7,5 cd	7,7 b	7,7 ab	7,8 a	7,6 c	
C.V (%)	0,8						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0,01**						
Fechas de muestreo (FM)	0,0001**						
Interacción (F.F*FM)	0,10 NS						
DSM (F.F)	0,05						
DSM (FM)	0,06						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 12. Dinámica del pH en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	7.5	7.4	7.6	7.7	7.7	7.3	7.5 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.5	7.5	7.6	7.6	7.5	7.4	7.5 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.4	7.4	7.4	7.6	7.4	7.4	7.4 b
160-80-80	7.4	7.5	7.6	7.6	7.6	7.4	7.5 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	7.4	7.5	7.5	7.6	7.5	7.4	7.5 a
Medias de fechas de muestreo	7.4 b	7.4 b	7.6 a	7.6 a	7.5 a	7.4 a	
C.V (%)	1.02						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0008**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.57 NS						
DSM (F.F)	0.07						
DSM (FM)	0.08						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Los valores encontrados en ambos tipos de suelo siguen siendo moderadamente alcalinos como al inicio del experimento (Cuadro 6), por lo que se puede considerar que el uso de vinaza y composta no modifican el pH en un año de aplicación, y puede ser atribuido a que suelos arcillosos y ricos en MO, con una alta CIC, como es el caso del GLmo y el CLccw, tienen mayor capacidad tampón (Halvin *et al.*, 1999). Aunque es necesario tomar en cuenta que un año de

observaciones es poco tiempo para poder determinar el efecto acidificante de la vinaza. Scandaliaris *et al.* (1993), mencionan que a dosis bajas y controladas de vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no se presentan efectos negativos en el suelo

5.2.2. Conductividad eléctrica

El análisis de varianza de la CE en el GLmo (Cuadro 13), indica que hubo diferencias altamente significativas entre FF, FM y en la interacción FF x FM. En donde los tratamientos con vinaza mostraron los valores promedios más altos (0.4 dS m^{-1}). En las FM se observó que a los 15 días la CE fue de 0.5 dS m^{-1} , disminuyendo a partir de los 30 días hasta alcanzar un valor de 0.2 dS m^{-1} a los 120 días, indicando que al momento de la aplicación de los tratamientos existe aportación de sales y su disminución posiblemente se debe a la pérdida por lixiviación en el suelo o absorción por el cultivo. La interacción FF x FM demuestra que el factor tiempo determinó la cantidad de sales presentes en el suelo.

En el CLccw, el análisis de varianza (Cuadro 14), muestra que no hubo diferencias estadísticas entre FF, por lo que se puede considerar que el uso de vinaza y composta en este tipo de suelo no afectó la CE en un año de observaciones. En el factor FM se encontraron diferencias altamente significativas, en donde a los 15 días DAT se encontró una CE de 0.6 dS m^{-1} presentando disminución a partir de los 30 días hasta alcanzar un mínimo de 0.4 dS m^{-1} a los 90 días. La interacción entre FF x FM no fue significativa, de lo que se deduce que en este suelo el tipo de fertilizante no influyó en el contenido de sales a través del tiempo.

La dinámica de la CE observada en ambos sitios, refleja un comportamiento fluctuante el cual pudo estar influenciado por las precipitaciones que se presentan en los meses de mayo a octubre (Figura 2). Sin embargo, los niveles encontrados presentan efectos nulos por salinidad ($<2.0 \text{ dS m}^{-1}$, NOM-021-RECNAT, 2000) en el cultivo de caña de azúcar; lo que indica que en un año de estudio la aplicación de vinaza y composta de cachaza no tuvo efectos negativos en el suelo, y por ende en el cultivo de caña de azúcar. Pero se sugiere evaluar dicho efecto por un período de tiempo más prolongado (3 ó 4 años), para observar la respuesta del

suelo a la adición constante de estos subproductos, ya que Scandaliaris *et al.* (1997), observaron incrementos en tres años de aplicaciones consecutivas.

Cuadro 13. Dinámica de la CE (dS m^{-1}) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4 a
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0.6	0.5	0.4	0.4	0.2	0.3	0.4 a
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0.6	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4 a
160-80-80	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3 b
Composta (15 t ha^{-1})	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2 c
Medias de fechas de muestreo	0.5 a	0.4 b	0.3 cd	0.3 cd	0.2 d	0.3 c	
C.V (%)	17.21						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0001**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.003**						
DSM (F.F)	0.05						
DSM (FM)	0.06						

**.: Diferencias altamente significativas, *: Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 14. Dinámica de la CE (dS m^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	0.5 a
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0.6	0.6	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5 a
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0.7	0.6	0.7	0.4	0.6	0.6	0.6 a
160-80-80	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5 a
Composta (15 t ha^{-1})	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5 a
Medias de fechas de muestreo	0.6 a	0.5 abc	0.5 abc	0.4 c	0.5 c	0.6 ab	
C.V (%)	28.0						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.16 NS						
Fechas de muestreo (FM)	0.001**						
Interacción (F.F*FM)	0.77 NS						
DSM (F.F)	0.13						
DSM (FM)	0.15						

**.: Diferencias altamente significativas, *: Diferencias significativas, NS: No significativo.

5.2.3. Capacidad de intercambio catiónico

El análisis de varianza de la CIC en el GLmo y CLccw (Cuadros 15 y 16), indica que hubo diferencias altamente significativas en el factor fechas de muestreo.

En el GLmo antes de la aplicación de los tratamientos la CIC encontrada fue de 34 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ (Cuadro 6), la cual se redujo a 32.7 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ a los 15 días DAT, y no se observaron incrementos significativos en las siguientes fechas, concluyendo el ciclo del cultivo con un valor de 32.8 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$. En el CLccw la disminución fue mayor de 35 a 32.6 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ a los 15 días DAT, iniciando a partir de esta fecha cambios temporales de disminución, en donde a los 120 días DAT se observó el valor más bajo (32.4 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) el cual se recuperó a los 350 días DAT alcanzando un valor de 33.2 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$.

Sin embargo, los valores observados en ambos tipos de suelo indican una alta capacidad de intercambio cationico (25-40 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ NOM-02-RECNAT, 2000). Lo cual indica que son capaces de retener una gran cantidad de cationes como el NH_4^+ , K, Ca y Mg, y evitar su pérdida potencial por lixiviación (INPOFOS, 1997). Los valores de CIC encontrados coinciden con lo reportado por Salgado *et al.* (2006b), en los mismos tipos de suelo, y con los datos del análisis de suelo realizado antes de la aplicación de los tratamientos (Cuadro 6), por lo que se puede deducir que las aplicaciones con vinaza y cachaza no afectaron esta propiedad en un año de estudio.

Zérega (1993), reporta que la cachaza incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo, por la producción de humus; en el presente trabajo el incremento temporal se observó en todos los tratamientos en ambos sitios, por lo cual no se puede atribuir a ningún tratamiento sino a un efecto estacional. A pesar de que el uso de vinaza y composta no fue ventajoso en ambos tipos de suelos, tampoco resulto detrimental, por lo que tales subproductos constituyen una opción real para su aprovechamiento como abonos.

Cuadro 15. Dinámica de la CIC ($\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujilic, Chiapas.

Fuentes de fertilización	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	32.8	32.8	32.7	32.7	32.8	32.7	32.7 a
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	32.7	32.8	32.7	32.8	32.6	32.8	32.7 a
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	32.7	32.8	32.8	32.8	32.7	33.0	32.8 a
160-80-80	32.6	32.8	32.7	32.8	32.6	32.9	32.7 a
Composta (15 t ha^{-1})	32.6	32.8	32.7	32.7	32.6	32.8	32.7 a
Medias de fechas de muestreos	32.7 b	32.8 ab	32.7 ab	32.8 ab	32.7 b	32.8 a	
C.V (%)	0.49						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.8 NS						
Fechas de muestreo (FM)	0.01**						
Interacción (F.F*FM)	0.82 NS						
DSM (F.F)	0.15						
DSM (FM)	0.17						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 16. Dinámica de la CIC ($\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujilic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	32.4	32.5	32.4	32.8	32.3	33.3	32.6 a
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	32.8	32.5	32.5	32.2	32.2	33.3	32.6 a
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	32.5	32.5	32.5	32.6	32.4	33.2	32.6 a
160-80-80	33.5	32.5	32.7	32.5	32.6	33.2	33.7 a
Composta (15 t ha^{-1})	32.6	32.7	32.7	32.7	32.3	33.2	33.7 a
Medias de fechas de muestreo	32.6 b	32.5 bc	32.6 bc	32.5 bc	32.4 c	33.2 a	
C.V (%)	0.56						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.24 NS						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.06 NS						
DSM (F.F)	0.17						
DSM (FM)	0.19						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

5.2.4. Materia orgánica

Los resultados del análisis de varianza de la MO en el GLmo (Cuadro 17), muestran diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización, en donde los tratamientos con vinaza de $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y composta de cachaza

mostraron los mayores contenidos en el suelo, lo cual se debe a que con estos subproductos se aportaron grandes cantidades de MO (Cuadros 7 y 9), por lo que es de esperarse que a pesar del proceso de mineralización dicha propiedad se mantenga alta respecto al testigo.

Cuadro 17. Dinámica de la MO (%) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	5.6	4.4	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9 b
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	5.5	5.2	5.1	4.9	5.2	5.0	5.1 ab
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	5.6	6.2	5.4	5.05	5.4	5.2	5.5 a
160-80-80	5.7	5.3	5.3	5.1	5.1	4.8	5.2 ab
Composta (15 t ha ⁻¹)	5.2	6.1	5.5	5.2	5.5	5.0	5.4 a
Medias de fechas de muestreo	5.5 a	5.5 ab	5.3 ab	5.0 b	5.2 ab	4.9 b	
C.V (%)	8.9						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.009**						
Fechas de muestreo (FM)	0.009**						
Interacción (F.F*FM)	0.3 NS						
DSM (F.F)	0.4						
DSM (FM)	0.5						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 18. Dinámica de la MO (%) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilización	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	4.6	4.2	3.9	3.9	4.3	4.2	4.2 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	4.2	4.0	4.0	3.7	4.0	4.0	4.0 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	4.3	4.0	4.3	4.2	4.4	4.2	4.2 a
160-80-80	4.3	4.4	3.5	3.3	4.1	3.6	3.9 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	4.7	4.4	4.5	3.7	3.8	4.2	4.2 a
Medias de fechas de muestreo	4.4 a	4.2 a	4.0 ab	3.7 b	4.2 ab	4.0 ab	
C.V (%)	9.5						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.03*						
Fechas de muestreo (FM)	0.0006**						
Interacción (F.F*FM)	0.31 NS						
DSM (F.F)	0.36						
DSM (FM)	0.42						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

En las fechas de muestreo se encontraron diferencias altamente significativas, en donde el mayor contenido de MO (5.5 %) se observó en los primeros 30 días DAT y debido al proceso de mineralización disminuyó de forma gradual hasta alcanzar un contenido de 4.9 % a los 350 días DAT; la interacción FF x FM no fue significativa.

En el CLccw el análisis de varianza (Cuadro 18), muestra diferencias significativas entre fuentes de fertilización, en donde se observa que el testigo, la vinaza de 250 m³ ha⁻¹ y la composta presentan los mayores contenidos de MO (4.2 %). Se encontraron diferencias altamente significativas en las fechas de muestreo, observándose un comportamiento descendente a partir de los 15 días DAT llegando a un mínimo de 3.7 % a los 90 días DAT. La interacción FF x FM indica que el efecto de tratamientos no estuvo influenciado por el tiempo.

No obstante, en ambos suelos el contenido de MO se clasifica como alto en todos los tratamientos (3.6 - 6 %, Tavera, 1985). Penatti *et al.* (2005), observaron que al aplicar vinaza durante siete años consecutivos la MO incrementó 4 % respecto al testigo. Por lo que, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, la disminución de MO observada en el testigo evidencia la necesidad de abonar estos suelos, ya que dicha disminución afecta de manera negativa la estructura del mismo, convirtiéndose en un factor limitante para la producción de caña de azúcar.

La siembra continua año tras año del mismo campo, deteriora la fertilidad y productividad del suelo, de ahí la importancia de conservar la MO ya que ésta regula los procesos químicos, biológicos y físicos. La aplicación constante de vinaza y cachaza es una alternativa que puede ayudar a la conservación de dicha propiedad, además de que su uso como abono representa una solución para el Ingenio para eliminar de manera adecuada estos subproductos.

5.2.5. Nitrógeno total

El análisis de varianza del Nt en el GLmo y CLccw (Cuadro 19 y 20), muestra que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, e indica que no existió interacción en FF x FM.

Cuadro 19. Dinámica del Nt (%) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.7	0.3 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.7	0.3 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.3 a
160-80-80	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.7	0.3 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.3 a
Medias de fechas de muestreo	0.3 b	0.3 b	0.3 b	0.3 b	0.3 b	0.7 a	
C.V (%)	12.2						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.5 NS						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.99 NS						
DSM (F.F)	0.03						
DSM (FM)	0.04						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 20. Dinámica del Nt (%) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.3 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.3 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.3 a
160-80-80	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.3 a
Medias de fechas de muestreo	0.2 b	0.2 bc	0.2 bc	0.2 c	0.2 c	0.5 a	
C.V (%)	14.24						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.62 NS						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.27 NS						
DSM (F.F)	0.034						
DSM (FM)	0.039						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

En cuanto al factor fechas de muestreo se encontraron diferencias altamente significativas, y de acuerdo al contenido de Nt antes de la aplicación de los tratamientos (Cuadro 6), durante los primeros 120 días DAT se observó un comportamiento estable sin mostrar incrementos. Sin embargo, dichos valores se clasifican como muy ricos en el GLmo, y ricos en el CLccw (Tavera, 1985), esta condición estuvo influenciada por los contenidos de MO (Cuadros 17 y 18), por lo que es de esperarse que en el GLmo se encuentre el mayor porcentaje de Nt.

A los 350 días DAT el contenido de Nt incrementó en ambos suelos, debido a que en esta fecha ocurrió la mayor mineralización de la MO debido a la reducción de humedad e incremento de la temperatura (35 °C), permitiendo un medio favorable para la actividad de los microorganismos del suelo y dando como resultado la liberación de N orgánico. Esto evidencia que no se debe fertilizar a las socas y resocas después del destronque, ya que el suelo presenta altos contenidos de N que no pueden ser aprovechados por el cultivo en ese momento (Salgado *et al.*, 2003a). Además de que se pueden favorecer las pérdidas del fertilizante por escurrimiento horizontal y por lixiviación.

5.2.6. Nitrógeno inorgánico (NH_4^+ y NO_3^-)

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza del amonio, se observa que hubo diferencias significativas en los efectos de las fuentes de fertilización, en donde el tratamiento con vinaza de 150 m³ ha⁻¹ presentó el mayor contenido (51.9 mg kg⁻¹) en el GLmo (Cuadro 21), y en el CLccw fue la dosis de vinaza de 250 m³ ha⁻¹ (Cuadro 22) la que presentó el mayor contenido (47.3 mg kg⁻¹) seguido por la dosis de 150 m³ ha⁻¹ (45.4 mg kg⁻¹). En el factor fechas de muestreo se encontraron diferencias altamente significativas, observando que a partir de los 30 días DAT aumentó la liberación de amonio, mostrando el máximo (71.9 mg kg⁻¹) a los 60 días en el GLmo y a los 30 días en el CLccw (60.2 mg kg⁻¹), lo cual coincide con la disminución de la MO (Cuadros 17 y 18) debido al proceso de mineralización. Las concentraciones observadas se clasifican como altas (40 a 60 mg kg⁻¹, NOM-021-RECNAT, 2000).

Después de los 90 días la concentración de amonio empieza a disminuir alcanzando un mínimo de 32.0 mg kg⁻¹ a los 350 días en el GLmo y de 30.2 mg kg⁻¹ en el CLccw, dichos contenidos se clasifican como medios (20-40 mg kg⁻¹ NOM-021-RECNAT, 2000). Este dinamismo coincide con lo observado en la dinámica de MO y N, ya que estas variables están correlacionadas.

Cuadro 21. Dinámica del NH₄⁺ (mg kg⁻¹) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	27.6	26.3	70.1	60.5	23.2	27.1	39.1 b
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	24.0	50.8	83.1	60.0	53.5	39.6	51.9 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	24.4	56.6	65.3	52.7	26.8	32.1	43.0 ab
160-80-80	17.5	65.4	75.8	51.3	33.9	30.0	46.0 ab
Composta (15 t ha ⁻¹)	18.5	70.8	65.3	20.8	36.7	31.3	40.6 b
Medias de fechas de muestreo	22.4 d	54.0 b	71.9 a	49.1 b	34.9 c	32.0 dc	
C.V (%)	24.05						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.005**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.0001**						
DSM (F.F)	9.9						
DSM (FM)	11.4						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 22. Dinámica del NH₄⁺ (mg kg⁻¹) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	29.9	57.0	49.3	21.1	48.4	31.7	39.5 b
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	27.5	59.6	64.7	28.8	60.6	31.1	45.4 ab
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	27.2	63.8	49.1	55.5	52.7	35.6	47.3 a
160-80-80	31.0	58.0	58.3	42.4	39.8	21.0	41.7 ab
Composta (15 t ha ⁻¹)	24.2	62.8	54.8	30.0	40.8	31.6	40.7 ab
Medias de fechas de muestreo	28.0 c	60.2 a	55.2 ab	35.5 c	48.4 b	30.2 c	
C.V (%)	18.65						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.024*						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.002**						
DSM (F.F)	7.51						
DSM (FM)	8.62						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

En relación al NO_3^- en el GLmo se encontró que hubo diferencias significativas entre los efectos de las fuentes de fertilización (Cuadro 23) y que el testigo presentó el mayor contenido (30.9 mg kg^{-1}), seguido por la vinaza de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y la composta, clasificándose como óptimo ($20\text{-}40 \text{ mg kg}^{-1}$, NOM-021-RECNAT, 2000). Mientras que en el factor fechas se encontraron diferencias altamente significativas, observando que el NO_3^- tuvo un comportamiento fluctuante, en donde los contenidos, considerados deficientes para el cultivo (8.9 y 8.6 mg kg^{-1}), se encontraron a los 30 y 90 días DAT debido a las altas precipitaciones en la región (Figura 2) y por la remoción del cultivo.

La interacción FF x FM muestra diferencias altamente significativas, lo que indica que la presencia de NO_3^- en el suelo estuvo influenciada por el factor tiempo, ya que este involucra tanto las condiciones ambientales que afectan el proceso de nitrificación, como la absorción del nutriente por las raíces de la caña de azúcar. De 90 a 120 días (julio-agosto) ocurrió una disminución en la precipitación, lo que posiblemente favoreció la presencia de la forma nítrica (Ver figura 2).

En el CLccw, el análisis de varianza del NO_3^- (Cuadro 24) muestra que no se encontraron diferencias en fuentes de fertilización y los valores se clasifican como bajos para el cultivo. En las fechas de muestreo se observan diferencias altamente significativas, sin embargo los valores encontrados se clasifican como bajos en los primeros 120 días DAT, mostrando contenidos medios (31.9 mg kg^{-1}) a los 350 días.

El contenido de nitrato fue menor en comparación de amonio, lo anterior debido al exceso de humedad en el suelo, que favorece la presencia de la forma amoniacal, y que siendo el NO_3^- un anion puede perderse fácilmente por lixiviación, aunado a la absorción por el cultivo. En este suelo es necesario realizar el drenaje superficial, ya que excesos de humedad pueden favorecer las pérdidas del N por desnitrificación (Weier *et al.*, 2003). De lo anterior se deduce que la aplicación de vinaza en dosis de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en suelos GLmo y CLccw favoreció la presencia de NH_4^+ y NO_3^- , lo cual es conveniente para el cultivo, ya que estas son las formas solubles en que la caña de azúcar absorbe el nitrógeno que requiere para sus distintas funciones fisiológicas.

Cuadro 23. Dinámica del NO_3^- (mg kg^{-1}) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujilic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	14.7	10.3	27.0	6.4	58.3	68.9	30.9 a
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	23.0	8.8	45.8	6.3	66.0	6.0	26.0 ab
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	17.8	8.2	10.5	9.4	10.7	9.3	11.0 b
160-80-80	39.0	7.4	7.5	11.5	52.4	34.1	25.3 ab
Composta (15 t ha^{-1})	35.2	9.6	7.8	9.4	18.5	15.1	15.9 ab
Medias de fechas de muestreo	25.9 ab	8.9 b	20.0 ab	8.6 b	41.2 a	26.7 ab	
C.V (%)	93.28						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.03*						
Fechas de muestreo (FM)	0.0003**						
Interacción (F.F*FM)	0.03*						
DSM (F.F)	19.09						
DSM (FM)	21.89						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 24. Dinámica del NO_3^- (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujilic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	14.8	8.6	7.7	8.4	14.2	8.0	10.3 a
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	10.3	6.6	6.5	23.4	9.8	51.4	18.0 a
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	7.8	7.1	9.1	14.5	13.5	39.6	15.3 a
160-80-80	5.1	8.9	11.5	17.6	14.1	26.5	14.0 a
Composta (15 t ha^{-1})	11.3	6.8	10.1	38.2	10.0	34.2	18.4 a
Medias de fechas de muestreo	10.0 b	7.6 b	9.0 b	20.4 ab	12.3 b	31.9 a	
C.V (%)	81.75						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.28 NS						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.18 NS						
DSM (F.F)	11.65						
DSM (FM)	13.36						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

5.2.7. Fósforo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza del P en el GLmo (Cuadro 25), se observan diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización, siendo la composta el tratamiento con mayor contenido (9.9 mg kg^{-1}) considerado como óptimo para el cultivo (5.5 a 11 mg kg^{-1} , CSTPA, 1980). En las fechas de

muestreo se encontraron diferencias altamente significativas, y de acuerdo al contenido encontrado antes de la aplicación de los tratamientos (Cuadro 6), se observa que de los 15 a los 90 días DAT existieron incrementos de 1.2 y 3.1 mg kg⁻¹, lo que favorece el desarrollo radical del cultivo, así como la absorción de agua y nutrientes.

Cuadro 25. Dinámica del P (mg kg⁻¹) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	6.5	5.3	8.8	11.7	3.4	4.1	6.6 c
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	5.1	9.1	8.8	10.9	4.9	4.4	7.2 bc
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	6.9	6.6	9.13	9.7	5.1	4.0	6.9 c
160-80-80	19.9	8.2	10.1	9.4	5.6	3.5	9.4 ab
Composta (15 t ha ⁻¹)	8.4	13.3	12.8	10.3	9.8	4.9	9.9 a
Medias de fechas de muestreo	9.4 a	8.5 a	9.9 a	10.4 a	5.7 b	4.2 b	
C.V (%)	31.09						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0001**						
Fechas de muestreo (FM)	0.000**						
Interacción (F.F*FM)	0.0001**						
DSM (F.F)	2.3						
DSM (FM)	2.7						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 26. Dinámica del P (mg kg⁻¹) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	3.8	2.7	10.3	4.5	6.2	2.6	5.0 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	1.1	2.4	8.1	5.7	8.9	3.7	5.0 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	4.0	3.8	7.7	7.4	6.5	4.5	5.6 a
160-80-80	3.7	4.5	8.0	3.5	7.9	2.2	4.9 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	5.4	4.6	10.4	4.3	7.2	2.6	5.7 a
Medias de fechas de muestreo	3.6 b	3.6 b	8.9 a	5.1 b	7.4 a	3.1 b	
C.V (%)	39.32						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.62 NS						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.27 NS						
DSM (F.F)	1.94						
DSM (FM)	2.2						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Los contenidos de P disminuyeron a 4.2 mg kg^{-1} a los 350 días, valor que se considera bajo, por lo que para el próximo ciclo será necesaria la aportación de este nutriente. La interacción FF x FM mostró diferencias altamente significativas, lo que indica que la disponibilidad de P estuvo influenciada por el factor tiempo.

En el CLccw no hubo diferencias estadísticas entre fuentes de fertilización (Cuadro 26), sin embargo se observan incrementos de P respecto al contenido antes de la aplicación de los tratamientos (2.4 mg kg^{-1}), en donde la dosis de vinaza de $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y la composta presentaron contenidos clasificados como óptimos (5.6 y 5.7 mg kg^{-1}) para el cultivo de caña. El factor fechas muestra diferencias altamente significativas, encontrando niveles bajos a los 15 y 30 días DAT, y la mayor disponibilidad, clasificada como óptima, se encontró a los 60 y 120 días DAT.

5.2.8. Potasio

Los resultados del análisis de varianza del K, muestran diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización, en donde el tratamiento con vinaza de $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ presentó el mayor contenido de potasio seguido de la dosis de vinaza de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ tanto en el GLmo (Cuadro 27) como en el CLccw (Cuadro 28), dichos valores se clasifican como altos (0.6 a $1.3 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$, Etchevers *et al.*, 1971). De lo anterior se deduce que a dosis crecientes de vinaza, incrementa el contenido de potasio intercambiable en el suelo, lo que confirma lo reportado por Gómez (1992) y Penatti *et al.* (2005). Con aplicaciones por tres años consecutivos se pueden alcanzar incrementos de 35 % (Scandaliaris *et al.*, 1993).

Considerando el contenido de K antes de la aplicación de los tratamientos se observaron incrementos de $0.12 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ a los 15 días DAT, los cuales se mantuvieron estables hasta los 120 días. El incremento fue mayor a los 350 días DAT, en donde se observó un aumento de $2.28 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$. El mismo comportamiento fue observado por Subiros y Molina (1992), quienes reportan que en los primeros 4 meses DAT no hubo cambios significativos en el contenido de K, sin embargo al finalizar el ciclo del cultivo observaron incrementos de 1.08 cmol

(⁺) kg⁻¹ en el testigo y 2.98 cmol (⁺) kg⁻¹ en la dosis de vinaza de 150 m³ ha⁻¹. Dicho comportamiento podría deberse a la mineralogía del suelo (Gómez, 1992).

Cuadro 27. Dinámica del K (cmol (⁺) kg⁻¹) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	2.8	0.9 b
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	2.8	1.0 b
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	1.0	1.1	0.7	0.8	0.8	3.5	1.3 a
160-80-80	0.4	0.6	0.6	0.4	0.4	2.7	0.9 b
Composta (15 t ha ⁻¹)	0.4	0.6	0.5	0.4	0.4	2.4	0.8 b
Medias de fechas de muestreo	0.6 b	0.7 b	0.6 b	0.6 b	0.5 b	2.8 a	
C.V (%)	21.95						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0001**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.35 NS						
DSM (F.F)	0.19						
DSM (FM)	0.22						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 28. Dinámica del K (cmol (⁺) kg⁻¹) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.3	0.5	0.5	0.4	0.3	2.2	0.7 c
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	0.6	0.7	0.5	0.5	0.6	2.8	1.0 b
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	3.5	1.1 a
160-80-80	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	2.3	0.7 c
Composta (15 t ha ⁻¹)	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	2.4	0.6 c
Medias de fechas de muestreo	0.5 bc	0.6 b	0.5 bc	0.5 bc	0.4 c	2.6 a	
C.V (%)	18.7						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0001**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.0002**						
DSM (F.F)	0.14						
DSM (FM)	0.17						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

La importancia del K en el cultivo de caña se debe a que es el elemento que influye significativamente en la translocación de azúcares desde las hojas a los lugares de almacenamiento. Su deficiencia se refleja en una baja relación caña/azúcar y esto ocasiona menores ganancias para el agricultor y la fábrica

(Lazcano-Ferrat, 2004). Por lo que es conveniente considerar que el uso de vinaza como fuente de K es una alternativa que podría mantener e incrementar el rendimiento de caña.

5.2.9. Micronutrientes

a) Cobre

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza para Cu, se observan diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización en ambos suelos (Cuadros 29 y 30), y son los tratamientos con vinaza los que presentan los valores más altos, sin embargo se clasifican como marginales (0.2 a 2.0 mg kg^{-1} , NOM-021-RECNAT, 2000). Estas deficiencias pueden deberse al alto contenido de materia orgánica que favorece la formación de complejos orgánicos por el cobre (Buckman y Brady, 1993), los cuales son de difícil liberación.

No obstante, el hecho de que los tratamientos con vinaza revelen contenidos más altos respecto al testigo, puede ser un indicativo de que las aplicaciones constantes de vinaza pueden favorecer el incremento de los contenidos de cobre en el suelo. En las fechas de muestreo se encontraron diferencias altamente significativas en ambos tipos de suelo, en donde a los 60 y 90 días DAT se observan ligeros incrementos de Cu descendiendo a partir de los 120 días hasta alcanzar un contenido de 1 mg kg^{-1} a los 350 días, debido a la remoción de dicho nutriente por el cultivo.

b) Manganeseo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza para Mn, se observan diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización, en donde el tratamiento con vinaza de $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ presentó el mayor contenido en ambos suelos (Cuadros 31 y 32). Sin embargo, los contenidos de Mn encontrados en todos los tratamientos se consideran adecuados ($>1.0 \text{ mg kg}^{-1}$, NOM-021-RECNAT, 2000).

En el factor fechas de muestreo, se encontraron diferencias altamente significativas, observando la mayor disponibilidad de este nutriente en los primeros 30 días DAT, disminuyendo a partir de los 60 días posiblemente debido al consumo por el cultivo de caña. A los 350 días DAT, se observó un incremento en la disponibilidad del manganeso en todos los tratamientos, esto puede ser atribuido a que la disminución de humedad e incremento de la temperatura (Ver figura 2) favorece la disponibilidad de Mn. En general se observa que la aplicación de vinaza incrementa los contenidos de Mn en ambos suelos.

c) Zinc

El análisis de varianza del Zinc en el GLmo (Cuadro 33), indica que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. En fechas de muestreo se encontraron diferencias altamente significativas, en donde el mayor contenido se encontró en los primeros 30 días DAT, el cual disminuyó hasta alcanzar un contenido de 0.2 mg kg^{-1} a los 90 días, dicho comportamiento se atribuye al consumo por el cultivo.

En el CLccw (Cuadro 34), se encontraron diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización, siendo el tratamiento con composta el de mayor contenido de Zinc (0.4 mg kg^{-1}). En fechas de muestreo se observan diferencias altamente significativas, y la mayor disponibilidad de zinc se encontró a los 30 y 90 días DAT. Sin embargo, el valor promedio de Zn, se clasifica como marginal en ambas plantaciones (0.5 a 1.0 mg kg^{-1} , NOM-021-RECNAT, 2000). Salgado *et al.* (2006b), recomiendan la aplicación de 10 kg ha^{-1} de sulfato de zinc para corregir estas deficiencias.

Cuadro 29. Dinámica del Cu (mg kg^{-1}) en un GLmo, durante un año, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	1.4	0.9	1.2	2.1	0.5	0.8	1.1 b
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	1.6	1.2	1.4	2.0	0.8	0.9	1.3 b
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	1.8	2.2	1.6	1.9	1.4	1.5	1.7 a
160-80-80	0.9	0.8	1.3	1.7	0.6	0.9	1.0 b
Composta (15 t ha^{-1})	1.0	1.0	1.3	1.4	0.6	1.0	1.0 b
Medias de fechas de muestreo	1.3 b	1.2 b	1.4 b	1.8 a	0.8 c	1.0 bc	
C.V (%)	25.2						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0001**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.12 NS						
DSM (F.F)	0.29						
DSM (FM)	0.34						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 30. Dinámica del Cu (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.9	0.9	1.2	1.6	0.6	0.8	1.0 c
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	1.1	1.4	1.1	2.1	0.8	0.9	1.2 b
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	1.5	1.8	1.9	1.3	1.4	1.5	1.6 a
160-80-80	1.1	0.9	1.3	0.8	1.0	0.9	1.0 c
Composta (15 t ha^{-1})	1.1	1.2	1.5	1.0	1.1	1.0	1.2 bc
Medias de fechas de muestreo	1.1 bcd	1.2 abc	1.4 a	1.4 ab	1.0 d	1.0 cd	
C.V (%)	19.7						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0001**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.0001**						
DSM (F.F)	0.22						
DSM (FM)	0.25						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 31. Dinámica del Mn (mg kg^{-1}) en un GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	12.7	9.6	6.8	11.0	6.3	16.7	10.5 ab
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	13.2	16.5	8.4	7.8	6.1	16.2	11.4 ab
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	21.9	26.2	6.3	5.0	7.9	18.6	14.3 a
160-80-80	11.7	8.3	6.7	6.2	7.2	15.9	9.3 b
Composta (15 t ha^{-1})	9.7	9.6	7.4	6.1	6.5	15.8	9.2 b
Medias de fechas de muestreo	13.8 a	14.1 a	7.1 b	7.2 b	6.8 b	16.6 a	
C.V (%)	38.81						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.003**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.019**						
DSM (F.F)	3.98						
DSM (FM)	4.57						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 32. Dinámica del Mn (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	15.4	14.8	7.0	10.6	11.7	16.7	12.7 b
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	15.1	19.0	6.6	8.5	9.9	16.2	12.5 b
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	28.8	42.0	17.6	22.52	16.2	18.6	24.3 a
160-80-80	14.6	14.7	9.3	10.3	11.9	15.9	12.8 b
Composta (15 t ha^{-1})	13.8	16.2	14.3	12.3	13.3	15.8	14.3 b
Medias de fechas de muestreo	17.6 ab	21.4 a	10.9 c	12.9 bc	12.5 bc	16.6 ab	
C.V (%)	34.08						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0001**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.03*						
DSM (F.F)	4.89						
DSM (FM)	5.6						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 33. Dinámica del Zn (mg kg^{-1}) en el GLmo, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3 a
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0.4	0.4	0.2	0.2	0.6	0.2	0.4 a
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0.3	0.8	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4 a
160-80-80	0.4	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2	0.3 a
Composta (15 t ha^{-1})	0.4	0.6	0.3	0.2	0.5	0.3	0.4 a
Medias de fechas de muestreo	0.4 abc	0.5 a	0.3 bc	0.2 c	0.4 ab	0.3 bc	
C.V (%)	51.03						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.088 NS						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.4 NS						
DSM (F.F)	0.15						
DSM (FM)	0.18						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 34. Dinámica del Zn (mg kg^{-1}) en un CLccw, durante un año de observaciones, a una profundidad de 0-30 cm, en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	Días después de la aplicación de tratamientos						Medias de F.F.
	15	30	60	90	120	350	
Testigo	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2 c
Vinaza ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0.3	0.5	0.2	0.3	0.1	0.1	0.3 bc
Vinaza ($250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3 ab
160-80-80	0.2	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2 bc
Composta (15 t ha^{-1})	0.2	0.5	0.2	0.6	0.2	0.3	0.4 a
Medias de fechas de muestreo	0.3 bc	0.4 a	0.21 c	0.4 ab	0.2 c	0.2 c	
C.V (%)	35.1						
Prueba de F							
Fuentes de fertilizantes (F.F)	0.0001**						
Fechas de muestreo (FM)	0.0001**						
Interacción (F.F*FM)	0.21 NS						
DSM (F.F)	0.09						
DSM (FM)	0.10						

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

5.2.10. Propiedades químicas del suelo en dos profundidades

En el GLmo el análisis de varianza del pH (Cuadro 35), muestra diferencias significativas entre fuentes de fertilización cuando se mezclan las dos profundidades, siendo el tratamiento con composta el que presenta la media más

alta. Este aumento de 0.2 unidades con respecto al valor inicial (Cuadro 6), indica que es necesario observar que sucede con aplicaciones constantes por un período mas prolongado, ya que esto podría ser un factor limitante del uso de la cachaza debido a que entre más lejos se encuentre el pH de la neutralidad la absorción de los micronutrientes se verá limitada. Para el resto de las variables no se encontraron diferencias en los efectos de tratamientos.

En el factor profundidad el análisis de varianza de MO, N, P, Cu, Mn, K y CIC, muestra diferencias altamente significativas, en donde se observa que a medida que aumenta la profundidad del suelo disminuye el contenido de dichas variables. De lo que se puede deducir que no existió lixiviación de nutrientes. La interacción FF x P fue altamente significativa en el pH y Cu, no así para el resto de las variables.

En el CLccw el análisis de varianza del Cu y K (Cuadro 36), muestran diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización cuando se mezclan las dos profundidades, en donde la mayor aportación de estos nutrientes se obtuvo con el tratamiento de vinaza de $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

En el factor profundidad se encontraron diferencias altamente significativas en las variables pH, MO, N, P, K y CIC, en donde se puede observar que a medida que aumenta la profundidad disminuye el contenido de dichos elementos. En cuanto a las variables CE, Cu, Mn y Zn se observa que no hubo cambios en ambas profundidades. La interacción entre los factores fuentes de fertilizantes y profundidad fue significativa solo en la variable K. El hecho de que el mayor contenido de nutrientes se encuentre en los primeros 30 cm de profundidad del suelo, es importante para el buen desarrollo del cultivo de caña, ya que es el área en donde se localiza el 80 % de sus raíces (Salgado *et al.*, 2003a).

De acuerdo a los contenidos de K en el suelo antes de la aplicación de los tratamientos (Cuadro 6), se deduce que en ambos sitios hubo incrementos en las dos profundidades, lo que promueve un mejor desarrollo de raíces (Penatti *et al.*, 2005).

Cuadro 35. Propiedades químicas del GLmo en dos profundidades a los 350 días del experimento establecido en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	pH Rel. 1:2	CE dS m ⁻¹	MO ----- % -----	N -----	P -----	Cu ----- mg kg ⁻¹ -----	Mn	Zn	K ---- cmol (+) kg ⁻¹ ----	CIC
Medias de fuentes de fertilizantes										
Testigo	7.5 ab	0.25 a	3.6 a	0.38 a	1.96 a	0.74 b	12.54 a	0.28 a	2.70 a	33.00 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.5 ab	0.30 a	3.9 a	0.40 a	2.86 a	0.86 ab	14.04 a	0.25 a	2.67 a	33.08 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.5 ab	0.47 a	3.8 a	0.41 a	1.90 a	1.14 a	14.28 a	0.30 a	2.97 a	33.14 a
160-80-80	7.4 b	0.15 a	3.3 a	0.38 a	1.63 a	0.88 ab	11.63 a	0.28 a	2.50 a	33.10 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	7.7 a	0.26 a	3.6 a	0.40 a	2.64 a	0.85 ab	14.12 a	0.29 a	2.29 a	33.08 a
Medias de profundidad del suelo										
0 a 30 cm	7.5 a	0.33 a	4.9 a	0.67 a	4.21 a	1.03 a	16.63 a	0.24 a	2.84 a	32.83 b
30 a 60 cm	7.5 a	0.24 a	2.3 b	0.12 a	0.19 b	0.75 b	10.01 b	0.31 a	2.41 b	33.33 a
C.V (%)	1.4	81.67	12.23	14	38.71	24.72	26.27	32.05	15.57	0.38
Media	7.5	0.29	3.6	0.39	2.2	0.89	13.32	0.28	2.62	33.08
Prueba de F										
Fuentes Fert. (F.F)	0.05*	0.24 NS	0.27 NS	0.89 NS	0.10 NS	0.06 NS	0.61 NS	0.86 NS	0.10 NS	0.38 NS
Profundidad (P)	0.75 NS	0.35 NS	0.01**	0.0001**	0.0001**	0.003**	0.0001**	0.05 *	0.008**	0.0001**
Interacción (F.F*P)	0.01**	0.09 NS	0.63 NS	0.97 NS	0.55 NS	0.03**	0.52 NS	0.17 NS	0.28 NS	0.43 NS
DSM (F.F)	0.18	0.18	0.78	0.09	1.48	0.38	6.11	0.15	0.71	0.21
DSM (P)	0.08	0.08	0.34	0.04	0.65	0.16	2.68	0.06	0.31	0.09

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 36. Propiedades químicas del CLccw en dos profundidades a los 360 días del experimento establecido en Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilizantes	pH Rel. 1:2	CE dS m ⁻¹	MO ----- % -----	N -----	P -----	Cu ----- mg kg ⁻¹ -----	Mn	Zn	K cmol (+) kg ⁻¹	CIC
Medias de fuentes de fertilizantes										
Testigo	7.2 a	0.49 a	2.98 a	0.32 a	0.57 a	0.87 b	16.38 a	0.21 a	2.12 b	33.28 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.3 a	0.57 a	2.79 a	0.30 a	1.14 a	0.94 b	13.84 a	0.36 a	2.46 ab	33.28 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.2 a	0.50 a	2.79 a	0.33 a	1.36 a	1.54 a	15.86 a	0.21 a	2.97 a	33.28 a
160-80-80	7.3 a	0.67 a	2.47 a	0.28 a	0.43 a	1.12 b	15.20 a	0.17 a	2.20 b	33.26 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	7.3 a	0.59 a	2.92 a	0.35 a	0.49 a	1.08 b	16.95 a	0.20 a	2.38 b	33.26 a
Medias de profundidad del suelo										
0 a 30 cm	7.3 a	0.59 a	4.02 a	0.53 a	3.08 a	1.03 a	16.63 a	0.24 a	2.63 a	33.22 b
30 a 60 cm	7.2 b	0.53 a	1.56 b	0.09 b	1.48 b	1.19 a	14.66 a	0.21 a	2.22 b	33.33 a
C.V (%)	0.95	68.47	17.16	18.62	159.86	21.38	28.43	79.57	12.12	0.13
Media	7.3	0.56	2.79	0.31	0.8	1.11	15.65	0.23	2.42	33.28
Prueba de F										
Fuentes Fert. (F.F)	0.13 NS	0.92 NS	0.42 NS	0.30 NS	0.63 NS	0.001**	0.78 NS	0.46 NS	0.0009**	0.70 NS
Profundidad (P)	0.0001**	0.66 NS	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.08 NS	0.24 NS	0.62 NS	0.001**	0.0001**
Interacción (F.F*P)	0.76 NS	0.89 NS	0.52 NS	0.64 NS	0.37 NS	0.33 NS	0.56 NS	0.13 NS	0.04*	0.76 NS
DSM (F.F)	0.12	0.67	0.83	0.1	2.23	0.41	7.76	0.32	0.51	0.07
DSM (P)	0.05	0.29	0.36	0.04	0.98	0.18	3.41	0.14	0.22	0.03

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo

5.3. Diagnóstico nutricional

5.3.1. Nitrógeno

El análisis de varianza del N foliar muestra que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos, y que en el GLmo (Cuadro 37) el mayor contenido se encontró en los tratamientos con vinaza de 250 m³ ha⁻¹, fertilizante químico y composta, y en el CLccw (Cuadro 38) el mayor contenido se encontró en el tratamiento con vinaza de 150 m³ ha⁻¹, sin embargo los contenidos encontrados en ambos cultivos se clasifican como bajos para la caña de azúcar (Jones *et al.*, 1991).

Es posible que esta deficiencia se deba a que la disponibilidad de NO⁻³ a los 90 días fue baja, debido a los excesos de humedad (160 mm) que favorecen la forma amoniacal y la lixiviación del NO⁻³. Cuellar *et al.* (2002), mencionan que en suelos Gleysoles, se puede ver favorecida la pérdida de N por desnitrificación, debido a su lenta permeabilidad y deficiencia de oxígeno. Bajo condiciones alcalinas la reacción de equilibrio entre el ión amonio y el amoniaco se altera, el amonio se vuelve inestable lo que da lugar a pérdidas gaseosas de amoniaco. Los factores que influyen son: pH >7, presencia de carbonato de calcio, baja humedad y elevada temperatura.

5.3.2. Fósforo

El análisis de varianza del fósforo foliar en el GLmo (Cuadro 37), muestra diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización siendo los tratamientos con vinaza de 250 m³ ha⁻¹, la fertilización química y la composta, los que mostraron los contenidos más altos, dichos tratamientos presentaron contenidos óptimos en el análisis de suelo (Cuadro 25).

En el CLccw se encontraron diferencias significativas, en donde el tratamiento con vinaza de 150 m³ ha⁻¹ y la fertilización química presentaron los mayores contenidos 0.22 y 0.23 % respectivamente. Los contenidos encontrados en dichas

fuentes de fertilización se consideran óptimos para el cultivo de caña de azúcar (Jones *et al.*, 1991).

Cuadro 37. Contenido de nutrientes en el tejido foliar de caña de azúcar, con diferentes fuentes de fertilización en un suelo GLmo de Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilización	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	B
	%			mg kg ⁻¹					
Testigo	1.4 b	0.13 b	0.9 c	1.5 a	0.24 a	3.5 a	113.5 ab	10.2 a	21.9 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	1.5 b	0.14 b	1.2 a	1.1 b	0.20 ab	2.8 a	117.5 ab	14.1a	22.9 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	1.7 a	0.18 a	1.0 abc	0.9 c	0.16 b	3.0 a	153.5 a	10.1 a	19.0 a
160-80-80	1.7 a	0.19 a	1.1 ab	1.0 bc	0.23 a	3.4 a	102.5 ab	8.6 a	15.2 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	1.7 a	0.19 a	0.9 c	1.1 bc	0.23 a	3.9 a	94.5 b	10.1 a	14.9 a
Medias de fechas	1.59	0.17	1.03	1.1	0.21	3.3	116.0	10.71	18.77
C.V (%)	5.17	6.94	8.13	9.82	10.49	27.12	19.78	34.65	19.3
Prueba de F									
Tratamiento (T)	0.0002**	0.0001**	0.003*	0.0001**	0.001**	0.46 NS	0.03*	0.35 NS	0.02*
DSM (T)	0.15	0.02	0.18	0.24	0.05	2.0	51.87	8.36	8.17

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

Cuadro 38. Contenido de nutrientes en tejido foliar de caña de azúcar, con diferentes fuentes de fertilización en un suelo CLccw de Pujiltic, Chiapas.

Fuentes de fertilización	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	B
	%			mg k ⁻¹					
Testigo	1.8 ab	0.19 a	0.7 a	1.1 ab	0.27 b	4.4 a	93.0 a	11.7 a	18.7 ab
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	1.9 a	0.22 a	0.9 a	1.0 bc	0.24 b	4.7 a	111.0 a	14.6 a	12.7 b
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	1.7 ab	0.20 a	0.9 a	0.8 c	0.24 b	4.3 a	114.0 a	26.9 a	18.6 ab
160-80-80	1.5 b	0.23 a	0.7 a	1.3 a	0.31 b	5.1 a	119.0 a	11.5 a	19.0 ab
Composta (15 t ha ⁻¹)	1.6 b	0.18 a	0.9 a	1.0 abc	0.29 a	5.4 a	120.0 a	10.9 a	20.5 a
Medias de fechas	1.7	0.2	0.8	1.0	2.0	4.8	111.4	15.1	17.9
C.V (%)	6.2	10.8	24.7	11.9	13.7	23.7	19.4	71.7	17.5
Prueba de F									
Tratamiento (T)	0.003**	0.04*	0.41 NS	0.001**	0.05*	0.58 NS	0.44 NS	0.25 NS	0.03*
DSM (T)	0.24	0.05	0.46	0.27	0.08	2.55	48.8	24.39	7.06

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias significativas, NS: No significativo.

5.3.3. Potasio

El análisis de varianza del K foliar en el GLmo (Cuadro 37), muestra que existen diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización, y son los tratamientos con vinaza de 150 m³ ha⁻¹ y la fertilización química, los que presentan el mayor contenido de K clasificados como óptimos para la caña de azúcar (1.1-1.8 %, Jones *et al.*, 1991).

En el CLccw (Cuadro 38), no se encontraron diferencias entre tratamientos, y los contenidos encontrados se clasifican como bajos (0.90 -1 %, Jones *et al.*, 1991). Aunque los análisis de suelo reportan altos contenidos de K, este no pudo ser asimilado por las plantas debido al antagonismo de Ca y K.

5.3.4. Calcio

En el análisis de varianza de calcio foliar se encontraron diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización en el GLmo y en el CLccw (Cuadro 37 y 38). En el GLmo el testigo presentó el mayor contenido (1.5 %), y la fertilización química en el CLccw. Los contenidos encontrados en las diferentes fuentes de fertilización se clasifican como altos para el cultivo de caña de azúcar (Jones *et al.*, 1991). Esto debido a la abundancia de este elemento en el suelo (Cuadro 6).

5.3.5. Magnesio

El análisis de varianza del magnesio foliar muestra diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización en el GLmo (Cuadro 37), en donde el mayor contenido se encontró en el testigo, la fertilización química y la composta. En el CLccw se encontraron diferencias significativas, y es el tratamiento con composta el de mayor contenido. Los contenidos encontrados en ambos cultivos y en las diferentes fuentes de fertilización se consideran óptimos para el cultivo de caña de azúcar (0.10-0.35 %, Jones *et al.*, 1991).

5.3.6. Cobre

El análisis de varianza del cobre foliar muestra que no hubo diferencias entre fuentes de fertilización. Los contenidos encontrados en el GLmo (Cuadro 37) se consideran bajos (<4 mg kg⁻¹, Jones *et al.*, 1991) para el cultivo de caña, esto corrobora las deficiencias encontradas en el suelo (Cuadro 29). En el CLccw (Cuadro 38) los contenidos encontrados en los tratamientos de composta y fertilizante químico son óptimos (5-15 mg kg⁻¹, Jones *et al.*, 1991).

5.3.7. Hierro

El análisis de varianza del hierro foliar muestra diferencias altamente significativas entre fuentes de fertilización en el GLmo (Cuadro 37), en donde el tratamiento con vinaza de 250 m³ ha⁻¹ presenta el mayor contenido (153.5 mg kg⁻¹). En el CLccw (Cuadro 38) no se encontraron diferencias entre tratamientos. Sin embargo, los contenidos encontrados en ambos cultivos, y en las diferentes fuentes de fertilización, se consideran óptimos para el cultivo de caña de azúcar (40-250 mg kg⁻¹, Jones *et al.*, 1991).

5.3.8. Zinc

El análisis de varianza del zinc vegetal, muestra que no se encontraron diferencias entre fuentes de fertilización. Los contenidos encontrados en ambos sitios se consideran bajos para el cultivo de caña de azúcar (< 19 mg kg⁻¹, Jones *et al.*, 1991). Las deficiencias de zinc en la planta corroboran las deficiencias encontradas en la dinámica de nutrientes del suelo (Cuadros 33 y 34), y a lo reportado por Salgado *et al.*, (2006b).

5.3.9. Boro

El análisis de varianza del boro foliar muestra diferencias significativas entre fuentes de fertilización en ambos cultivos. En donde la mejor respuesta se encontró con el tratamiento de vinaza de 150 m³ ha⁻¹ en el GLmo (Cuadro 37), y el tratamiento de composta en el CLccw (Cuadro 38). De acuerdo a lo descrito por Jones *et al.* (1991), los contenidos encontrados en ambos cultivos, y en todos los tratamientos, se consideran óptimos para el cultivo de caña de azúcar. Esto corrobora lo reportado en el diagnóstico de fertilidad de ambos suelos realizado por Salgado *et al.* (2006b), quienes encontraron que el contenido de boro es adecuado para el cultivo de caña de azúcar.

5.4. Rendimiento de tallo

Los resultados del análisis de varianza del rendimiento indican que no hubo diferencias significativas entre fuentes de fertilización (Cuadro 39). Sin embargo, los tratamientos con fertilización química y la dosis de 10 t ha⁻¹ de composta, superan al testigo con 33 y 18 t ha⁻¹ respectivamente. La media de rendimiento fue de 106 ton ha⁻¹, con un coeficiente de variación de 22.3%, el cual se considera adecuado considerando que el experimento tenía una superficie de una hectárea.

Cuadro 39. Rendimiento de caña de azúcar en un GLmo, con diferentes fuentes de fertilización, en Pujilic, Chiapas.

No. De Tratamiento	Fuente de fertilización	Dosis	Rendimientos (ton ha ⁻¹)
1	Testigo	0	100 a
2	Vinaza	100 m ³ ha ⁻¹	89 a
3	Vinaza	150 m ³ ha ⁻¹	100 a
4	Vinaza	200 m ³ ha ⁻¹	100 a
5	Vinaza	250 m ³ ha ⁻¹	100 a
6	Fertilizante químico	160-80-80	133 a
7	Composta de cachaza	10 t ha ⁻¹	118 a
8	Composta de cachaza	15 t ha ⁻¹	111 a
CV (%):			22.3
Media:			106
Prob. de F Trat.			0.15 NS
DSH:			49.3

NS: No significativo

En un año de observaciones las dosis de vinaza presentaron nula respuesta en el rendimiento de tallos, debido a las condiciones de fertilidad del suelo. Lo cual coincide con lo observado por Subiros y Molina (1992), quienes en dos años de aplicación de vinaza no encontraron respuestas significativas. Sin embargo, Gómez y Rodríguez (2000), reportan aumentos en el rendimiento de 24 y 38 %, en primera y segunda soca respectivamente, aplicando 100 m³ ha⁻¹ de vinaza por tres años consecutivos en suelos ligeramente alcalinos (pH 7.4), similares a los evaluados en el presente trabajo. Por lo que podría esperarse un aumento en el rendimiento de tallos con aplicaciones constantes por tres o cuatro años, obteniendo resultados con mayor precisión.

Con la aplicación de 10 t ha⁻¹ de composta de cachaza se obtuvieron aumentos, no significativos, en el rendimiento de 18 t ha⁻¹ respecto al testigo, lo cual indica que su uso como abono puede ser una alternativa viable para los productores, y

una solución para los problemas de contaminación que enfrenta el Ingenio Pujiltilic. El rendimiento obtenido supera las 70 t ha⁻¹ reportado por Obrador *et al.* (1996), quienes aplicaron 40 t ha⁻¹ de cachaza sin previo composteo. Por lo que se puede deducir que el proceso de composteo disminuye el volumen de aplicación y aumenta los rendimientos de caña, confirmando lo reportado por Arreola *et al.* (2004).

El tratamiento testigo a pesar de presentar altos rendimientos de tallos, al no tener aportes de materia orgánica, al paso de algunos años, podría empezar a perder fertilidad. Lo cual desde el punto de vista de la sostenibilidad, no es deseable. La vinaza y la composta ayudan a conservar las propiedades del suelo y estadísticamente producen rendimientos iguales al obtenido con la fertilización química; por lo tanto, pueden ser consideradas como fuentes potenciales para la fertilización de la caña de azúcar en el área de influencia del Ingenio Pujiltilic.

5.5. Calidad de jugos

La calidad de los jugos de caña se define por los grados Brix, la sacarosa en caña, la pureza, azúcares reductores, fibra y humedad. El análisis de varianza para la calidad del jugo indica que no hubo diferencias significativas entre fuentes de fertilización (Cuadro 40). Lo cual indica que, en un año de observaciones, la fertilización con vinaza y composta de cachaza no modificaron la calidad del jugo. El mismo efecto fue observado por Subiros y Molina (1992), durante dos años de aplicación de vinaza. Berrocal (1988), reporta que el uso de vinaza no modifica la pureza del jugo, y que el uso de cachaza incrementa el porcentaje de sacarosa y pureza. Por lo que se puede deducir que su uso como fuentes de fertilizantes, para la caña de azúcar en el área de influencia del Ingenio Pujiltilic, no pondría en riesgo la calidad del jugo.

Cuadro 40. Calidad de jugos de caña de azúcar cultivada en un GLmo, con diferentes fuentes de fertilización, en Pujiltic, Chiapas.

No.	Fuentes de fertilizantes	Grados Brix	Sacarosa	Pureza	Azúcares Reductores	Fibra	Humedad
1	Testigo (0-0-0)	18.0 a	15.93 a	88.1 a	0.35 a	14.2 a	72.9 a
2	Vinaza 100 m ³ ha ⁻¹	17.1 a	15.37 a	89.8 a	0.39 a	14.3 a	72.0 a
3	Vinaza 150 m ³ ha ⁻¹	17.5 a	15.86 a	90.3 a	0.41 a	14.4 a	71.6 a
4	Vinaza 200 m ³ ha ⁻¹	17.3 a	15.33 a	88.5 a	0.41 a	13.5 a	71.0 a
5	Vinaza 250 m ³ ha ⁻¹	17.4 a	15.66 a	90.0 a	0.32 a	14.7 a	71.5 a
6	Fertilizante 160-80-80	17.4 a	15.51 a	89.1 a	0.36 a	14.5 a	71.6 a
7	C. de cachaza 10 t ha ⁻¹	17.5 a	15.73 a	89.6 a	0.33 a	14.8 a	71.8 a
8†	C. de cachaza 15 t ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-
	CV (%):	4.2	9.9	1.8	22.3	5.1	1.3
	Media:	17.5	15.6	89.3	0.37	14.3	71.8
	Prob. de F. Trats.	0.68 NS	0.78 NS	0.48NS	0.54 NS	0.30 NS	0.24 NS
	DSH	1.7	1.5	3.8	0.19	1.7	2.2

NS: No significativo.

† El laboratorio de campo del Ingenio Pujiltic, no entregó resultados de esta muestra.

5.3.4. Análisis económico

En el análisis económico (Cuadro 41), los costos variables representan la suma de costos de adquisición de la fuente de fertilización, transporte y aplicación. En los ingresos se considera el rendimiento de caña por el precio pagado por tonelada en la zafra 2006/07, el cual fue de \$ 417.02.

Los tratamientos con vinaza, resultaron ser los más costosos debido a que para la realización del experimento, se pagó transporte y aplicación. Sin embargo, los productores pueden aplicarla a través de los canales de riego, lo cual no generará costos. Lo anterior se sustenta con lo reportado por Berrocal (1988), quien encontró que los mayores beneficios netos/ha se obtienen con el uso de vinaza, debido a su menor costo de aplicación.

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. La tasa de retorno de capital variable (TRCV), más alta se logró con la fertilización química y la fertilización con composta de 10 t ha⁻¹. Las cuales, indican que por cada peso que el productor invierta en fertilizar recupera 4.6 y 2.3 pesos,

respectivamente; lo cual refleja la alta rentabilidad de la fertilización a la caña de azúcar.

Cuadro 41. Análisis económico de fuentes de fertilización en caña de azúcar, en el área de Influencia del Ingenio Pujiltic.

Trat. No.	Fuente de fertilización	Rendimiento t caña ha ⁻¹	C.V Ingreso		Incremento Rendimiento t ha ⁻¹	Incremento ingreso (\$ ha ⁻¹)	TRCV (\$ ha ⁻¹)
			(\$ ha ⁻¹)				
1	Testigo	100	-	41702	-	-	-
2	Vinaza 100 m ³ ha ⁻¹	89	3500	37114.7	-11	-4587.2	-1.31
3	Vinaza 150 m ³ ha ⁻¹	100	5250	41702	0	0	0
4	Vinaza 200 m ³ ha ⁻¹	100	7000	41702	0	0	0
5	Vinaza 250 m ³ ha ⁻¹	100	8750	41702	0	0	0
6	FQ: 160-80-80	133	2987	55463.6	33	13761.6	4.61
7	C. de cachaza 10 t ha ⁻¹	118	3160	49208.2	18	7506.2	2.38
8	C. de cachaza 15 t ha ⁻¹	111	4160	46289.2	11	4587.2	1.1

C.V = Capital variable, TRCV= Tasa de retorno del capital variable.

De lo observado durante un año de investigación, se deduce que la vinaza puede ser usada como fuente de K en el cultivo de caña ya que incrementa significativamente su contenido en el suelo, sin que afecte el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico del GLmo y el CLccw. Sin embargo, a pesar de la disponibilidad del K en el CLccw se reflejan deficiencias en el cultivo, lo cual es atribuido a la abundancia de Ca que limita su aprovechamiento. El rendimiento obtenido revela que la dosis de 150 m³ puede ser considerada como la óptima para el cultivo.

La respuesta de la fertilización con composta de cachaza sugiere que puede ser considerada como fuente de N sin afectar el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico del GLmo y el CLccw, sin embargo su aprovechamiento se ve limitado debido a los excesos de humedad, reflejando deficiencias en el cultivo. Los rendimientos obtenidos revelan que la dosis de 10 t ha⁻¹ puede considerarse como la óptima para el cultivo obteniendo rendimientos de 118 t ha⁻¹. Los efectos de la aplicación de vinaza y composta de cachaza, observados en las propiedades químicas del suelo, permiten considerar su uso como una alternativa para el Ingenio Pujiltic de eliminar dichos subproductos de manera adecuada sin afectar el medio ambiente.

VI. CONCLUSIONES

Con base en los objetivos planteados y a los resultados obtenidos en la presente investigación, se concluye lo siguiente:

- La concentración de nitrógeno y fósforo en la vinaza es insuficiente para los requerimientos nutricionales de la caña de azúcar. Sin embargo, puede ser usada como fuente de K..
- La concentración de nitrógeno en la composta de cachaza permite satisfacer la demanda del cultivo de caña de azúcar. Sin embargo, el aporte de fósforo y potasio es insuficiente.
- La aplicación de vinaza incrementa y permite conservar el contenido de materia orgánica en el suelo, sin afectar el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico.
- La aplicación de composta de cachaza incrementa y permite conservar el contenido de materia orgánica en el suelo, sin afectar el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico.
- En un año de fertilización con vinaza, no se ve incrementado el rendimiento de tallos, y no afecta la calidad de los jugos de caña.
- La fertilización con 10 t ha^{-1} de composta de cachaza permite obtener rendimientos de tallos de 118 t ha^{-1} , sin afectar la calidad de los jugos de caña.
- La fertilización química resulta ser la más económica debido a los rendimientos que se obtienen. Sin embargo, carece de los beneficios que a largo plazo generan los abonos orgánicos.

VII. LITERATURA CITADA

- Alcantar G. G. y Sandoval V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. pp. 41.
- Armida A. L., Obrador, O. J. J., Palma, L. D. J., Molina E. M. F. F., y Noverola L. U. 1998. Utilización de la cachaza en el cultivo de caña de azúcar. *In*: Memorias del VII Día del Cañero: Resultados de investigación en el cultivo de caña de azúcar. Campus Tabasco-IREGEP-CP. H. Cárdenas, Tabasco. Pp. 25-31.
- Armida A. L., Obrador O. J. J. Palma L. D. J., López N. U., y Molina E. M. F. F. 1999. La biomasa microbiana en la fertilidad de un suelo cañero, con diferentes dosis de cachaza. *Avances de Investigación 1996-1999*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México. 138 p.
- Arreola-Enriquez, J., D. J. Palma-Lopez, J. F. Juárez-López, J. J. Obrador-Olán, y L. Pastrana-Aponte. 1999. Cachaza composteada como abono organo-mineral en el cultivo de caña de azúcar. *In*: Memorias del VIII Día del Cañero: Resultados de investigación en el cultivo de caña de azúcar. Campus Tabasco-IREGEP-CP. H. Cárdenas, Tabasco. Pp. 25-31.
- Arreola-Enriquez, J., D. J. Palma-Lopez, S. Salgado-García, W. Camacho-Chiu, J. J. Obrador-Olan, J. F. Juárez-López y L. Pastrana-Aponte. 2004. Evaluación de abono órgano mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Revista Terra Latinoamericana*. Vol. 22. Núm. 3.
- 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. *Revista Agronomía Costarricense*. Costa Rica. pp. 147-153.
- Bolio L. G. I., S. Salgado G., D. J. Palma L., L. C. Lagunes-E., M. Castelán E., y J. D. Etchevers-B. 2006. Dynamic of potassium in Mexican soils under sugarcane. *Soil & Tillage Research*. 17 p.
- Buckman, H. O. y Brady, N. C. 1993. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. UTHEA-GRUPO NORIEGA EDITORES. México, D. F. 590 p.
- Camargo, O. A. de Andreau, F., Lobo, M.C. and Geraldi R.N. 1983. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaca por langto tempo. *Campinas, Instituto Agronómico. Boletín Técnico No. 76*. 30 p.

- CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México, D. F. México: CIMMYT. 79 p.
- Comité de la Agroindustria Azucarera, 2006. Producción de azúcar por clases, miel final y alcohol por Estados de la Republica, Zafra 2005-2006. <http://www.coaazucar.org/Coaazucar/menu6/final4.htm>. (Consultado 11 Junio 2007).
- CONAGUA. 2006. Servicio Metereologico Nacional. Estaciones climáticas de Chiapas. <http://smn.cna.gob.mx/>. (Consultado 06 Marzo 2007).
- Cruz, M. S. 1986. Abonos orgánicos. UACH. Chapingo, México. 129 p.
- Cuellar, A.I, Villegas D. R, León O. M y Pérez I. H. 2002. Manual de fertilización de la caña de azúcar en cuba. Ed. PUBLINICA. La Habana, Cuba. pp. 88 y 92.
- Cuellar A. I. A., De León O. M. E., Gómez R. A., Piñon G. D., Villegas D. R., y Santana A. I. 2003. Caña de azúcar: paradigma de sostenibilidad. 1^{era} ed. Ed. PUBLINICA. La Habana, Cuba. 120 p.
- Flores C. S. 2001. Las variedades de caña de azúcar en México. 1era. Edición. México. pp.62.
- GEPLACEA/PNUD. 1991. "La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar". 2da edición. Colección GEPLACEA. Serie Diversificación. México, D.F.
- Gliessman, S. R. 2002. AGROECOLOGÍA: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. LITOCAT, Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- Gómez T. J. M. 1992. Efecto de la vinaza sobre el contenido de potasio intercambiable en un suelo representativo del área cañera del Río Turbio. Revista VENEZUELOS. Edo. Lara. Venezuela.
- Gómez J. y Rodríguez O. 2000. Effects of vinasse on sugarcane (*Saccharum officinarum*) productivity. Revista de la facultad de agronomía Universidad del Zulia. Maracaibo. Vol. 17, No. 4, págs. 295-372 (Consultado 05 de enero del 2007). http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/julio_agosto2000/ra4006.pdf
- Halvin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizer. An introduction to nutrient management. 497 p. 6th ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.

- Instituto de la potasa y el fósforo. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. 159 p.
- Jones, B. J., Wolf. And A. Mills H. 1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia, USA. 213 p.
- Korndorfer G.H. and Anderson D.L. 1993. Impacto ambiental del uso de vinazas y cachaza en caña de azúcar en Brasil. Seminarios Interamericanos de Caña de azúcar. Miami, Florida, USA. pp. 169-175.
- Lazcano-Ferrat I. 2004. El potasio, esencial para un buen rendimiento en la caña de azúcar. Instituto de la Potasa y el Fósforo, A. C.
<http://www.inpofos.org/ppiweb/mexnca.nsf>. (Consultado 15 de octubre de 2007).
- Martín O. J. R., Galvez R. G., De Armas U. R., Espinoza O. R., Vigoa H. R. Y León M. A. 1987. La caña de azúcar en Cuba. Ed. Científico-Técnica. La Habana, Cuba. 350 p.
- Martínez G. A. 1988. Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría. Edit. Trillas. México, D. F. 756 p.
- Marino A. A. 1983. La planta viviente. Ed. Continental S. A de C. V. México. 271 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2^{da} Edition. Academic Press, London.
- Nahas, E., D. A. Banzatto, and L. C. Assis. 1990. Fluorapatite solubilization by *Aspergillus niger* in *vinasse medium*. Soil. Biol. Biochem. 22:1097-1101.
- Neves, M.C.P., Lima I.T. and Dobereiner J. 1983. Efeito de vinhaca sobre microflora do solo. Rev. Bras. Ci. Solo. 7:131-136.
- NOM-021-RECNAT. 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México. 88 p.
- Orlando F.J., Silva L.C.F. and Zambello Jr. E. 1983. Agricultural utilization of vinasse in Brasil by means of Tanks-trucs. Sugar Cane (2). 48 p.
- Obrador, O. J. J., Palma, L. D. J., Valdez, B. A. y López, N. U. 1996. Utilización de la cachaza en el cultivo de caña de azúcar. *In*: Memorias del V Día del Cañero: Resultados de investigación en el cultivo de la caña de azúcar. Campus Tabasco-IREGEP-CP. H. Cárdenas, Tabasco. Pp. 1-5.

- Obrador, O. J. J. y Palma, L. D. J. 1997. Aplicaciones de cachaza en un suelo cañero. *In: Memorias del VI Día del cañero: Resultados de investigación en caña de azúcar.* Campus Tabasco-IREGEP-CP. H. Cárdenas, Tabasco. pp. 7-11.
- Obreza, T.A., A. K. Alva and D.V. Calvert. 1993. Citrus fertilizer management on calcareous soils. Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_CH086.
- Palma L. D. J., Salgado G: S., Obrador O. J. J., Trujillo N. A., Lagunes E. L. Del C., Zavala C. J., Ruiz B. A., y Carrera M. M. A. 2002a. Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilización en Caña de Azúcar. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 20, número 003. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. pp. 347-358.
- Palma-López D. J. y A. Triano S. (Comps.) 2002. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco, Vol. II. Ed. COLEGIO DE POSTGRADUADOS-ISPROTAB. Villahermosa Tabasco, México. 180 p.
- Penatti C. P., De Araújo J. V. Donzelli J. L., De Souza S. A. V., Forti J. A. y Ribeiro R. 2005. Vinasse: A liquid fertiliser. *International Society of Sugar Cane Technologists. Proceedings of the XXV Congress.* Vol. 1. Atagua, Guatemala.
- Perdigon M. S. M., De la Cruz S. R., Obregón L. J., y Curbelo T. I. 2005. Las vinazas de los jugos de caña energética más miel final y su impacto sobre el medio ambiente en la destilería Paraíso de la Provincia de Santi Spíritus. *Centro Universitario José Martí Pérez. Santi Spiritus.* 10 p.
- Porta C. J., López-Acevedo R. M., y Roquero de Laburu Carlos. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente.* 3ª edición. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 960 pp.
- Rodríguez S. F. 1982. *Fertilizantes y nutrición mineral.* AGT Editor, S. A. México, D. F. 157 p.
- Rodríguez C. R. 1994. *El cultivo de la caña de azúcar en México.* Universidad Autónoma Chapingo. México. 162 p.
- Samuels, G. 1982. Possible agricultural and industrial uses of distillery waste in Puerto Rico. *J. Am. Soc. Sugar-Cane Tech.* 1:62-67.
- SAS Institute. 1995. *SAS/STAT. Guide for Personal Computers.* Versión 9.1. SAS Institute, Cary, N.C. USA. 1028 p.
- Scandalaris J., Dantur C. N. y Pérez Z. F. 1990. Influencia de la época de fertilización con cachaza y vinaza sobre la respuesta de la caña soca. *Rev. Ind. y Agrícola de Tucumán:* pp. 69-77.

- Scandalaris J., Pérez S. F., Dantur N., Martín L. 1993. Uso agrícola de efluentes de la agroindustria de la caña de azúcar. Seminarios Interamericanos de Caña de azúcar. Miami, Florida, USA. pp. 175-187.
- Sánchez F. M. 1995. Aspectos agronómicos y socioeconómicos de la actividad azucarera mexicana. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco. Edo. De México. pp. 30.
- Salgado G., S. D. J. Palma L. y J. Cisneros D. (Eds.) 1999. Manual de procedimientos para el muestreo de suelos , plantas y aguas e interpretación en cultivos tropicales. Campus Tabasco, CP-ISPROTAB. Villahermosa, Tab. 76 p.
- Salgado G. S. Bucio A. L. Riestra D. D. y Lagunes E. L. C. 2003a. CAÑA DE AZÚCAR: Hacia un manejo sustentable. 1era. ed. Villahermosa, Tabasco, México.
- Salgado G. S., R. Núñez E. y L. Bucio A. 2003b. Determinación de la dosis optima económica de fertilización en caña de azúcar. Terra. 21(2):267-272.
- Salgado G. S. Palma L. D.; Núñez E. E. Lagunes E. L. C.; Debernardi V. H. y Mendoza H. R. H. 2006a. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 210 p.
- Salgado G. S.; Palma L. D.; Zavala C. J.; Lagunes E. L. C.; Castelán E. M.; Ortiz G. C. F; Juárez L. J. F. y Rincón R. J. A. 2006b. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Pujiltilic. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 105 p.
- Subirós J. F. y Molina E. 1992. Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un inceptisol de Guanacaste, Costa Rica. Agronomía Costarricense 16 (1): 55-60.
- Subiros R. F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. 1era. Edición. San José Costa Rica. Ed. Universidad Estatal a Distancia. 448 p.
- Tavera G. G. 1985. Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes del laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación 3, SMCS, Delegación la Laguna, Matamoros Coahuila.
- Terumi S. L. Asiss C. L. Ademir J. de O. y Nahas E. 2006. Mineralización de la paja de caña de azúcar en el suelo adicionado con vinaza (subproducto de la industria del alcohol de caña de azúcar) y fertilizante nitrogenado.

Unión Nacional de Cañeros. 2007. Empleos generados.
<http://www.caneros.org.mx/principal.html>. (Consultado 08 de junio de 2007).

Velarde S. E., De L. O. M., Cuellar A. I. A. y Villegas D. R. 2004. Producción y Aplicación de Compost orientado a las condiciones de la agroindustria azucarera. 1era. Ed. La Habana, Cuba. 182 p.

Weier K. C., McEwan C. W., Vallis I., Catchoole V. R. and Myers R. J. 1996. Potential for biological denitrification of fertilizer nitrogen in sugarcane soils. Aust. J. Agric. Res. 47:67-79.

Zerega M. L. 1993. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. (Consultado 08 de enero del 2007).
<http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/cana/cana1102/texto/manejo.htm>

Tabla I. Composición química del suelo Gleysol mólico, previo a la aplicación de los tratamientos.

Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	CIC
	Rel. 1:2	----- % -----	-----	mg kg ⁻¹	-----	-----	cmol (+) kg ⁻¹	-----	-----
0-30	7.5	5.9	0.29	7.3	0.48	69.11	9.87	0.41	34.0
30-60	7.5	4.7	0.24	2.5	0.31	77.59	12.66	0.66	31.4

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	M.O	pH	CE
0.6	0.06	4	1.2	0.4	17	4.3	2.8 dS/m

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 -----
7.8	2.5	59.8	1.6	411	87.3	16	20.8	6.37	56.4	13.82	0.48	31.1

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	Walkley y Black.	Titulación con FeSO ₄
Nitratos y amonios	Difusión de gas.	Espectrofotometría de absorción atómica a 590 nm
Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)	Tiurea de plata 0.01 M.	Espectrofotometría de absorción atómica a 328.1 nm de longitud de onda.
Nitrógeno total	Semimicro-kjeldahl.	Titulación con H ₂ SO ₄
Fósforo asimilable	Olsen.	Cuantificación colorimétrica a 882 nm.
Potasio	Tiurea de plata 0.01 M.	Espectrofotometría de absorción atómica a 328.1 nm de longitud de onda.
Manganeso, cobre y zinc	DTPA .	Espectrofotometría de absorción atómica.

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
Potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y cobre.	Digestión con HNO ₃ -HClO ₄ .	Cuantificación por espectrofotometría de Absorción Atómica.
Fósforo total	Digestión con HNO ₃ -HClO ₄ .	Cuantificación colorimétrica a 470 nm.
Boro	Azometina-H	Cuantificación con espectrofotómetro a 420 nm.

Tabla VI. Dinámica de nutrientes en un año de observaciones, con diferentes fuentes de fertilización en un Gleysol mólico.

Muestras	Fuentes de Fertilización (FF)	pH	CE	MO	N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	Cu	Mn	Zn	CIC	K
		(H ₂ O) rel. 1:2	dS m ⁻¹	%					mg kg ⁻¹				-- cmol (+) kg ⁻¹ --
15DDA	Testigo	7.46 a	0.54 ab	5.58 a	0.30 a	27.63 a	14.70 b	6.56 b	1.35 a	12.70 a	0.45 a	32.72 a	0.54 b
	Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.45 a	0.58 a	5.54 a	0.27 a	23.95 a	22.94 ab	5.07 b	1.58 a	13.18 a	0.41 a	32.67 a	0.61 b
	Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.50 a	0.62 a	5.65 a	0.28 a	24.40 a	17.76 ab	6.96 ab	1.82 a	21.94 a	0.34 a	32.66 a	0.97 a
	160-80-80	7.45 a	0.48 ab	5.71 a	0.28 a	17.42 a	38.96 a	19.89 a	0.94 a	11.71 a	0.35 a	32.56 a	0.44 b
	Composta (15 t ha ⁻¹)	7.61 a	0.36 b	5.18 a	0.28 a	18.53 a	35.20 a	8.35 ab	0.98 a	9.68 a	0.38 a	32.63 a	0.39 b
	Prueba de F. de FF: CV (%):	0.07 NS 0.88	0.01** 14.01	0.33 NS 5.62	0.66 NS 6.9	0.19 NS 23.84	0.02* 32.64	0.02* 49.66	0.24 NS 37.5	0.29 NS 48.49	0.92 NS 42.91	0.70 NS 0.4	0.002** 20.06
30DDA	Testigo	7.60 a	0.38 b	4.44 b	0.25 a	26.31 b	10.31 a	5.26 b	0.90 b	9.64 b	0.30 a	32.75 a	0.43 c
	Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.51 a	0.50 ab	5.23 b	0.26 a	50.79 a	8.77 a	9.20 ab	1.16 b	16.52 ab	0.38 a	32.73 a	0.74 b
	Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.48 a	0.58 a	6.18 a	0.27 a	56.60 a	8.23 a	6.59 b	2.18 a	26.21 a	0.40 a	32.78 a	1.10 a
	160-80-80	7.52 a	0.37b	5.33 ab	0.25 a	65.44 a	7.34 a	8.16 ab	0.84 b	8.28 b	0.77 a	32.85 a	0.62 bc
	Composta (15 t ha ⁻¹)	7.56 a	0.36 b	6.14 a	0.28 a	70.81 a	9.56 a	13.33 a	1.06 b	9.60 a	0.58 a	32.81 a	0.63 bc
	Prueba de F. de FF: CV (%):	0.17 NS 0.72	0.01** 15.06	0.002** 6.82	0.48 NS 9.08	0.0009** 14.3	0.69 NS 30.03	0.006** 22.02	0.0005** 18.29	0.015** 37.59	0.07 NS 37.28	0.27 NS 0.19	0.0007** 15.36
60DDA	Testigo	7.65 abc	0.36 a	4.92 a	0.22 a	70.13 a	26.60 ab	8.76 a	1.19 a	6.77 a	0.23 a	32.63 a	0.50 b
	Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.63 c	0.41 a	5.18 a	0.27 a	83.13 a	45.87 a	8.81 a	1.35 a	8.36 a	0.24 a	32.75 a	0.59 ab
	Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.64 bc	0.39 a	5.40 a	0.25 a	65.29 a	10.51 a	9.13 a	1.58 a	6.26 a	0.23 a	32.77 a	0.74 a
	160-80-80	7.73 a	0.25 a	5.26 a	0.24 a	75.85 a	7.52 b	10.11 a	1.32 a	6.73 a	0.21 a	32.73 a	0.55 ab
	Composta (15 t ha ⁻¹)	7.71 ab	0.22 a	5.51 a	0.27 a	65.28 a	7.80 b	12.81 a	1.34 a	7.35 a	0.30 a	32.70 a	0.48 b
	Prueba de F de FF: CV (%):	0.009** 0.39	0.03* 21.58	0.43 NS 7.27	0.17 NS 10.25	0.46 NS 18.43	0.01** 57.9	0.15 NS 19.95	0.18 NS 12.52	0.51 NS 21.03	0.54 NS 25.47	0.23 NS 0.21	0.01** 12.56
90DDA	Testigo	7.67 b	0.38 a	4.86 a	0.26 a	60.53 a	6.38 a	11.69 a	2.08 a	11.08 a	0.20 a	32.68 a	0.55 ab
	Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.67 b	0.36 ab	4.90 a	0.26 a	60.04 a	6.30 a	10.86 a	2.02 a	7.75 a	0.24 a	32.79 a	0.57 ab
	Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.72 ab	0.31 ab	5.05 a	0.26 a	52.65 ab	9.38 a	9.74 a	1.98 a	5.04 a	0.28 a	32.80 a	0.76 a
	160-80-80	7.75 ab	0.29 ab	5.09 ^a	0.27 a	51.36 ab	11.51 a	9.41 a	1.72 a	6.16 a	0.14 a	32.77 a	0.43 b
	Composta (15 t ha ⁻¹)	7.80 a	0.16 b	5.20 a	0.27 a	20.76 b	9.37 a	10.29 a	1.38 a	6.12 a	0.18 a	32.68 a	0.43 b
	Prueba de F de FF: CV (%):	0.02* 0.53	0.03* 23.63	0.92 NS 10.35	0.71 NS 7.6	0.03* 28.08	0.46 NS 45.02	0.75 NS 21.89	0.23 NS 20.93	0.21 NS 41.73	0.22 NS 33.29	0.64 NS 0.4	0.009** 15.8
120DDA	Testigo	7.75 a	0.40 a	4.99 a	0.23 a	23.24 b	58.33 a	3.35 b	0.54 b	6.28 a	0.18 a	32.76 a	0.42 b
	Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.76 a	0.24 bc	5.21 a	0.24 a	53.51 a	65.95 a	4.89 b	0.84 ab	6.12 a	0.60 a	32.60 a	0.58 ab
	Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.79 a	0.32 ab	5.43 a	0.26 a	26.83 ab	10.69 a	5.07 b	1.35 a	7.93 a	0.40 a	32.69 a	0.80 a
	160-80-80	7.84 a	0.18 bc	5.06 a	0.25 a	33.91 ab	52.41 a	5.59 b	0.62 b	7.23 a	0.36 a	32.60 a	0.37 b
	Composta (15 t ha ⁻¹)	7.76 a	0.16 c	5.45 a	0.26 a	36.75 ab	18.48 a	9.83 a	0.60 b	6.46 a	0.50 a	32.60 a	0.44 b
	Prueba de F. de FF: CV (%):	0.15 NS 0.55	0.005** 21.17	0.49 NS 7.14	0.77 NS 15.88	0.03* 28.02	0.04* 53.39	0.006** 25.48	0.004** 24.01	0.50 NS 20.37	0.54 NS 74.66	0.16 NS 0.26	0.005** 19.44
350DDA	Testigo	7.57 a	0.49 a	4.90 a	0.66 a	27.15 a	68.91 a	4.14 a	0.80 b	16.70 a	0.22 a	32.67 a	2.76 a
	Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	7.56 a	0.31 b	5.01 a	0.67 a	39.63 a	6.05 a	4.41 a	0.93 ab	16.16 a	0.20 a	32.83 a	2.84 a
	Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	7.59 a	0.33 b	5.17 a	0.70 a	32.11 a	9.26 a	4.03 a	1.53 a	18.64 a	0.32 a	32.96 a	3.53 a
	160-80-80	7.57 a	0.28 b	4.84 a	0.65 a	30.04 a	34.12 a	3.49 a	0.85 ab	15.86 a	0.18 a	32.87 a	2.71 a
	Composta (15 t ha ⁻¹)	7.54 a	0.23 b	5.01 a	0.67 a	31.27 a	15.12 a	4.96 a	1.04 ab	15.80 a	0.30 a	32.82 a	2.39 a
	Prueba de F de FF: CV (%):	0.98 NS 1.38	0.002** 15.59	0.94 NS 10.68	0.94 NS 11.24	0.35 NS 22.27	0.42 NS 161.91	0.6 NS 26.39	0.03* 23.37	0.89 NS 24.35	0.29 NS 36.06	0.19 NS 0.39	0.11 NS 15.67

DDA = días después de la aplicación. ** = Diferencias altamente significativas, * = Diferencias significativas y NS= No significativo.

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	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	B
	%					mg kg ⁻¹			
Testigo	1.4 b	0.13 b	0.9 c	1.5 a	0.2 a	3.5 a	113.5 ab	10.2 a	21.9 a
Vinaza (150 m ³ ha ⁻¹)	1.5 b	0.14 b	1.2 a	1.1 b	0.2 ab	2.8 a	117.5 ab	14.1 ^a	22.9 a
Vinaza (250 m ³ ha ⁻¹)	1.7 a	0.18 a	1.0 abc	0.9 c	0.2 b	3.0 a	153.5 a	10.1 a	19.0 a
160-80-80	1.7 a	0.19 a	1.1 ab	1.0 bc	0.2 a	3.4 a	102.5 ab	8.6 a	15.2 a
Composta (15 t ha ⁻¹)	1.7 a	0.19 a	0.9 c	1.1 bc	0.2 a	3.9 a	94.5 b	10.1 a	14.9 a
Medias de fechas	1.59	0.17	1.03	1.1	0.21	3.3	116.0	10.71	18.77
C.V (%)	5.17	6.94	8.13	9.82	10.49	27.12	19.78	34.65	19.3
Prueba de F									
Tratamiento (T)	0.0002**	0.0001**	0.003*	0.0001**	0.001**	0.46 NS	0.03*	0.35 NS	0.02*
DSM (T)	0.15	0.02	0.18	0.24	0.05	2.0	51.87	8.36	8.17

** : Diferencias altamente significativas, * : Diferencias altamente significativas, NS: No significativo.

Tabla VIII. Rendimiento y calidad de jugos de caña de azúcar con diferentes tratamientos de fertilización en un Gleysol mólico.

Fuentes de fertilizantes	Producción Caña (t/ha)	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 150 m ³ ha ⁻¹	100 a	17.5 a	15.86 a	90.3 a	0.41 a	14.4 a	71.6 a
Vinaza 250 m ³ ha ⁻¹	100 a	17.4 a	15.66 a	90.0 a	0.32 a	14.7 a	71.5 a
Fertilizante 160-80-80	133 a	17.4 a	15.51 a	89.1 a	0.36 a	14.5 a	71.6 a
C. de cachaza 15 t 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. Trats.	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

NS: Diferencias no significativo.

† El laboratorio de campo del ingenio Pujiltic, no entregó resultados de esta muestra.

Tabla IX. Análisis económico de los tratamientos de fertilización en caña de azúcar, Pujiltic.

Fuente de fertilización	Rendimiento t ha ⁻¹	C.V	Ingreso	Incremento Rendimiento t ha ⁻¹	Incremento ingreso (\$ ha ⁻¹)	TRCV (\$ ha ⁻¹)
		(\$ ha ⁻¹)				
Testigo	100	-	41702	-	-	-
Vinaza 150 m ³ ha ⁻¹	100	5250	41702	0	0	0
Vinaza 250 m ³ ha ⁻¹	100	8750	41702	0	0	0
FQ: 160-80-80	133	2987	55463.6	33	13761.6	4.61
C. de cachaza 15 t ha ⁻¹	111	4160	46289.2	11	4587.2	1.1

C.V = Capital variable, TRCV= Tasa de retorno de capital variable.