

Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N

Artemio Méndez-Matías¹
Celerino Robles^{1§}
Jaime Ruiz-Vega¹
Ernesto Castañeda-Hidalgo²

¹Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR-Unidad Oaxaca. Hornos 1003, Col. Nochebuena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. CP. 71230. ²Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

§Autor para correspondencia: croblesp@ipn.mx.

Resumen

La disposición actual de residuos implica un fuerte impacto ambiental que puede ser minimizado al reciclar estos materiales. El compostaje es una de las mejores opciones para lograr este propósito. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de *Trichoderma harzianum* y *Aspergillus* sp. en el proceso de compostaje de bagazo de maguey mezcalero (BM-*Agave angustifolia* Haw.) y bagazo de caña de azúcar (BC-*Saccharum officinarum* L.), ambos con relación C/N reducida. Durante el año 2012, en Santa Cruz Xoxocotlán (Oaxaca, México), se desarrolló un experimento bajo un diseño completamente aleatorizado. Se monitoreó el proceso de compostaje de BM y BC, inoculados con los hongos *T. harzianum* y *Aspergillus* sp., incluyendo un control sin inocular. Para ambos residuos, la relación C/N fue modificada con la adición de estiércol bovino. La duración del experimento fue de 133 días. Se registró la temperatura de las masas en fermentación cada semana. Se tomaron muestras por triplicado para análisis los días 0, 37, 70, 103 y 133 después de iniciado el proceso. La adición de estiércol bovino fue suficiente para reducir el valor de la relación C/N y alcanzar en pocos días la fase termófila. La inoculación con *T. harzianum* y *Aspergillus* sp., redujo el tiempo de degradación del BM pero no de BC. *Aspergillus* sp., generó mayor degradación en ambos residuos. BM alcanzó valores de C/N que la califican como una composta madura a partir del día 103 del compostaje, no ocurrió así con BC.

Palabras clave: bagazo de maguey, bagazo de caña, compostaje, hongos lignocelulolíticos.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

Introducción

Con el panorama actual de generación de residuos de muy diversos orígenes, y su disposición final inadecuada, se están estudiando diversos métodos para convertirlos en productos útiles en el menor tiempo posible (Raj, 2011; Shafawati y Siddiquee, 2013). Se han descrito diversas opciones de uso y reciclaje de los residuos lignocelulósicos generados en las agroindustrias. Los residuos de la industria del vino son usados para la obtención de tartratos (Carmona *et al.*, 2012). A partir de bagazo de maguey tequilero se han desarrollado procesos para la producción de plántulas (Crespo-González *et al.*, 2013), biopolímeros, enzimas y otros metabolitos (González-García, 2005).

El bagazo de caña ha sido bioprocesado para la obtención de alimento para ganado (Valiño *et al.*, 2003). Otros residuos lignocelulósicos son utilizados como materia prima para producir etanol, para la fabricación de papel y la obtención de ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas, entre otros (Sánchez, 2009).

En el sector agrícola estos materiales no pueden utilizarse de manera directa debido al alto contenido de componentes fenólicos, los cuales causan efectos fitotóxicos, provocando disminución del crecimiento o incluso la muerte de las plantas (González-García, 2005; Aranda *et al.*, 2008). Para que estos residuos puedan utilizarse deben someterse a un proceso de degradación mediante el cual disminuyan o incluso se eliminan los compuestos causantes de dicha toxicidad (Aranda, 2008). El compostaje es una herramienta clave en la conversión de residuos lignocelulósicos a productos útiles. Es un proceso aerobio en el cual los microorganismos (hongos y bacterias principalmente) se encargan de transformar la materia orgánica en un producto estable y al mismo tiempo libre de patógenos, debido a las altas temperaturas que se generan. También durante este proceso los compuestos orgánicos recalcitrantes son degradados lentamente y con esto se elimina la fitotoxicidad (Bernal, 2009, Fornes *et al.*, 2012).

Durante el proceso de degradación de residuos lignocelulósicos, la disponibilidad de nutrientes para los hongos está ligada a la relación C/N, el rango considerado como óptimo para el compostaje es de 25-30 (Bernal *et al.*, 2009). Una relación C/N mayor a 30 se traduce en un proceso lento y con baja disponibilidad de N, el cual es necesario para que los hongos se desarrollen y se mantengan activos (Heredia-Abarca *et al.*, 2008). Por el contrario, una relación C/N menor a 25 indica mayor contenido de N disponible, lo que provoca la producción en exceso de N inorgánico, que puede perderse por volatilización en forma de amonio o por lixiviación en forma de nitrato (Bernal *et al.*, 2009). Los residuos agroindustriales presentan altos valores de relación C/N, y es por ello que su degradación natural es lenta. Si se desea acelerar el proceso de mineralización, es recomendable la adición de materiales con alto contenido de nitrógeno (Flores, 2009).

La inoculación de residuos lignocelulósicos con hongos es una opción viable tanto para disminuir el tiempo de compostaje como para mejorar las características del producto final obtenido. Muchos hongos han sido identificados como organismos lignocelulolíticos, en el grupo de los basidiomicetos *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus* y del grupo de los ascomicetos *Aspergillus niger*, *Trichoderma harzianum*, *T. reesei*, *T. pseudokoningii*, *Fusarium oxysporum*, entre otros (Valenzuela y Pinochet, 2008; Sánchez, 2009; Haddadin *et al.*, 2009; Charitha, 2012).

Los hongos son los principales responsables de la degradación de lignina y celulosa, y esa capacidad degradadora se asocia al hábito de crecimiento micelial que permite al hongo transportar nutrientes escasos, como el nitrógeno y hierro, a distancias considerables dentro del sustrato lignocelulósico (pobre en nutrientes) que constituye su fuente de carbono (Sánchez, 2009; Haddadin *et al.*, 2009). También requieren N en grandes cantidades, no solo para sintetizar los compuestos estructurales celulares como proteínas, ácidos nucleicos y quitina, sino también para la síntesis de enzimas que son necesarias para extraer los nutrimentos del medio (Heredia-Abarca *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la inoculación de *T. harzianum* y *Aspergillus* sp. en el proceso de compostaje de bagazo de maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), ambos con relación C/N reducida.

Materiales y métodos

Se monitoreó el compostaje de bagazo de maguey mezcalero y bagazo de caña de azúcar, ambos mezclados con estiércol bovino (4:1 y 5:1 v/v respectivamente) para la reducción de la relación C/N (Bernal, 2009), e inoculados con hongos lignocelulósicos.

El experimento se llevó a cabo en el módulo de compostaje del CIIDIR-Unidad Oaxaca en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Los bagazos, ambos recién generados, fueron recolectados en la comunidad San Baltazar Yatzachi el Alto, distrito de Villa Alta, Oaxaca. El estiércol bovino fue adquirido en el módulo de producción pecuaria del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Las pilas de compostaje tienen una capacidad de 1.8 m³ (3 × 1 × 0.6 m).

Los hongos utilizados fueron *T. harzianum* y *Aspergillus* sp. El primero se obtuvo de un producto comercial (Michoderma[®]) y fue cultivado mediante la técnica de siembra en placa, utilizando la dilución 10⁻⁴. El hongo *Aspergillus* sp. fue obtenido de compostas en proceso y aislado en medio de cultivo agarizado. Ambos hongos fueron aislados en medio de cultivo PDA (Holguín y Mora-Delgado, 2009) y multiplicados utilizando la técnica del arroz infectado (Posada-Flórez, 2008) para su posterior inoculación a las pilas de compostaje. Al bagazo de agave se le adicionaron 4.95 kg de arroz infectado con el hongo *T. harzianum* y 4.87 kg con *Aspergillus* sp. al bagazo de caña se le adicionaron 5.38 kg de arroz infectado con *T. harzianum* y 5.25 kg con *Aspergillus* sp.

El experimento fue desarrollado bajo un diseño completamente aleatorizado, con seis tratamientos, bagazo de maguey mezcalero inoculado con, *T. harzianum* (BM-Th), con *Aspergillus* sp. (BM-A) y sin inocular (BM-C). Los mismos tres tratamientos se aplicaron al bagazo de caña de azúcar (BC-Th, BC-A, BC-C). Cada pila de compostaje fue una unidad experimental. Se midió la temperatura semanalmente como promedio de 10 mediciones en la pila, a una profundidad de 10 cm. Se colectaron muestras por triplicado a los 0, 37, 70, 103 y 133 días después de iniciado el proceso. En ellas se midieron el pH y la conductividad eléctrica (CE) (Altieri y Esposito, 2010), el contenido de cenizas (CEN) y materia orgánica (MO) (Ansorena, 1994), el carbono orgánico total (COT) mediante la fórmula propuesta por Golueke (1977), el nitrógeno total (NT) (Bremner, 1965) y la relación C/N (R C/N). Los datos fueron sometidos al análisis de la varianza seguida de una prueba de separación de medias (Tukey $p \leq 0.05$). Se utilizó el software IBM SPSS 20.

Resultados y discusión

La composición y propiedades de los materiales originales se reportan en el Cuadro 1. Las propiedades del BM utilizado son similares a los reportados por Íñiguez *et al.* (2011) para el bagazo de maguey tequilero. Los valores de pH, COT, NT y R C/N del BC utilizado son similares a los reportados por Chandler *et al.* (2008) y las propiedades del estiércol coinciden con los valores presentados por Bernal *et al.* (2009).

Cuadro 1. Composición inicial de bagazo de maguey mezcalero (*Agave angustifolia*-BM), bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*-BC) y estiércol bovino (E), materias primas utilizadas en la evaluación del compostaje de los primeros materiales.

Parámetro	Unidades	BA	BC	E
CEN	(%)	6.15 b	1.99 b	35.7 a
MO	(%)	93.9 a	98 a	64.3 b
COT	(%)	52.1 a	54.5 a	35.7 b
NT	(%)	0.35 b	0.21 b	1.43 a
R C/N		150.6 b	261.9 a	25.1 c
pH		4.97 c	5.13 b	8.47 a
CE	(dS m ⁻¹)	1.43 b	0.84 c	3.97 a

CEN= cenizas; MO= materia orgánica; COT= carbono orgánico total; NT= nitrógeno total; R C/N= relación carbono/nitrógeno; CE= conductividad eléctrica. Valores con la misma letra, en cada fila, son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

La temperatura en las pilas se incrementó rápidamente hasta alcanzar valores máximos en los primeros 21 días en las mezclas de bagazo de maguey (Figura 1), alcanzando valores mayores a 40 °C. En los tratamientos BM-Th y BM-A se registraron los valores más altos. En BC, en el Xtratamiento C se registró el mayor valor de temperatura al día tres del compostaje; el tratamiento BC-Th registró valores inferiores al control, en el tratamiento BC-A se alcanzó una temperatura máxima de 31.6 °C al día 45.

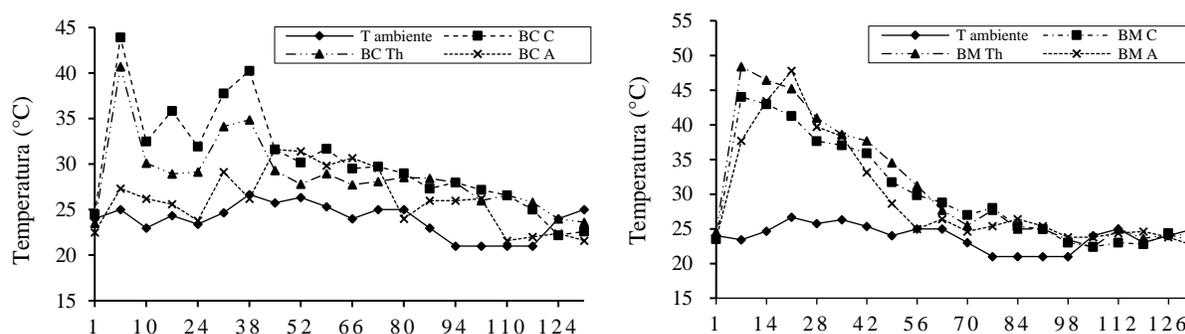


Figura 1. Dinámica de la temperatura en el proceso de compostaje (133 días) de bagazos de maguey (*Agave angustifolia*-BM) y de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*-BC) inoculados con los hongos *Aspergillus* sp. (A) *Trichoderma harzianum* (Th) o sin inocular (C), referencia, temperatura ambiental (TA).

La temperatura es un indicador de la actividad microbiana en el proceso de compostaje. En este trabajo, las temperaturas se elevaron inmediatamente propiciándose la fase termófila en la primera semana de iniciado el compostaje, esto se atribuye a que el tamaño de partícula de los bagazos permitió simultáneamente la difusión del oxígeno y la retención de humedad en un nivel adecuado para promover la actividad microbiana (Flores, 2009). Tortarolo *et al.* (2008) señalan que el factor temperatura contribuye a la descomposición de los residuos y a la sanidad de la composta, afirman que los rangos de 45 a 55 °C maximizan la biodegradación.

En las pilas con BM se alcanzaron temperaturas dentro de este rango, en las de BC la temperatura máxima fue menor a 45 °C. Haddadin *et al.* (2009), durante el compostaje de residuos de olivas, señala que la máxima degradación de compuestos lignocelulósicos aumenta conforme aumenta la temperatura, aunque este factor también puede ser una limitante para los organismos inoculados, ya que a ciertos niveles de temperatura puede disminuir su actividad enzimática (Tuomela *et al.*, 2000).

En el Cuadro 2 se observa que hay diferencias significativas entre los tratamientos para cada tipo de bagazo en los valores de CEN, MO y COT. En CEN se registraron diferencias significativas a los días 37 y 133 en BM, los mayores valores son para los tratamientos C y A. En BC hay diferencias significativas a partir del día 103, con el mayor valor para el tratamiento A. Iñiguez *et al.* (2011) reportan valores finales de 11.8-18.6% de cenizas en compostas de bagazo de maguey tequilero con adición de urea y vinazas. Los altos valores obtenidos en este trabajo se deben a la adición de estiércol con alto contenido de cenizas y a la disminución de la materia orgánica por efecto de su mineralización (Haddadin *et al.*, 2009). El contenido de MO y COT de BM decrecen entre 22 a 29% en los 133 días de experimento.

Cuadro 2. Contenido de cenizas (CEN), materia orgánica (MO) y carbono orgánico total (COT) durante el proceso de compostaje de 133 días de duración, de bagazo de maguey (*Agave angustifolia*-BM) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*-BC) inoculados con los hongos *Trichoderma harzianum* (Th), *Aspergillus* sp. (A) o sin inocular (C).

Día	CEN (%)			MO (%)			COT (%)		
	Th	A	C	Th	A	C	Th	A	C
Bagazo de maguey mezcalero (BM)									
0	17.2a	17.2a	17.2a	82.8a	82.8a	82.8a	46a	46a	46a
37	26.9b	33.1a	25.2b	73.1a	66.9b	74.8a	40.6a	37.2b	41.6a
70	29.9a	36.5a	33.6a	70a	63.5a	66.4a	38.9a	35.3a	36.9a
103	33.2a	36.5a	36.6a	66.8a	63.5a	63.4a	37.1a	35.3a	35.2a
133	35.8b	41.3a	39.6a	64.2a	58.7b	60.4b	35.7a	32.6b	33.6b
Bagazo de caña de azúcar (BC)									
0	9.8a	9.8a	9.8a	90.2a	90.2a	90.2a	50.1a	50.1a	50.1a
37	19.5a	20.9a	17.6a	80.5a	79.1a	82.4a	44.7a	43.9a	45.8a
70	22.1b	37.1a	24.6b	77.9a	62.9a	75.4a	43.3a	34.9a	41.9a
103	22.4b	38.8a	25.5b	77.6a	61.2b	74.5a	43.1a	34b	41.4a
133	28.6b	38.2a	35.3ab	71.4a	61.8b	64.7ab	39.7a	34.3b	36ab

Valores con la misma letra, en cada fila, son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

Con los tratamientos C y Th se registraron los mayores valores finales de MO, mientras que con A se obtuvieron los valores más bajos de ambos parámetros. En BC no hay diferencias significativas en el contenido de MO y COT al día 133, aunque la inoculación con el hongo A tiene una mayor tasa de mineralización, al reducir 31.5% el contenido de ambos. Charitha y Kumar (2012) mencionan que la actividad enzimática de la celulosa es alta en cepas de *Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp. Tuomela *et al.* (2000); Sánchez (2009) mencionan que el bagazo de caña tiene altos porcentaje de celulosa (32-44%), lo que puede explicar que con *Aspergillus* sp. se registre un mayor porcentaje de degradación en el bagazo de caña.

Los hongos del género *Aspergillus* sp. son termotolerantes, pudiendo resistir de 52-55 °C (Tuomela *et al.*, 2000), lleva a suponer que, al descender la temperatura de la fase termófila, este hongo dominante durante el resto del proceso de compostaje (Nusbaumer *et al.*, 1996 citado por Tuomela *et al.*, 2000). Contrariamente, *Trichoderma* tiene una temperatura óptima para la actividad degradadora de 30 °C (Haddadin *et al.*, 2009), factor que explicaría la menor actividad de mineralización de *Trichoderma*.

En el contenido de NT se registraron diferencias significativas en todas las fechas de muestreo en ambos materiales (Figura 2). Hay un aumento constante en el contenido de NT desde el inicio hasta el día 103 en los tratamientos en BM, con una disminución final en los tratamientos C y Th. En BC se registran fluctuaciones en el contenido de NT pero el valor final es mayor al valor inicial. Sharma *et al.* (2012), al inocular residuos de cosecha con diferentes especies de *Trichoderma*, reportan incrementos en el contenido de N, lo que atribuye a la liberación de este elemento debido a la muerte y degradación de los microorganismos que lo asimilaron.

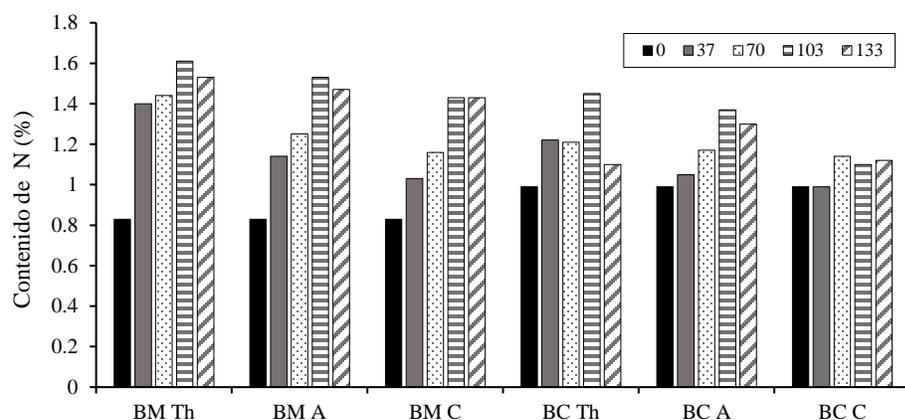


Figura 2. Comportamiento del contenido de N en el proceso de compostaje (133 días) de bagazos de maguey (*Agave angustifolia*-BM) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*-BC) inoculados con los hongos *Aspergillus* sp. (A), *Trichoderma harzianum* (Th) o sin inocular (C).

Raj y Antil (2011) mencionan que al inicio del compostaje hay un incremento de N amoniacal, y después de 60 días hay una rápida conversión a N nítrico. Este contenido aumenta conforme pasa la fase termófila y avanza el proceso de compostaje. También señalan, que el compostaje de residuos agroindustriales los procesos de amonificación y nitrificación son acelerados debido que se generan condiciones de mayor aireación, favoreciendo la actividad de los microorganismos en la inmovilización de NH_3 , que evita su pérdida por volatilización. Los resultados de esta investigación muestran relación con lo descrito anteriormente, al tratarse de residuos lignocelulósicos con bajo contenido de N.

En la conductividad eléctrica en BM se registran diferencias significativas a partir del día 70, con un decremento constante, el tratamiento C con la mayor CE. En BC hay diferencias significativas hasta el día 133, con el tratamiento A con el mayor valor (Cuadro 3). Flores (2009) reporta incrementos en CE a lo largo del proceso de compostaje de bagazo de maguey tequilero, con valores finales de 11.9 a 14.4 dS m⁻¹. Mazuela y Urrestarazu (2005) reportan valores de 22.9 a 34.3 dS m⁻¹ en composta generada de residuos hortícolas. El comportamiento observado en BC coincide con Gordillo *et al.* (2011), quienes reportan un incremento en la fase inicial debido a la mineralización de la materia orgánica, seguido de un decremento provocado por la lixiviación de metabolitos y residuos, por último, una fase de maduración con disminución de la CE, indicando el final del proceso.

Cuadro 3. Comportamiento del pH, conductividad eléctrica (CE) y la relación C/N (R C/N) durante el proceso de compostaje de 133 días de duración, de bagazo de maguey (*Agave angustifolia*-BM) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* - BC) inoculados con los hongos *Trichoderma harzianum* (Th), *Aspergillus sp.* (A) o sin inocular (C).

Día	Bagazo de maguey mezcalero			Bagazo de caña de azúcar		
	Th	A	C	Th	A	C
pH						
0	6.89a	6.89a	6.89a	7.92a	7.92a	7.92a
37	9.45b	9.78a	9.57ab	9.04a	8.01b	9.01a
70	8.54b	9.46a	9.62a	9.22a	8.62b	8.52b
103	9.29a	9.03b	9.21ab	9.02a	8.84a	8.94a
133	9.24a	9.13a	9.11a	9a	8.52b	8.66b
CE (dS m ⁻¹)						
Día	Th	A	C	Th	A	C
0	4.19a	4.19a	4.19a	2.49a	2.49a	2.49a
37	2.78ab	1.79a	2.88a	2.86a	2.6a	3.41a
70	2.14b	1.62c	2.88a	2.51a	1.81a	2.49a
103	1.93b	1.44a	2.57a	2.68a	1.8b	2.37ab
133	1.31b	1.31b	2.22a	1.45b	2.42a	1.39b
R C/N						
Día	Th	A	C	Th	A	C
0	55.4a	55.4a	55.4a	50.6a	50.6a	50.6a
37	35.6a	36.1a	29.7b	42.7a	44.4a	37.4a
70	31.1a	30.4ab	25.6b	37a	30.6a	34.7a
103	24.3a	24.7a	21.9a	31.5a	30.9a	28.6a
133	24.3a	22.8b	22b	30.5a	30.7a	32.6a

Valores con la misma letra, en cada fila, son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

La adición de estiércol incrementó el valor de pH de los residuos (Cuadro 3). En BM se registran diferencias significativas únicamente en el día 70, en tanto que en BC hay diferencias significativas en las fechas 37, 70 y 133. Todos los tratamientos presentan un incremento al inicio del proceso. El tratamiento Th tiene el mayor valor numérico de pH en ambos residuos al final de la evaluación. Boulter-Bitser *et al.* (2006) reportan incrementos de pH, alcanzando valores de 8.4. Atribuyen este aumento a la mineralización de los compuestos orgánicos y degradación de los ácidos orgánicos.

El manejo de la aireación es uno de los factores que modifica los valores de pH, a mayor concentración de oxígeno se favorece la acción de los microorganismos en la degradación de los ácidos orgánicos, lo cual aumenta el pH (Íñiguez *et al.*, 2011). Una explicación al comportamiento registrado por los tratamientos A, con mayor nivel de mineralización comparados con Th, es que el rango óptimo de pH para la actividad enzimática de *T. harzianum* es de 4 a 4.5 (Haddadin *et al.*, 2009). Los resultados obtenidos en este trabajo contrastan con los reportados por Zayed y Abdel-Motal (2005), quienes al compostar bagazo de caña de azúcar inoculado con *T. viride* y *A. niger* observaron reducciones en el pH, lo cual puede atribuirse a que *A. niger* es un organismo altamente acidificante del medio por su capacidad de sintetizar ácidos orgánicos.

Los valores de R C/N al inicio del proceso son de 55.4 y 50.6 en BM y BC, respectivamente, a causa de la adición de estiércol bovino (Cuadro 3). Hay efectos significativos de los tratamientos en BM, pero no en BC. Con el tratamiento C en BM se registró la mayor reducción total. En los tratamientos inoculados, A promovió una mayor reducción de la R C/N que Th (58.9 y 56.2%). En BC se observó mayor reducción de la R C/N con los tratamientos con inoculación (39.7% para *T. harzianum* y 39.3% para *Aspergillus* sp.). Zayed y Abdel-Motal (2005) reportan un valor de R C/N de 40 después de 105 días de compostaje de bagazo de caña con inoculación de *A. niger* + *T. viride*. Con la adición de residuos de granja se reporta un valor de 25 después de 90 días de procesamiento.

En BC se registran valores por encima del rango considerado como óptimo (18-20) por Íñiguez *et al.* (2011). Raj y Antil (2011) mencionan que en el compostaje de residuos agroindustriales el decremento en la R C/N es más rápido que en los residuos de granja. Íñiguez *et al.* (2011) reportan valores finales de R C/N de 14.5 y 16.2, los cuales indican un alto grado de estabilidad. La R C/N se utiliza como indicador de madurez y estabilidad en compostas, y los valores que se utilizan como referencia van de 10 a 25 (Íñiguez *et al.*, 2011; Raj y Antil, 2011).

En este trabajo BM, con cualquiera de sus tratamientos, tienen valores de 21.9 a 24.3, los cuales ya se pueden considerar estables. Los valores en BC son mayores que el rango señalado, ello debido los bajos contenidos de N inicial en este residuo. Flores (2009) menciona que altos valores de R C/N pueden repercutir en la inmovilización del N debido a que, al haber altos contenidos de C en la composta, la acción de los microorganismos continúa y estos requieren de N para su desarrollo.

Conclusiones

La adición de estiércol bovino en las proporciones utilizadas en esta investigación, son suficientes para reducir el valor de la relación C/N a un nivel apropiado para alcanzar en pocos días la fase termófila del compostaje. La utilización de los hongos lignocelulolíticos *T. harzianum* y *Aspergillus* sp. disminuyó el tiempo de degradación del bagazo de maguey mezcalero, pero no del bagazo de caña. *Aspergillus* sp. actuó con mayor grado de degradación en ambos bagazos evaluados, lo cual se vio reflejado en los menores valores de materia orgánica y carbono orgánico total. El bagazo de maguey mezcalero, con adición de estiércol bovino e inoculado con cualquiera de los dos hongos evaluados, alcanzó valores de la relación C/N que lo valoran como una composta madura a partir del día 103 del compostaje. Después de 133 días no ocurre lo mismo para el bagazo de caña de azúcar, por lo cual se valora este producto como una composta inmadura.

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional. El primer autor agradece al CONACYT la beca para estudios de Maestría.

Literatura citada

- Altieri, R. and Esposito, A. 2012. Evaluation of the fertilizing effect of olive waste mill compost in short-term crops. *Int. Biodeter. Biodegrad.* 64:124-128.
- Ansorena, M. 1994. *Sustratos, propiedades y caracterización*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 172 p.
- Aranda, E.; Sampedro, I.; Arriaga, C.; Díaz, R.; García, M.; Ocampo, J. A. y García, R. I. 2008. Transformación de los residuos procedentes del olivo mediante cepas fúngicas. *In: tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos*. Heredia, G. (Ed). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) e Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. 294-311 pp.
- Bernal, M. P.; Albuquerque, J.A. and Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Biores. Technol.* 100:5444-5453.
- Boulter, B. J. I.; Trevors, J. T. and Boland, G. J. 2006. A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost suppression of plant pathogens. *Appl. Soil. Ecol.* 34:65-81.
- Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. *In: methods of soil analysis*. Part 2. C. A. Black (Ed.). Agronomy Monographs Number 9. American Soil Association (ASA). Madison, WI. 1179-1237 pp.
- Carmona, E.; Moreno, M. T.; Avilés, M. and Ordovás, J. 2012. Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings. *Sci. Hort.* 137:69-74.
- Chandler, C.; Ferrer, J.; Mármol, Z.; Páez, G.; Ramones, E. y Perozo, R. 2008. Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar. *Multiciencias*. 8(1):19-27.
- Charitha, M. and Kumar, M. S. 2012. Isolation and screening of lignocellulose hydrolytic saprophytic fungi from dairy manure soil. *Ann. Biol. Res.* 3(2):1145-1152
- Crespo, G. M. R.; González, E. D. R.; Rodríguez, M. R.; Rendón, S. L. A.; del Real, L. J. I. y Torres, M. J. P. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(8):1161-1173.
- Flores, R. P. A. 2009. *Compostaje de dos materiales de bagazo de maguey tequilero (Agave tequilana Weber) y su determinación física y fisicoquímica*. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR-Unidad Oaxaca. 99 p.
- Fornes, F.; Mendoza, H. D.; García, de la F. R.; Abad, M. and Belda, R. M. 2012. Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Biores. Technol.* 118:296-305.
- Golueke, C. G. 1977. *Biological reclamation of solid wastes*. Rodale Press. Emmaus, PA. 272 p.
- González, G. Y.; González, R. O. y Nungaray, A. J. 2005. Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis* (3) <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73000314>.
- Gordillo, F.; Peralta, E.; Chávez, E.; Contreras, V.; Campuzano, A. y Ruiz, O. 2011. Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). *Rev. Inv. Agropec.* 37:140-149.

- Haddadin, M. S. Y.; Haddadin, J.; Arabiyat, O. I. and Butros, H. 2009. Biological conversion of olive pomace into compost by using *Trichoderma harzianum* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Biores. Technol.* 100:4773-4782.
- Heredia, A. G.; Castañeda, R. R. y Cappello, S. 2008. Biología e importancia de los hongos microscópicos filamentosos. *In: tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos.* Heredia, G. (Ed). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) e Instituto de Ecología, AC. Xalapa, Veracruz, México. 5-26 pp.
- Íñiguez, G.; Martínez, G. A.; Flores, P. A. y Virgen, G. 2011. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un sustrato para jitomate. *Rev. Int. Contam. Amb.* 27(1):47-59.
- Mazuela, P. y Urrestarazu, M. 2005. Evaluación agronómica de un cultivo de melón utilizando compost como sustrato en cultivo sin suelo. *IDESIA.* 23(2):39-45.
- Posada, F. F. J. 2008. Production of *Beauveria bassiana* fungal spores on rice to control the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Colombia. *J. Insect Sci.* 8(41):1-13.
- Raj, D. and Antil, R. S. 2011. Evaluation of maturity and stability parameters of compost prepared from agro-industrial wastes. *Biores. Technol.* 102:2868-2873.
- Sánchez, C. 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotech. Adv.* 27:185-194.
- Sharma, B. L.; Singh, S. P. and Sharma, M. L. 2012. Bio-degradation of crop residues by *Trichoderma* species vis-à-vis nutrient quality of prepared compost. *Sugar Tech.* 14(2):174-180.
- Tortarolo, M. F.; Pereda, M.; Palma, M. y Arrigo, N. M. 2008. Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *C. Suelo.* 26(1):41-50.
- Tuomela, M.; Vikman, M.; Hatakka, A. and Itavaara, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Biores. Technol.* 72:169-183.
- Valenzuela, F. y Pinochet, D. 2008. Biodegradación de paja de trigo mediante cepas fúngicas. *In: Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos.* Heredia, G. (Ed.). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) e Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. 314-325 pp.
- Valiño, E.; Elías, A.; Torres, C. T. y Albelo, N. 2004. Mejoramiento de la composición del bagazo de caña de azúcar por la cepa *Trichoderma viride* M5-2 en un biorreactor de fermentación en estado sólido. *Rev. Cub. Cien. Agríc.* 45(3):267-273.
- Zayed, G. and Abdel, M. H. 2005. Bio-production of compost with low pH and high soluble phosphorus from sugar cane bagasse enriched with rock phosphate. *World J. Microbiol. Biotech.* 21:747-752.