

# Producción de abono orgánico a partir de cachaza y tallos de caña de azúcar recuperados de las carreteras

Rolando Cifuentes<sup>1</sup>, Roberto de León<sup>2</sup> & Carlos Porres<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, CEAF <sup>2</sup>Centro de Ingeniería Bioquímica, CIB

<sup>3</sup>Investigador Asociado del CIB-UVG, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** En la costa sur del país cada época de zafra se generan aproximadamente de 3,000 a 5,000 toneladas de desechos de caña (caña que cae de los camiones que la transportan y que luego es aplastada por los vehículos en circulación) durante su transporte al ingenio. Con el fin de evaluar la posibilidad de convertir dichos desechos en abono orgánico (compost) se llevó a cabo el presente estudio con los siguientes objetivos: a) seleccionar el equipo más adecuado para fraccionar la caña deteriorada, b) establecer las mezclas de caña picada y cachaza más adecuadas y c) evaluar la calidad del abono orgánico mediante análisis de laboratorio y pruebas agronómicas. Se llevaron a cabo ensayos durante la zafra 2008-2009 y 2009-2010 en el campo experimental agrícola de UVG campus sur a una altitud de 292 msnm. Se ensayaron mezclas de caña picada-cachaza con 0, 25, 50, 75 y 100 % de caña picada. A estas camas se les volteó 2 veces por semana y no se les adicionó nitrógeno (N) a pesar que la relación C/N varió de 18 a 70:1. A lo largo del proceso que tardó aproximadamente 120 días, se registró la temperatura, contenido de nitrógeno, carbono (C), relación C/N, densidad aparente, humedad, cenizas, pH e índice de madurez. Al final del proceso se realizaron pruebas de fitotoxicidad del material composteado, análisis químico completo del compost y se realizaron pruebas agronómicas. Se determinó que como parte del proceso de producción de compost a partir de la caña deteriorada, es necesario llevar a cabo una etapa de separación del material en donde el material entero se pase por una picadora y el material más deteriorado se pase por una astilladora (chipeadora). La caña picada sola o mezclada con cachaza fue fácilmente convertida a compost, sin problemas de fitotoxicidad para las plantas, en un tiempo de aproximadamente 90 días, en los cuales el material de la mayor parte de mezclas había entrado a la etapa de maduración. Se estimó que de la cantidad de desechos recuperados de las carreteras durante la zafra 2009-2010 (3,200 toneladas métricas), se hubieran generado aproximadamente 1,150 toneladas métricas de compost. La composición química de cada material composteado dependió del sustrato inicial. El contenido total y extraíble de N, P, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn se redujo a medida que el contenido de caña picada aumentó en la mezcla. Por ejemplo el contenido total de nutrientes en el compost de caña picada fue en porcentaje:

N: 0.73, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1.37, K<sub>2</sub>O: 0.45, Ca: 1.23, MgO: 0.27; ppm: B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 101, Cu: 27, Fe: 6966, Mn: 335 y Zn: 58; en tanto que el contenido total de nutrientes del compost generado a partir de cachaza fue en porcentaje: N: 1.35, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 3.29, K<sub>2</sub>O: 0.43, Ca: 4.41, MgO: 0.061; en ppm: B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 104, Cu: 45, Fe: 6721, Mn: 344 y Zn 149. De esa cantidad total, un porcentaje relativamente bajo (dependiendo del elemento) fue extraído durante el análisis químico, por lo que el resto debería mineralizarse a lo largo del tiempo. Para la preparación de pilones, el compost generado a partir de caña picada sola fue similar a la turba. La producción de compost a partir de caña picada fue factible y se generó una nueva opción para el destino final de dichos desechos, lo cual es ambientalmente positivo. Adicionalmente se generó una nueva opción de abono orgánico, que se puede producir a gran escala para usos en viveros, programas de agricultura orgánica y enmiendas del suelo.

**PALABRAS CLAVE:** Compost, cachaza, caña de azúcar, abono orgánico, agricultura orgánica.

**Organic soil amendments produced from sugar mills press mud and sugarcane recovered from roads.**

**ABSTRACT:** In the South coast of Guatemala about 3,000 to 5,000 metric tons of sugar cane wastes (sugar cane fallen from the trucks and crushed by other vehicles in the traffic) are generated each year during its transportation to the sugar cane mill through the harvesting season. To evaluate the possibility of producing compost from those wastes, a study was carried out with the following objectives: a) to select the most appropriate equipment to reduce the size of the sugar cane wastes, b) to establish the most appropriate mixtures of chopped cane and filter mud and c) to evaluate the quality of compost through laboratory analysis and agronomic trials. Two trials were established during the harvests of 2008-2009 and 2009-2010 at the experimental station of UVG south campus at 292 meters above sea level. Mixtures of chopped cane and filter mud with 0, 25, 50, 75 and 100 % of chopped cane were tried. The windrows were turned and humidified twice a week and no N was added even though the C/N ratio varied from 18 to 70:1.

Through the process that lasted about 120 days, temperature, N, C, C/N, bulk density, moisture, ash, pH in the maturity index were determined. At the end of the process, a phytotoxicity test, the complete chemical composition of the compost and an agronomic evaluation were performed. It was determined that as part of the compost production process from sugar cane wastes, it was necessary to separate the damaged from the non damaged cane wastes. The non damaged cane was easily chopped with a shredder whereas the damaged cane had to be milled with a chipper. The cane segments alone or in combination with filter mud were transformed into compost, with no phytotoxicity problems to plants, and in about 90 days was stable and in the mature phase of the process. It was estimated that of the total amount of wasted sugar cane collected through the 2009-2010 harvest, 1,150 metric tones of compost could have been produced. The chemical composition of each composted material depended on the initial substrate. The total and extractable content of N, P, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Mn was reduced as the cane proportion increased in the mixture. For instance, the total content of nutrients in the cane compost was in percent: N: 0.73, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1.37, K<sub>2</sub>O: 0.45, Ca: 1.23, MgO: 0.27; ppm: B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 101, Cu: 27, Fe: 6966, Mn: 335 y Zn: 58; and that in the sugar cane mud compost was; % N: 1.35, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 3.29, K<sub>2</sub>O: 0.43, Ca: 4.41, MgO: 0.061; ppm: B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 104, Cu: 45, Fe: 6721, Mn: 344 y Zn 149. From the total nutrient content a relatively low percentage (depending on the element) was extracted during the chemical analysis, and the remaining percentage of each element may be mineralized through time. For plant seedling purposes, the compost generated from cane alone had a similar result as that of peat moss. Compost production from cane was possible, so a new option for the use of the sugar cane wastes was achieved, result that is environmentally positive. Additionally, a new option of organic fertilizer was generated to be used in nurseries, organic agriculture and soil amendments.

**KEY WORDS:** Compost, sugar cane filter mud, sugar cane, organic fertilizer, organic agriculture.

## Introducción

Durante el período de la zafra en Guatemala, pequeñas cantidades de caña se caen de los vehículos en que es transportada, la cual es posteriormente aplastada por el resto de vehículos en marcha. La caña deteriorada es recogida de las carreteras por la Fundación del Azúcar (FUNDAZUCAR) en una forma bien organizada. De acuerdo a Prado (2010), los desechos son depositados en terrenos autorizados por los propietarios, que pueden ser privados o en algunos casos, fincas de ingenios ubicados a lo largo de la carretera atendida por cada frente de recolección. Hay ocasiones que cuando algunos productores no disponen de pasto para el ganado, solicitan el material deteriorado en puntos estratégicos. De acuerdo a estadísticas de FUNDAZUCAR (Prado, 2010), para la zafra 2008-09 y 2009-2010 se recogió de las carreteras de la costa sur 4,400 y 3,200 toneladas métricas de caña en cada periodo, respectivamente. El alto volumen de desechos de caña deteriorada viene a agravar el problema ambiental existente de la disposición de los residuos sólidos de origen doméstico. Un probable uso de dichos desechos puede ser en la elaboración de abono orgánico (compost) para su posterior uso en los campos de cultivo.

Por otro lado, la cachaza, que es un residuo en forma de sedimento proveniente de la clarificación del jugo de la caña obtenido en el proceso de producción de azúcar, se genera en una cantidad de alrededor de 550,000 toneladas durante la zafra (Pérez, 2003). La composición de la cachaza (en base seca) presenta valores relativamente altos de carbono, fósforo y calcio, y en menor cantidad nitrógeno, que lo hacen un recurso aprovechable en la fertilización de cultivos (principalmente caña de azúcar) y mejoramiento de suelos. Sin embargo, la incorporación al suelo de residuos agroindustriales sin ningún tratamiento podría causar efectos indeseables, tales como, fitotoxicidad e inmovilización del nitrógeno (Negro et al., 1999). Actualmente, la cachaza generada por los ingenios, es aplicada sin ningún tratamiento a campos de cultivo de caña en dosis entre 50-370 t/ha (Pérez, 2003; Castillo et al., 2006).

En el año 2007, la Universidad del Valle de Guatemala elaboró, en el Campus Sur, abono orgánico a partir de mezclas de varios residuos agroindustriales entre los que se incluyeron pulpa de café, gallinaza, bagazo de caña y cachaza. En las mezclas de bagazo-cachaza, se varió el contenido de bagazo entre 10-30 % y se alcanzaron tiempos de composteo de alrededor de 10 semanas (Rolz et al., 2010; Rolz et al., 2008). Las pruebas iniciales de germinación de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), que es una planta sensitiva a la presencia de sales (Tisdale et al., 1985), indicaron que, al menos con las cantidades de abono orgánico utilizadas en los campos agrícolas (5 a 30 t/ha de compost en base seca que es equivalente a 0.25-1.00% del peso promedio de 1 ha de suelo ( $2 \times 10^6$  kg) a 20 cm de profundidad y densidad aparente de 1 g/cm<sup>3</sup>), no se generó ningún problema de toxicidad por sales a dicha planta. En esos estudios se realizaron aplicaciones hasta de un 100 % de compost (compost puro). Sin embargo, en agricultura las altas proporciones de materia orgánica son aplicadas únicamente en la elaboración de camas para siembra.

Peigne (2004) ha descrito el proceso de composteo como un proceso aeróbico de descomposición de materiales orgánicos crudos (sin tratar) en sustancias similares al humus y minerales, por la acción de microorganismos combinada con reacciones físicas y químicas. El proceso de composteo se lleva a cabo en un ambiente aerobio, y el suministro de aire generalmente se supe, ya sea volteando mecánicamente el material, o por medio de un flujo inducido o forzado creado por un ventilador mecánico, en forma discontinua. La aireación del material permite suministrar oxígeno al proceso de fermentación, evaporar agua y disipar calor. Durante el proceso se adiciona agua para mantener un nivel de humedad entre 55-65% y el tiempo de duración para obtener un abono orgánico estabilizado es de aproximadamente 70 días.

El composteo es considerado una de las formas más útiles de convertir desechos orgánicos a productos que son beneficiosos para el crecimiento de las plantas (Statinford, 1987). La concentración de N en los residuos agrícolas a compostear, es uno de los factores más importantes en la determinación de su capacidad para desarrollar un proceso eficiente. Si el N disponible es bajo, la actividad microbiana durante el proceso de composteo será baja. En contraste, si hay un exceso de N, éste a menudo es perdido del sistema en forma de amoníaco (NH<sub>3</sub>). La relación C/N inicial necesaria para llevar el proceso en forma efectiva está entre 25 y 40 dependiendo de las materias primas que se utilicen. La relación C/N de la cachaza es de aproximadamente 14 lo cual podría resultar en fuertes pérdidas de N, y esta misma relación para un material similar al bagazo de caña es de

aproximadamente 100, lo que significa que para promover el proceso de composteo se le debe añadir N.

A pesar que el proceso de composteo es una técnica bien conocida, cada combinación de materiales orgánicos requiere diferentes tiempos para que el compost alcance la madurez. El producto final necesita tener un pH adecuado para la producción de cultivos, ser estable en cuanto a su actividad microbiana y estar libre de sustancias tóxicas. Varios parámetros han sido propuestos para calificar la estabilidad del compost (Bernal et al., 1998, Wu et al., 2000 e Itavaara et al., 2002).

Sin embargo, no hay un único método que pueda ser aplicado universalmente a todos los tipos de compost debido a la variación de materiales y tecnologías de composteo.

La calidad del compost es un factor que también debe ser tomado en cuenta por el efecto negativo, temporal o permanente, que la presencia de fito-toxinas pueda tener sobre la germinación y el crecimiento de las plantas. Debido a que no existe un procedimiento analítico que pueda medir el efecto acumulado de las fito-toxinas, desde hace varias décadas se ha considerado el uso de un ensayo biológico como método para medir la calidad del compost. Se reporta que Zucconi y colaboradores en 1981 (Emino y Warman, 2004; Warman, 1999) propusieron inicialmente el uso de un índice de germinación como ensayo biológico utilizando como planta indicadora *Lepidium sativum*. A la fecha se han evaluado muchas especies como plantas indicadoras y varios métodos de evaluación (té de compost, mezclas de suelo-compost, compost puro) pero no se ha definido una única forma de hacerlo. Sin embargo, se reconoce de importancia considerar el efecto fito-tóxico de algunos compost, particularmente aquellos materiales inmaduros, previo a su uso.

Los objetivos de la investigación realizada fueron a) seleccionar el equipo más adecuado para reducir de tamaño los tallos de caña dañados y establecer su productividad, b) establecer las mezclas más adecuadas de caña picada y cachaza para llevar a cabo un proceso de composteo eficiente en un lapso de tiempo adecuado y c) evaluar la calidad del abono orgánico mediante análisis de laboratorio y pruebas agronómicas.

## Metodología

El estudio se llevó a cabo durante las zafas 2008-2009 y 2009-2010 en la estación experimental agrícola de UVG Campus Sur (Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, altitud 292 msnm, coordenadas: 14° 19' 51" Norte y 91° 3.59' 36" Oeste). Las

**Cuadro 1.** Composición de materias primas

Compuesto	Cachaza	Caña molida
N, %	1.83	0.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	3.69	0.09
K <sub>2</sub> O, %	0.76	0.24
Ca, %	7.80	0.20
MgO, %	0.99	0.08
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ppm	127.5	96.9
Cu, ppm	55.8	1.3
Fe, ppm	3,810.0	243.0
Mn, ppm	208.0	9.4
Zn, ppm	171.6	14.0

**Cuadro 2.** Tratamientos y longitud de la cama utilizados

Caña picada (%, p/p)	Cachaza (%, p/p)	Longitud de la cama (m)	
		Ensayo 1 2008-09	Ensayo 2 2009-10
0	100	12	6
25	75	12	6
50	50	12	6
75	25	6	6
100	0	6	3

materias primas utilizadas incluyeron los desechos de caña recuperados de las carreteras y cachaza generada en los ingenios. Los desechos de caña fueron proporcionados por FUNDAZUCAR en tanto que la cachaza fue proporcionada por el Ingenio Madre Tierra (Figura 1).

El contenido total de nutrientes (base seca) de cada una de las materias primas al inicio del experimento se presenta en el cuadro 1.

Los tratamientos evaluados en el ensayo 1 (zafra 2008-2009) y en el ensayo 2 (zafra 2009-2010) incluyeron diferentes proporciones de caña picada y cachaza, especificadas en el cuadro 2. El ancho (1.8 m) y alto (0.90 m) fue el mismo para todas las camas. A este grupo de tratamientos no se les hizo un ajuste inicial en su relación C/N la cual varió de 18 a 70:1. Cada ensayo se tomó como una repetición dentro de la estructura del diseño experimental.

Las variables de respuesta durante el proceso de compostaje fueron temperatura, C, N, relación C/N, cenizas, densidad



**Figura 1.** Muestra de la materia prima utilizada en el estudio (cachaza, izquierda y desechos de caña, derecha).



Figura 2. Panorámica del tipo de picadora, izquierda y astilladora, derecha, empleadas para procesar los desechos de caña.

aparente, pH e índice de madurez (prueba Solvita®). La variable de respuesta al final del proceso fue la composición química del compost.

En el primer ensayo se utilizó una picadora (TRF Trapp acoplado a un motor de gasolina Honda GX270), con una capacidad de 227 kg/h y 91 kg/L de combustible. Sin embargo, debido a que en el proceso de uso de la máquina se observó que la misma no fue capaz de triturar el material más deteriorado ya que éste terminaba enrollándose en el interior de la máquina, se hicieron pruebas con una astilladora (chipeadora) utilizando restos de caña sumamente dañados (Bear & Cat chipper acoplado a un motor de gasolina Briggs & Stratton 850) con una capacidad de 124 kg/h y 97.4 kg/L de combustible. La prueba resultó exitosa por lo que en el segundo ensayo se utilizaron ambas máquinas, las cuales se observan en la figura 2.

Para el volteo de las hileras o camas se utilizó una máquina volteadora de compost (Frontier Mighty Mike 80) halada por un tractor (John Deere Modelo 5303). La misma fue utilizada también para agregar agua al momento del volteo, como se muestra en la figura 3.

Se procedió a colocar la cantidad de cachaza necesaria para alcanzar la proporción deseada en todas las camas. Posteriormente se llevó a cabo la adición de caña picada y el primer volteo en seco. Después del primer volteo en el ensayo 1, la mezcla de materiales se mantuvo seca hasta que se llevó



Figura 3. Máquina volteadora del material en la cama. Obsérvese la adición de agua del tanque colocado sobre la estructura que cubre el eje rotatorio mezclador.

a cabo un volteo general y luego se agregó agua. En el ensayo 2, las hileras se fueron formando individualmente y se realizó el primer volteo y agregó agua a medida que se iban formando. A partir de ese momento se inició el registro de la temperatura. Todos los volteos se llevaron a cabo los días martes y jueves de cada semana. Los días en que las camas no se voltearon, se agregó agua con una regadera para evitar que la superficie de la cama se secase demasiado. Tomando en consideración la entrada del invierno y el hecho de que en el área de la costa sur usualmente se tienen algunos eventos de lluvia antes de la entrada del invierno, en el mes de abril se optó por entrar el material y protegerlo en una galera. Esta condición se mantuvo hasta cuando el compost se consideró maduro. Cuando el compost alcanzó la madurez, se procedió a cernir el material utilizando un arnero con aberturas de 1.8 cm x 1.8 cm. El material cernido fue inmediatamente pesado y envasado en sacos plásticos.

En el ensayo 1 la temperatura fue registrada a partir de 30 días después de formada la cama, en tanto que en el segundo ensayo la temperatura fue registrada a partir de la formación de las mismas utilizando un termómetro de vidrio. El registro de la temperatura se realizó de 2 a 3 veces por semana entre las 8 a las 9 horas, anotando también la temperatura ambiente. Aproximadamente cada dos semanas a partir del volteo general de las camas se colectaron muestras para análisis físico-químico. Cada una de las hileras fue dividida en tres tercios y se colectaron dos submuestras de cada tercio. Las submuestras fueron colectadas a una profundidad de 20 cm y colocadas directamente en bolsas plásticas y posteriormente homogenizadas para formar una muestra compuesta. Las mismas fueron colocadas en una hielera y transportadas al laboratorio para su análisis. La humedad (AOAC, 1984) se determinó en una muestra de 2 a 3 g de material en cápsulas de porcelana las cuales se colocaron en un horno de convección a 70 °C hasta alcanzar un peso constante. Para obtener la densidad aparente se empleó una cubeta plástica de peso conocido y marcada a 3 L. Se llenó manualmente con el material, se pesó y la relación masa/volumen se expresó como kg material húmedo/m<sup>3</sup>. El pH se obtuvo suspendiendo en 20 mL de agua desmineralizada 10 g de material seco y dejando en reposo la suspensión por una hora. La lectura potenciométrica (Mettler Toledo MP125) se realizó en el sobrenadante. El contenido de cenizas (AOAC, 1984) se determinó en una muestra de 2 a 5 g de material seco

en cápsula de porcelana colocado en un horno a 600 °C por dos horas (*Furnace Thermolyne 62700*). Para determinar el nitrógeno se utilizó el método del microkjeldahl (AOAC, 1984). El contenido de carbono se estimó con los datos de cenizas y de humedad empleando la fórmula presentada por Meunchang y colaboradores, 2005.

La madurez del compost se evaluó utilizando el estuche analítico Solvita® (*Woods End Laboratories Inc., 2006*). Del compost cernido se colectó aproximadamente 1 kg de material tomando una pequeña cantidad de 6 sacos. El material fue transportado a un laboratorio particular de servicio para determinar pH, salinidad, CICE (capacidad de intercambio catiónico efectivo), % de saturación de K, Ca y Mg en el complejo de intercambio, contenido total de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu y Mn) así como la concentración de nutrientes disponibles (extraíbles con solución Melich III) (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu y Mn) para las plantas. Tanto para determinar el contenido total como el contenido extraíble de nutrientes se utilizó la metodología propuesta por Sparks (1996).

Se estableció un ensayo para evaluar el efecto fitotóxico del material en proceso de composteo sobre la germinación de frijol. En el ensayo 1 se utilizó frijol ejotero (variedad Saborro) y en el ensayo 2 se utilizó frijol común (*Phaseolus vulgaris*) (variedad ICTA Texel). Los tratamientos incluyeron material de cada una de las camas de composteo y se comparó con suelo colectado en UVG Campus Sur. La prueba se hizo en duplicado utilizando 60 semillas para cada tratamiento. Las lecturas de germinación se hicieron 13 días después de la siembra.

La evaluación agronómica consistió en evaluar los diferentes tipos de compost en combinación con turba (material orgánico comúnmente utilizado para germinación y generación de plántulas) para la producción de pilones (plántulas a ser trasplantadas a campo abierto) de tomate. Las mezclas formadas incluyeron 0, 25, 50, 75 y 100 % de cada uno de los tipos de compost en la mezcla compost-turba. Se registró el porcentaje de germinación así como la altura y peso de las plantas.

## Resultados

El perfil de la humedad del material en la hilera en función del tiempo, en los dos ensayos, se presenta en la figura 4. Se observa que hubo una disminución de la misma al inicio en el primer ensayo, sin embargo fue corregido por la adición de agua. En la mayor parte de fechas de muestreo la humedad estuvo en el rango de 40-70% apropiada para mantener una adecuada actividad microbiana.

En todos los casos se observó un incremento súbito de la temperatura al inicio del proceso y luego disminuyó con el transcurso del tiempo hasta llegar a valores cercanos a la temperatura ambiente, ver figura 5. La cachaza y las mezclas conteniendo diferentes porcentajes de cachaza presentan valores más elevados de temperatura que la caña picada hasta los 60 días. En los datos obtenidos en ambos años se observa que la cachaza y las mezclas cachaza-caña presentan valores de temperatura arriba de 45 °C (fase termofílica) alrededor de los primeros 50-60 días de procesamiento. Las elevaciones posteriores de temperatura podrían deberse a que los materiales se almacenaron sin someterse a volteos. Adicionalmente, la caña picada presenta valores de temperatura arriba de 45 °C solamente en los primeros 30-35 días de procesamiento y luego decrecen a valores cercanos a la temperatura ambiente. Esto podría

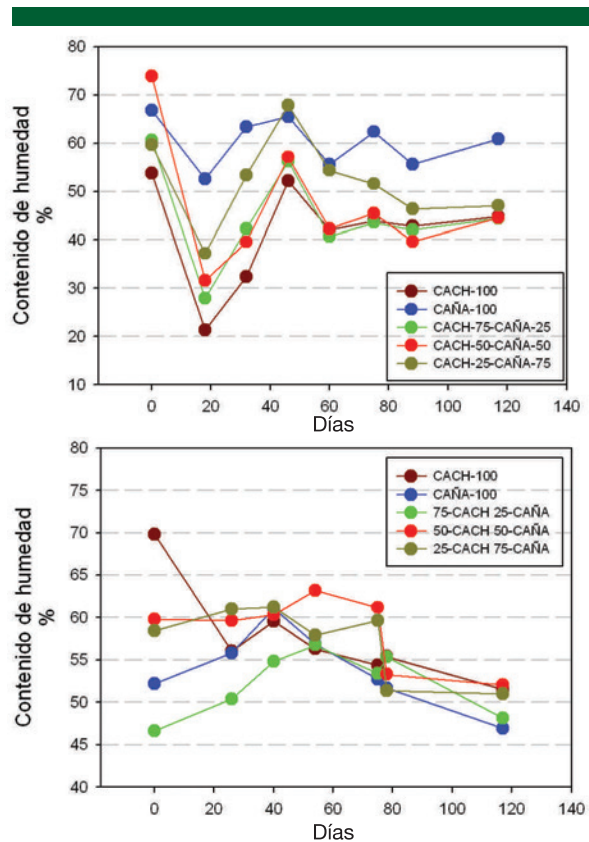


Figura 4. Cambios de la humedad durante el proceso. Gráfica superior: ensayo 1. Gráfica inferior: ensayo 2.

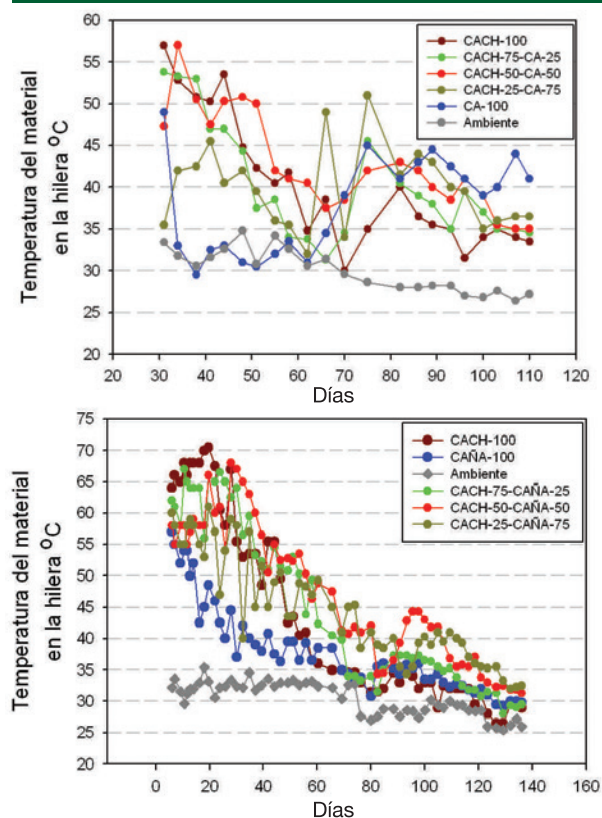


Figura 5. Cambios de la temperatura del material en las hileras durante el proceso. Gráfica superior: ensayo 1. Gráfica inferior: ensayo 2.

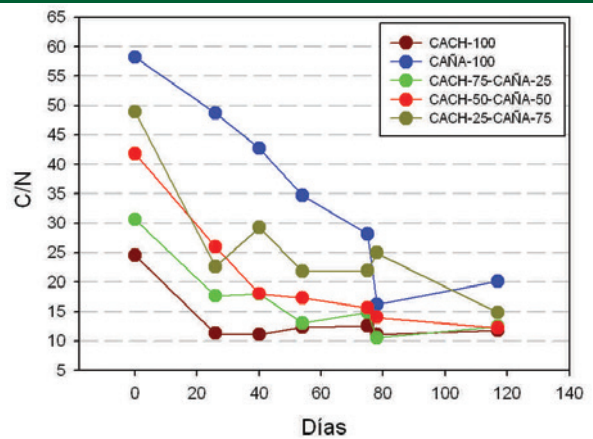
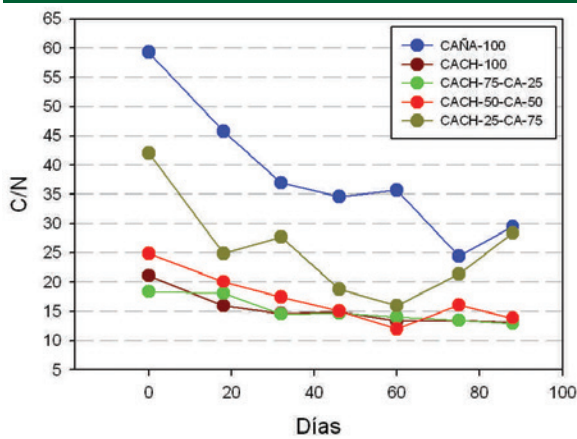


Figura 6. Cambios de la relación C/N durante el proceso. Gráfica superior: ensayo 1. Gráfica inferior: ensayo 2.

deberse a la presencia de sacarosa fácilmente degradable la cual se consume rápidamente y luego queda un material remanente rico en celulosa y lignina de descomposición más lenta. Los valores más altos de temperatura en los ensayos del año 2010, los presentó la cachaza (aproximadamente 70 grados centígrados) a un tiempo de aproximadamente 20 días.

Se puede observar en la figura 6, que el cambio de la relación C/N en ambos años fueron similares. Dicha relación fue mayor en tratamiento con 100 % de caña picada, en tanto que el menor valor de la relación lo presentaron los tratamientos con el mayor contenido de cachaza. El resto de tratamientos presenta valores intermedios. La relación C/N para los tratamientos con 75 y 100 % de caña estuvo arriba de 40 en el inicio, sin embargo, al final del proceso, particularmente en el año 2010, todos los tratamientos presentaron valores entre 10- 20.

Los cambios de la densidad aparente del material en compostaje se presentan en la figura 7. En ambos ensayos la tendencia de la densidad fue de incrementarse con el tiempo. Los materiales con mayor contenido de cachaza presentaron mayor densidad en tanto que los materiales con mayor contenido de caña presentaron menor densidad.

Como era de esperarse el contenido de cenizas tendió a incrementarse con el tiempo. No se encontraron diferencias marcadas entre tratamientos con relación al cambio de pH, el cual durante el proceso se mantuvo entre 7 y 8.

Los valores de madurez obtenidos se presentan en el cuadro 3. Se aprecia que a mayor contenido de caña, la etapa de maduración se retrasa levemente. En el primer ensayo de 2009, la mayor parte del material aún no estaba listo para ser utilizado en el mes de abril. Sin embargo, los resultados del muestreo de junio 2009 indicaron que el material ya estaba en la fase final del curado y por lo tanto podría ser utilizado. En el año 2010, el material con 0 % de caña picada ya estaba curado a finales del mes de mayo en tanto que los materiales con caña estaban atrasados.

En el cuadro 4 se presentan los resultados de reducción de volumen de la cachaza, la caña picada y mezclas de ambas al final el proceso de compostaje. La pérdida más alta de volumen la presentó la hilera con solo cachaza.

Para las variables pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), potasio, magnesio, boro, manganeso, cobre y zinc total no hubo diferencia estadística en función del contenido de caña picada en la composición inicial de la mezcla ( $p > 0.05$ );

en tanto que para el intercambio catiónico efectivo (CICe), el N, el P, el Ca y el Fe total, si se encontró diferencia estadística ( $p < 0.05$ ). En general podría decirse que valores de pH cercanos a la neutralidad, un mayor contenido de sales solubles, un mayor CICe y un mayor contenido total de nutrientes (excepto K que tendió a ser mayor a medida que el contenido de caña aumentó) se determinó en aquellos productos con un menor contenido inicial de caña picada.

Por otro lado, el contenido de N, P, Ca y Zn extraíble en las muestras de compost maduro tendió a disminuir significativamente ( $p < 0.05$ ) con el incremento de la caña picada en la mezcla

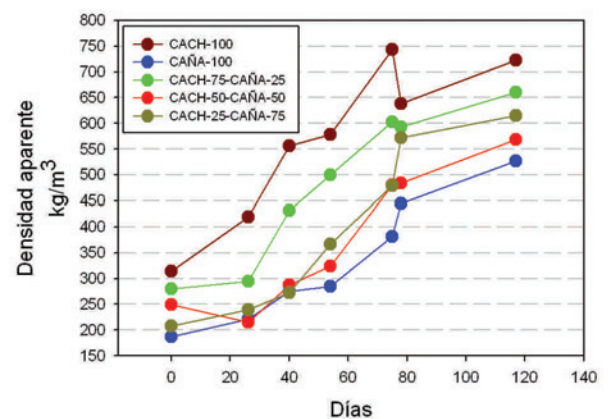
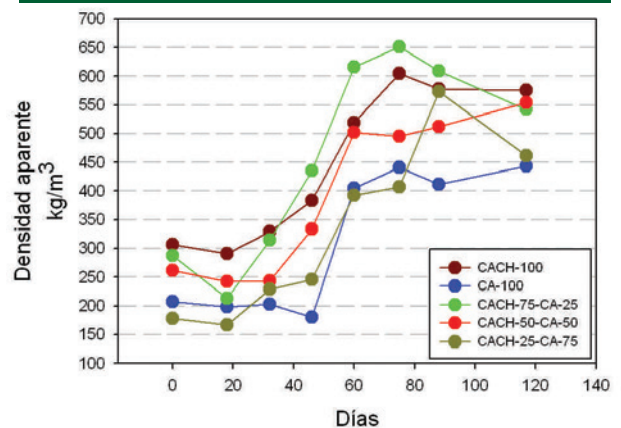


Figura 7. Cambios de la densidad aparente durante el proceso. Gráfica superior: ensayo 1. Gráfica inferior: ensayo 2.

**Cuadro 3.** Índice Solvita® de madurez de las diferentes camas en los ensayos

Cama	17/4/2009		5/6/2009		24/5/2010	
	Índice	Estado	Índice	Estado	Índice	Estado
100 % cachaza	6	Fase final del curado, se puede utilizar	6	Fase final del curado, se puede utilizar	7	Curado, puede ser usado
25 % caña 75 % cachaza	5	Empieza a curarse	7	Curado, puede ser usado	ND	
50 % caña 50 % cachaza	5	Empieza a curarse	7	Curado, puede ser usado	ND	
75 % caña 25 % cachaza	6	Fase final del curado, se puede utilizar	6	Fase final del curado, se puede utilizar	5	Empieza a curarse
100 % caña	5	Empieza a curarse	6	Fase final del curado, se puede utilizar	5	Empieza a curarse

ND = No determinado

**Cuadro 4.** Reducción de volumen de los diferentes materiales composteados

Composición de la mezcla (%)	Reducción de volumen (%)
100 cachaza	72.19
25 caña-75 cachaza	63.05
50 caña-50 cachaza	70.82
75 caña-25 cachaza	65.03
100 caña	64.14

el elemento K, la cantidad de nutrientes extraíbles representa un bajo porcentaje del contenido total de cada uno de los elementos. El resto está en forma orgánica y deberá ser liberado lentamente a medida que avanza el proceso de mineralización. Un resumen del porcentaje de nutrientes extraídos para el compost elaborado a partir de caña picada y compost elaborado con cachaza se presenta en el cuadro 5.

Los resultados de germinación obtenidos como parte de los ensayos de fitotoxicidad del compost se presentan en la figura 8. Con base en los resultados del análisis de variancia se concluyó que el tipo de fórmula no influyó sobre el porcentaje de germinación en comparación con el dato de germinación obtenido solo con suelo. Aunque se utilizó un compost de menor grado de madurez en el ensayo 1, el mismo no presentó un efecto tóxico a la germinación del frijol ejotero. Estos resultados indican que el compost obtenido no presentó efecto fitotóxico alguno en la germinación de especies sensibles como el frijol.

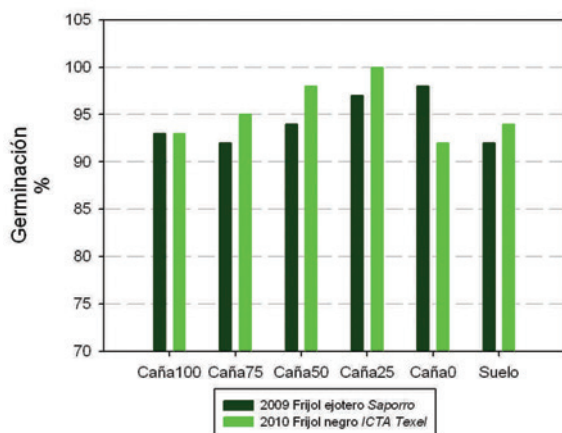


Figura 8. Resultados de las pruebas de germinación

**Cuadro 5.** Porcentaje de Nutrientes Extraídos del Compost de Caña y Cachaza

Elemento	Compost de Caña Picada	Compost de Cachaza
N	< 1	4
P	17	15
K	57	53
Ca	29	19
Mg	38	31
Cu	18	21
Fe	3	4
Mn	9	13
Zn	41	34

El efecto principal de la fórmula de compost sobre el porcentaje de germinación (a), altura de planta (b) y peso seco (c) de las plantas de tomate se presenta en la figura 9. Se aprecia un

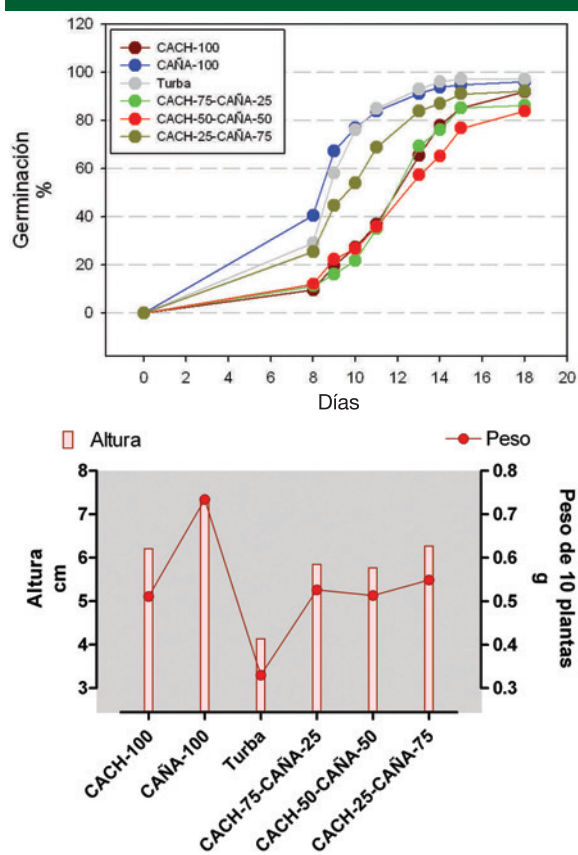


Figura 9. Efecto del tipo de compost sobre el porcentaje de germinación (gráfica superior), altura y peso seco de plantas de tomate (gráfica inferior)

efecto de la fórmula sobre cada una de dichas variables. El porcentaje de germinación tendió a ser similar al % de germinación de la turba a medida que en la mezcla de compost se incrementó el porcentaje de caña picada. El porcentaje de germinación del compost de caña picada fue similar al de la turba a lo largo de las diferentes fechas de conteo ( $p>0.05$ ). Las plantas sembradas en el compost de caña picada presentaron una mayor altura y un mayor peso que el obtenido con turba ( $p<0.05$ ).

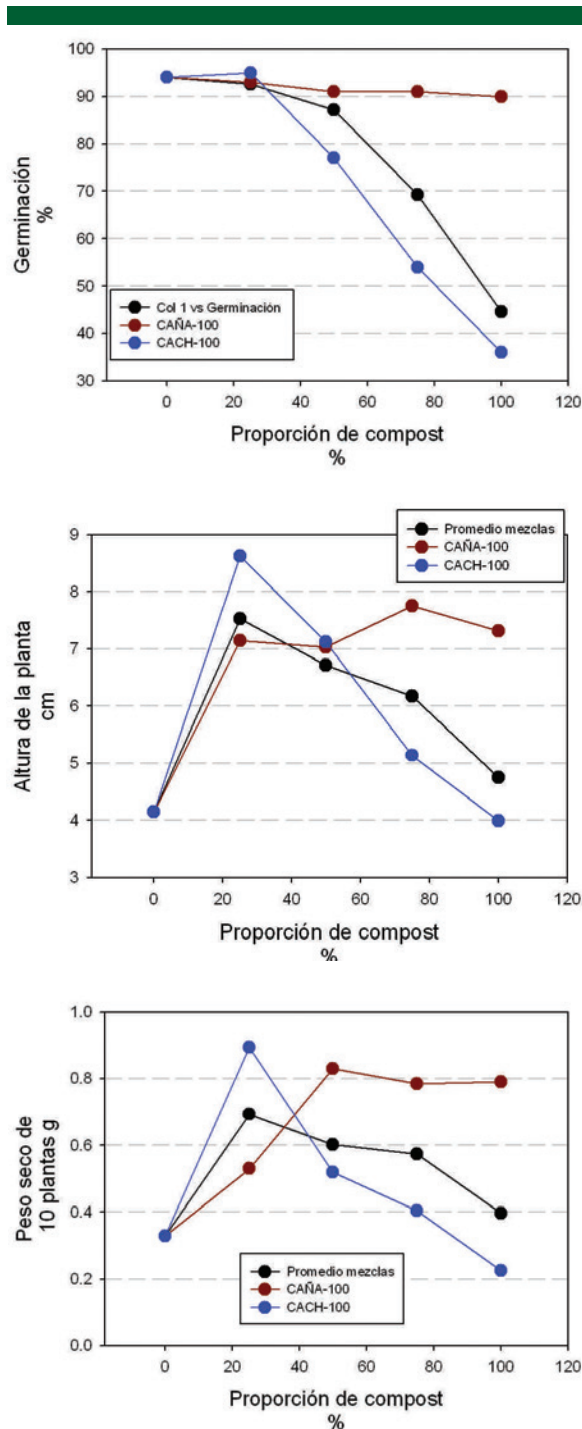


Figura 10. Efecto de la proporción de compost sobre el porcentaje de germinación (gráfica superior), altura (gráfica intermedia) y peso seco (gráfica inferior) de plantas de tomate

El efecto principal de la proporción de compost en la mezcla compost-turba sobre las variables evaluadas se presenta en la figura 10. En general, el efecto medio del compost sobre cada una de las variables fue a disminuir el valor de dichas variables a medida que se incrementó el % de compost mas allá del 25 % en la mezcla ( $p<0.05$ ). Sin embargo, el efecto negativo no se presentó en el compost generado a partir de caña picada, el cual tuvo un efecto similar al uso de la turba en cuanto a germinación del tomate ( $p>0.05$ ), pero consistentemente tuvo un mejor efecto sobre la altura y el peso seco de las plantas en comparación con la turba ( $p<0.05$ ).

## Discusión y Conclusiones

En este estudio se determinó la necesidad de emplear una picadora y de una astilladora para llevar a cabo el proceso de fraccionamiento de la caña deteriorada. Se requiere de una picadora para procesar el material entero en tanto que el material más deteriorado se procesó con la astilladora. La picadora pudo procesar material húmedo en tanto que la chipeadora procesó material relativamente seco. Lo anterior sugiere que para reducir de tamaño los desechos de caña colectados de las carreteras es necesario primero llevar a cabo un proceso de separación con el cual se busca separar el material mas entero del resto de desechos. El rendimiento de la máquina picadora fue superior al rendimiento de la máquina chipeadora.

Las mezclas que incluyeron cachaza en su composición resultaron con temperaturas mas altas, mayor contenido de N, menor contenido de C, menor relación C/N, mayor densidad, mayor contenido de cenizas y similar pH a lo largo del proceso de compostaje en comparación con el tratamiento que incluía 75-100 % de caña picada. Esto se debió a la calidad del sustrato inicial. Sin embargo, el tratamiento con 100 % de caña picada fue llevado a compost en un tiempo similar al de los otros tratamientos. Independientemente de la mezcla de caña picada a cachaza, al final del proceso, arriba del 95 % del material inicial composteado pasó el arnero con aberturas de 1.8 cm x 1.8 cm. Esto indicó que no hay necesidad de mezclar la caña picada con cachaza para convertir la caña picada en compost.

Con base en los desechos generados durante la zafra 2009-2010 (3,200 toneladas métricas) y en la pérdida de volumen (64%) del tratamiento con 100 % de caña picada durante el proceso de composteo, se estima que si toda la caña se hubiera procesado para producir compost, se hubieran generado alrededor de 1,500 toneladas métricas de abono orgánico.

Dicho abono es necesario en nuestro país, particularmente en aquellos sistemas orgánicos de producción.

La composición final del compost dependió de la composición de la mezcla inicial. Excepto por el contenido de K, el resto de parámetros químicos determinados se redujeron a medida que se incrementó la cantidad de caña picada en la mezcla. Esto implicó que la composición química de la cachaza composteada fue superior en la mayor parte de nutrientes que la del compost preparado a partir de caña picada. Sin embargo, el compost preparado con 100 % de caña picada también aportó nutrientes, por lo que sería de ajustar la dosis de aplicación a los diferentes cultivos para alcanzar altos rendimientos. Independiente del tipo de compost, excepto por el elemento K, la cantidad de nutrientes extraída y que está inmediatamente disponible para las plantas fue baja. El resto de los elementos está en forma orgánica y

deberá ser mineralizado previo a su uso por las plantas. Este fenómeno es similar en cualquier tipo de abono orgánico y está fundamentado en la literatura.

Con base en los perfiles de temperatura, particularmente el perfil del ensayo 2009-2010, se observó que en casi todos los tratamientos la temperatura tendió a estabilizarse a los 80 días de iniciado el proceso, indicando que posiblemente el material ya estaba en la fase de curado. En esta fase, la temperatura de las mezclas no estuvo por más de 10 °C arriba de la temperatura ambiente. Al comparar esto con el índice de madurez del material, se pudo observar, en el primer ensayo, a los 90 días de iniciado el proceso, la mayor parte de materiales estaba entre el inicio y la fase final del curado. Veinte días después, todos los tratamientos estaban en la fase final del curado o ya estaban curados. Al comparar únicamente 100 % de caña picada con 100 % de cachaza, se pudo apreciar que el compost de cachaza presentó un índice de maduración más avanzado.

El compost generado a partir de caña picada, cachaza o mezcla de ambas no presentó peligro alguno para la germinación de especies de plantas sensitivas a sales y fitotoxinas. Esto fue positivo ya que el material obtenido se podría utilizar en la práctica sin algún tipo de restricción.

El compost elaborado únicamente a partir de caña picada resultó con un % de germinación del tomate similar a de la turba, y el uso de un alto % del resto de tipos de compost redujo la germinación con relación a la turba. Aunque no se determinó el % de retención de agua y la porosidad de dichos materiales, es posible que esto fuera el efecto de la aireación de los diferentes tipos de compost y de la turba. Los resultados fueron positivos para el compost a partir de caña picada con el agregado que las plantas presentaron mayor altura y peso seco con este tratamiento. La calidad de pilón no se vio afectado por la sustitución de turba por compost de caña, por lo que este último material se podría utilizar sin problema en la elaboración de pilones y se podrían reducir, de alguna manera, las importaciones de turba de otros países.

### Las conclusiones emanadas del presente estudio son:

- Se encontró que para reducir de tamaño la caña deteriorada se necesita de una picadora para el material entero y de una astilladora (chipeadora) para el material más deteriorado.
- La caña picada sola o mezclada con cachaza fue fácilmente convertida a compost en un lapso de 90 días de iniciado el proceso de compostaje y no representó peligro de fitotoxicidad para las plantas. Además, la desintegración del material en el tratamiento con 100 % de caña picada estuvo arriba del 95 %.
- Se estimó que al convertir la totalidad de los desechos de caña colectados durante la zafra 2009-2010 se podrían generar 1,150 toneladas métricas de compost a partir de un 100 % de caña picada.
- El contenido total de nutrientes (base seca) en el compost de caña picada fue, en %: N: 0.73, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1.37, K<sub>2</sub>O: 0.45, Ca: 1.23, MgO: 0.27; ppm: B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 101, Cu: 27, Fe: 6966, Mn: 335 y Zn: 58; en tanto que el contenido total de nutrientes del compost generado a partir de cachaza fue, en %: N: 1.35, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 3.29, K<sub>2</sub>O: 0.43, Ca: 4.41, MgO: 0.0.61; ppm: B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 104, Cu: 45, Fe: 6721, Mn: 344 y Zn 149. En general, la

concentración total de nutrientes tendió a disminuir a medida que se adicionó caña picada.

- La cantidad de nutrientes extraídos del compost, a excepción del elemento K, fue relativamente baja. En el caso de los 3 elementos mayores para las plantas (NPK), el porcentaje de extracción de nutrientes del compost de caña fue N, < 1 %, P, 17 % y K, 57 %; en tanto que para el compost de cachaza este fue: N, 4 %, P, 15 % y K, 53 %.
- El compost a partir únicamente de caña picada presentó valores de germinación similares a los obtenidos con turba así como una mayor altura y peso seco de las plantas. La sustitución parcial o total de turba con otros tipos de compost redujo el % de germinación del tomate
- Se generó una nueva opción de abono orgánico para uso agrícola en el país

## Agradecimientos

A la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT, por el financiamiento del proyecto FODECYT 007-2008. A la Fundación de Azúcar, FUNDAZUCAR, por el aporte de los residuos de caña de azúcar durante las zafras 2008-09 y 2009-10. Al Ingenio Madre Tierra por el aporte de cachaza durante las zafras 2008-09 y 2009-10. A los técnicos Fernando Ortíz y Edwin de León por la ejecución del trabajo de campo incluido en el estudio.

## Bibliografía

- AOAC (1984) Official Methods of Analysis S. Williams (Ed.) 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Virginia, USA
- Bernal, M.P., C. Paredes, M.A. Monedero, J. Cegarra (1998) *Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic waste* Bioresource Technology **63**, 91-99
- Castillo, C., J.R. Veleche, O. Montenegro, J.V. Gómez, (2006) *Aplicación de cachaza de renovación 2004-2005 y su impacto en la producción en primer corte zafra 2005-2006* Informe técnico interno, Ingenio Madre Tierra
- Emino, E.R., P.R. Warman (2004) *Biological assay for compost quality* Compost Science & Utilization **12**:342-348
- Itavaara, M., O. Venlampi, M. Vikman, A. Kapanen (2002) *Compost maturity-problem associated with testing* In: Insam, H et al. (Eds) *Microbiology of Composting* Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 374-382
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana, R. Weaver (2005) *Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from sugar mill* Bioresource Technology **96**, 437-442
- Negro, M.J., M.L. Solano, J. Carrasco (1999) *Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes* Bioresource Technology **67**, 89-92
- Peigné, J., P. Girardin (2004) *Environmental impacts of farm-scale composting practices* Water, Air, and Soil Pollution **153**: 45-68
- Pérez, O. (2003) *Manejo y uso agronómico de la cachaza en Guatemala* Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala, ATAGUA. Sept. 2003, 6-11
- Prado, B. (2010) *Estadísticas sobre caña deteriorada recolectada anualmente por FUNDAZUCAR* Comunicación Personal
- Rolz, C., R. de León, R. Cifuentes, R. C. Porres (2010) *Windrow composting of sugarcane and coffee byproducts* Sugar Tech. **12** (1):15-20
- Rolz Asturias, C., R. de León Fajardo, R. Cifuentes, C. Porres (2008) *Producción y evaluación de compost producido de residuos de la agroindustria de la caña de azúcar* Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. No. 18, 36-64
- Sparks, D. (1996) *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods* American Society of Agronomy Inc., Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA

- Stantford, E.I., (1987) *Recent development in composting* In: Debertoldi, M., M.L. Ferranti, P. Hermite, F. Zucconi (Eds) *Compost, Production, Quality and Use* Elsevier, London, UK, pp52-60
- Tisdale, S., W.L. Nelson, J.D. Beaton, J.L. Havlin (1985) *Soil fertility and fertilizers* McMillan Publishing, Co., 5th ed., New York, USA
- Warman, P.R. (1999) *Evaluation of seed germination and growth for assessing compost maturity* *Compost Science & Utilization* **7**: 33-39
- Woods End Laboratories, Inc. (2006) *Official Solvita Guideline Compost Respiration Test Version 5.0*. Mt. Vernon ME, USA. 8 p
- Wu, L., L.Q. Ma, G.A. Martínez (2000) *Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost* *Journal of Environmental Quality* **29**, 424-429



(de izquierda a derecha)

**Rolando Cifuentes**  
rcifuen@uvg.edu.gt

**Luis Roberto De León Fajardo**  
ldeleon@uvg.edu.gt

**Carlos Alberto Porres Ortega**  
carlos.porres@gmail.com