



A1-257 Evaluación de un implemento mecánico que permite airear pilas de compostaje

Uliarte¹, E.M.; Ambrogetti¹, A.O; Martinez², L.E.; Montoya¹, M.A.;
Rizzo³, P.F.; Ferrari¹, F.N.

¹Ingeniería de Cultivo, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Mendoza INTA, e-mail: ularte.ernesto@inta.gob.ar; ²Recursos Naturales, EEA Mendoza INTA, e-mail: martinez.laura@inta.gob.ar; ³Laboratorio de Transformación de Residuos, IMyZA, INTA, e-mail: rizzo.pedro@intagob.ar

Resumen

Se desarrolló una herramienta tipo reja que permite mecanizar la aireación de pilas de compostaje. El objetivo del trabajo fue comparar la labor del implemento respecto de una máquina volteadora de compost y evaluar la composición del producto final obtenido. Durante el compostaje se monitorizó la evolución de parámetros físico-químicos, determinándose además la estabilidad y madurez del compost terminado. Las pilas aireadas con máquina volteadora alcanzaron temperaturas significativamente mayores; sin embargo las aireadas con reja lograron estabilidad térmica en el mismo tiempo. No se presentaron diferencias respecto de humedad, materia orgánica, salinidad, pH y nutrientes. Los índices de madurez y estabilidad fueron similares. La máquina volteadora posee una capacidad de trabajo cuatro veces superior a la de la reja, aunque requiere mayor demanda de potencia de tracción y una inversión inicial veinte veces mayor. La aireación con reja puede ser fácilmente apropiable por parte de agricultores de pequeña escala.

Palabras-clave: compost; aireación; mecanización; reja; máquina volteadora.

Abstract

An agronomic tool in form of a blade was developed. It allows the mechanization of aeration in compost piles. The aim of this work was to evaluate the performance of this implement comparing with a compost turning machine, and to assess the composition of the final product. A monitoring of physicochemical parameters during composting, maturity and stability of the finished compost was performed. Aerated piles with turning machine achieved significantly higher temperatures; however windrows aerated with the blade reached thermal balance at the same time. Moisture, organic matter, salinity, pH, nutrients, maturity and stability indexes of the final product were similar for both turning methods. The turning machine has four times higher work capacity, but requires greater tractor power and twenty times higher initial investment than the blade. Compost piles aeration with the blade can be easily appropriated by small farmers.

Keywords: composting; aeration; mechanization; blade; turning machine.

Introducción

En la provincia de Mendoza (Argentina) se concentra un gran número de agricultores dedicados a la producción intensiva de hortalizas, frutales y fundamentalmente vid. Los suelos de la región poseen bajos contenidos de materia orgánica y escasa estructura, por lo que se recomienda la aplicación de enmiendas orgánicas, entre ellas el compost (Martínez, 2011; Abril *et al.*, 2014). El compostaje es un proceso biológico en presencia de oxígeno mediante el cual residuos orgánicos con adecuada humedad, son transformados en un material homogéneo y asimilable por las plantas (Epstein, 1997). En los sistemas de compostaje en hileras o pilas con aireación, mediante volteos periódicos, se utilizan diversas técnicas; desde laboriosos vuelcos manuales mediante pala, mecánicamente utilizando

palas cargadoras frontales y hasta máquinas específicamente diseñadas para la tarea. Las operaciones de volteo optimizan el proceso de compostaje, acortando significativamente los tiempos hasta obtener un producto estabilizado (Misra *et al.*, 2003). Las máquinas volteadoras accionadas por tractor resultan muy útiles cuando se manejan grandes volúmenes de residuos a compostar, pero implican un costo relativamente elevado de inversión y demandan una potencia de al menos 75 a 80 HP (Montero Avendaño, 2006). El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA; EEA Hilario Ascasubi) desarrolló una volteadora de compost de costo comparativamente inferior a la oferta de equipos disponibles en el mercado local (Orden, 2013). A escala de pequeños productores de la región es común poseer tractores de 45 a 55 HP y la adquisición de maquinaria específica resulta ser muy onerosa para la actividad agrícola. A partir de la necesidad de buscar alternativas para el compostaje en finca, se diseñó una herramienta tipo “reja” que permitió mecanizar la tarea, reduciendo la duración del proceso y obteniendo un producto homogéneo. Es un implemento de bajo costo (relación 1:20 respecto de máquinas volteadoras), adaptado a los tractores más frecuentes en la zona y orientado a sistemas agrícolas de pequeña escala. El objetivo del trabajo fue comparar la labor de la reja desarrollada respecto de la máquina volteadora de compost durante el proceso de compostaje y evaluar la composición del producto final obtenido.

Metodología

El ensayo experimental se llevó a cabo en la EEA Mendoza del INTA (Luján de Cuyo, Mendoza) utilizando un diseño estadístico completamente aleatorizado con dos tratamientos y cuatro repeticiones o unidades experimentales (pilas). Los tratamientos fueron dos alternativas de mecanización para el volteo de pilas de compostaje: máquina volteadora (V) y reja (R) (Figura 1). Los residuos utilizados para compostar se dispusieron en capas con las siguientes proporciones expresadas en volumen: 2 partes de orujo agotado de uva, 4,5 partes de hojas secas, 1 parte de alfalfa seca, 2 partes de estiércol vacuno y 0,5 partes de aserrín. La relación carbono:nitrógeno (C:N) de la mezcla inicial fue de 25. Las dimensiones iniciales de cada pila fueron de 1,5 m de ancho, 6 m de largo y 1,2 m de alto. A fines de septiembre de 2014 se armaron las pilas y se inició el riego mediante doble cinta de goteo, procurando mantener una humedad cercana al 50% durante el período de compostaje. Se realizaron cinco volteos para cada tratamiento en los mismos momentos: a los 11, 42, 61, 82 y 102 días desde el armado de las pilas. Se efectuó un seguimiento periódico de la temperatura mediante un termómetro analógico (TFA 19.2008, Alemania). En el transcurso del compostaje se extrajeron muestras compuestas de cada pila para determinar humedad, contenido de materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), pH, nitrógeno total (N), fósforo (P) y potasio (K) según la metodología de Sadzawka *et al.* (2005). Se calculó la relación C:N inicial y final. Al término del proceso se midió el índice respirométrico estático (IRE) y se determinó la densidad aparente (DAP) final del compost obtenido. La evaluación estadística se realizó mediante el análisis de la varianza y la comparación de medias de los tratamientos (V y R) se llevó a cabo con la prueba LSD de Fisher.



FIGURA 1. Mecanización del volteo de pilas de compostaje. (A) Máquina volteadora (EEA Hilario Ascasubi INTA), (B) Implemento tipo “reja” (EEA Mendoza INTA).

Resultados y discusiones

En la Figura 2 se presentan las curvas de evolución de la temperatura de compostaje, allí se deduce que la etapa mesófila inicial ($<45^{\circ}\text{C}$) fue muy corta (menos de 10 días). Inmediatamente después de alcanzar la humedad deseada y efectuar el primer volteo se manifestó la etapa termófila ($\geq 45^{\circ}\text{C}$) con una duración aproximada de 38 días. A continuación la temperatura descendió gradualmente (etapa de enfriamiento o maduración) con elevaciones transitorias de temperatura en aparente respuesta a los volteos, para finalmente estabilizarse próxima a la temperatura ambiente. La dinámica de la temperatura fue similar para ambos tratamientos a lo largo del compostaje. No obstante, V presentó temperaturas significativamente superiores a R para determinados períodos. A partir del día 77 las temperaturas fueron similares entre los tratamientos. El proceso de compostaje demandó entre 105 y 115 días hasta alcanzar la estabilidad térmica, la cual se logró en el mismo tiempo para V y R. En los dos casos se registraron temperaturas superiores a 55°C durante al menos una semana, lo cual asegura la correcta eliminación de patógenos (Zhang & He, 2006).

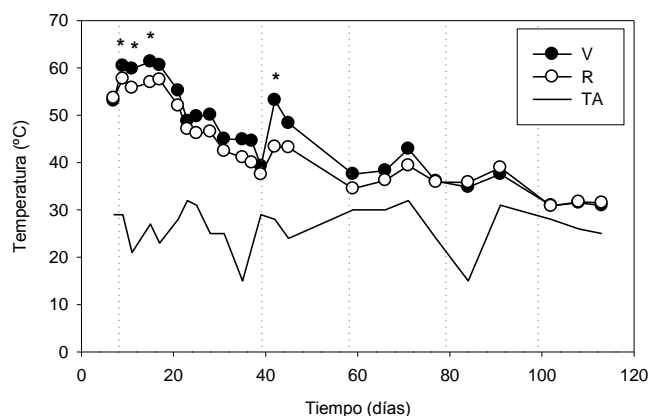


FIGURA 2. Temperatura ambiental (TA) y de pilas de compostaje para dos alternativas de mecanización del volteo: volteadora (V) y reja (R). Líneas punteadas muestran los momentos de volteo y asteriscos (*) indican diferencias significativas entre tratamientos (prueba LSD; $p \leq 0,05$; $n=4$).

A pesar de que se registraron algunas diferencias significativas en la temperatura de V y R, los parámetros humedad, MO, CE, pH, N, P y K fueron estadísticamente similares entre los tratamientos durante todo el proceso (Figura 3). La humedad de las pilas fue muy similar

para ambos casos, sin embargo en V se mantuvo más estable que en R; probablemente debido a que el material fue más homogeneizado por la labor de V. Al avanzar el proceso de compostaje la MO y CE disminuyeron, mientras que el pH aumentó. Los valores finales de CE del producto se ubican entre los recomendados para evitar posibles efectos de fitotoxicidad sobre el crecimiento de las plantas, como así también para el caso del pH (Sullivan & Miller, 2001). Tanto el N como el K disminuyeron su contenido a lo largo del proceso. Ambos elementos se pierden por lixiviación, aunque parte del nitrógeno puede volatilizarse. En cambio, el P registró un aumento de su concentración lo cual ha sido observado en otras experiencias (Leconte *et al.*, 2009).

Para la determinación del grado de madurez y estabilidad del producto terminado se utilizan diferentes índices (TMECC, 2002). Entre ellos, la relación C:N final inferior a 20 y la temperatura próxima a la del ambiente indicarían que ambos compost terminados alcanzaron su estabilidad en el mismo momento (Tabla 1 y Figura 2). El índice respirométrico estático (IRE) muestra el grado de estabilidad del producto final mediante la medición del consumo de O₂ (Gómez *et al.*, 2006). El IRE fue estadísticamente similar para V y R, presentando valores dentro del rango definido como estable (TMECC, 2002). La densidad aparente del producto final fue idéntica para ambos tratamientos y dentro de los valores normales (Agnew & Leonard, 2013) (Tabla 1).

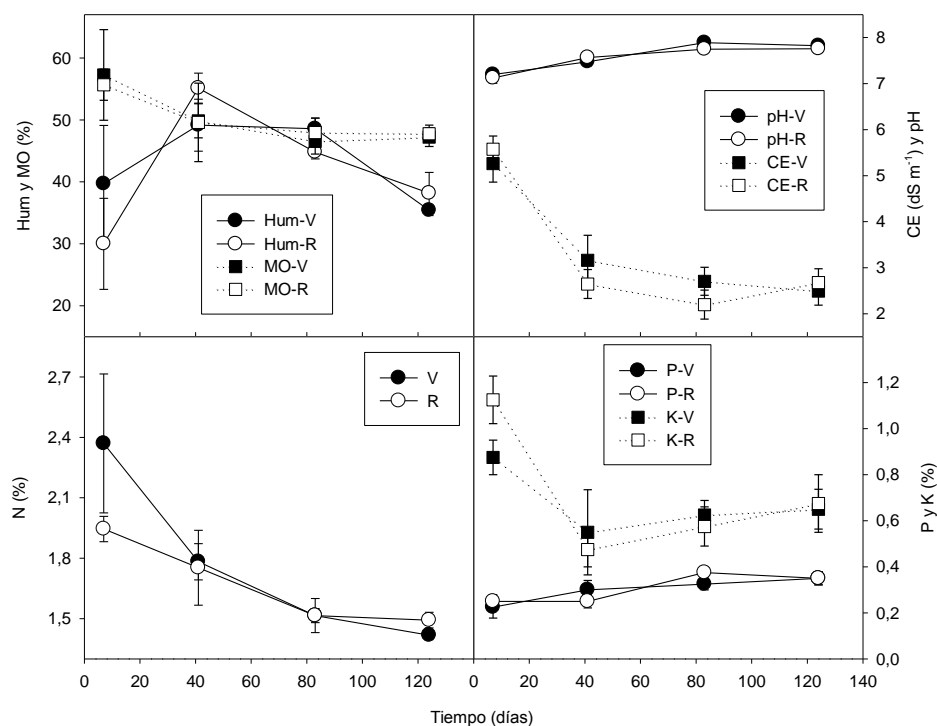


FIGURA 3. Humedad (Hum), materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), pH, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en pilas de compostaje manejadas con dos alternativas de volteo: volteadora (V) y reja (R). Valores medios \pm error estándar. No se registraron diferencias significativas entre tratamientos (prueba LSD; $p \leq 0,05$; $n=4$).

TABLA 1. Relación C:N, índice respirométrico estático (IRE) y densidad aparente (DAP) del compost terminado. Valores medios \pm error estándar. Letras iguales indican falta de diferencia significativa entre tratamientos (prueba LSD; $p \leq 0,05$; $n=4$).

Parámetro	Volteadora	Reja	Clasificación
C:N	19,4 \pm 0,40 a	18,7 \pm 0,95 a	Maduro
IRE (mg O ₂ g ⁻¹ MO h ⁻¹)	0,41 \pm 0,06 a	0,37 \pm 0,09 a	Estable
DAP (kg m ⁻³)	706 \pm 13 a	701 \pm 18 a	Valor normal

En la Tabla 2 se describen las principales características de las tecnologías de mecanización de volteo ensayadas. La potencia real necesaria para el funcionamiento de V fue mayor a la de R (75 y 45 HP, respectivamente). Esta última es la potencia de los tractores comúnmente utilizados en la región. La velocidad de trabajo fue la misma para ambas tecnologías, aunque el ancho de labor de R fue 2,5 veces menor que el de V. Esto implicó la necesidad de realizar doble pasada cuando se utilizó R, una a cada lado de la pila. Además, hubo que transitar con la reja a dos alturas (a la mitad de la pila y luego en su base) para lograr una adecuada aireación y mezcla del material. El tiempo de trabajo fue cuatro veces mayor cuando se usó R. La puesta en marcha de V requiere regulaciones previas y es necesario un mantenimiento periódico de la máquina, mientras que R es un implemento con mínima necesidad de manutención. Ambas tecnologías requirieron efectuar un re-armado de las pilas de compostaje luego de su volteo, sobre todo hacia el final del proceso, cuando disminuyó el tamaño de las partículas y no fue posible mantener su estructura.

TABLA 2. Descripción de las principales características de la maquinaria evaluada.

Parámetro	Volteadora	Reja
Potencia demandada (HP)	75	45
Utilización de la toma de fuerza	Sí	No
Velocidad de trabajo (km h ⁻¹)	1,5	1,5
Ancho de labor (m)	2,0	0,8
Pasadas necesarias	1	4*
Capacidad de trabajo (m lineales h ⁻¹)	1.500	375

*dos pasadas a cada lado de la pila a diferentes alturas

Conclusiones

El proceso de compostaje se diferenció por la temperatura en ciertos períodos según la técnica de volteo utilizada, pero los productos finales obtenidos alcanzaron estabilidad y madurez en el mismo momento, con parámetros físico-químicos similares. La máquina volteadora requiere elevada inversión inicial, potencia demandada de al menos 75 HP y cierto mantenimiento del equipo. Sin embargo la capacidad de trabajo será cuatro veces superior a la reja, lo cual representa una ventaja comparativa al compostar grandes volúmenes de residuos. Para el volteo con reja sólo se necesitan 45 HP, mínimo mantenimiento y una inversión veinte veces inferior. La simplicidad de diseño de la reja no demanda mano de obra calificada para su fabricación. Por estos motivos se considera que la tecnología de manejo con reja puede ser fácilmente apropiable por parte de agricultores de escala pequeña a mediana, que compostan a nivel predial volúmenes acotados de residuos para autoabastecerse de una enmienda orgánica.



Agradecimientos

A Jorge Ullé (Red de Agroecología de INTA; REDAE), Luciano Orden (EEA Ascasubi INTA) y Diana Crespo (IMyZA Castelar). A la EEA Marcos Juárez INTA. Al personal de apoyo técnico y autoridades de la EEA Mendoza INTA. A Pedro Díaz y Ariel Porro.

Referencias bibliográficas

- Abril A, L Noe & MF Filippini (2014) Manejo de enmiendas para restaurar la materia orgánica del suelo en oasis de regadío de Mendoza, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40 (1): 83-91.
- Agnew JM & JJ Leonard (2013) The physical properties of compost. *Compost Science and Utilization*, 11 (3): 238-264.
- Epstein E (1997) *The science of composting*. CRC press, USA, 489 p.
- Gómez RB, FV Lima & AS Ferrer (2006) The use of respiration indices in the composting process: a review. *Waste Management & Research*, 24 (1): 37-47.
- Leconte MC, MJ Mazzarino, P Satti, MC Iglesias & F Laos (2009) Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. *Waste Management*, 29 (9): 2446-2453.
- Martínez LE (2011) Efecto de la aplicación de abonos orgánicos sobre las características físico-químicas y microbiológicas de suelos bajo cultivo de vid de la provincia de Mendoza. Universidad de Buenos Aires. Tesis de Maestría en Ciencia del Suelo. 39 p.
- Misra R, R Roy & H Hiraoka (2003) On-farm composting methods. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 26 p.
- Montero Avendaño JE (2006) Diseño de máquina volteadora de compost. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile. Para optar al título de Ingeniero Mecánico. 78 p.
- Orden L (2013) Compost: manejo de residuos orgánicos en sistemas de producción agroecológica. En: Ullé JA (Ed.), *Bases tecnológicas de sistemas de producción agroecológicos*. INTA, Buenos Aires, pp. 81-90.
- Sadzawka A, MA Carrasco, R Grez & ML Mora (2005) Métodos de análisis de compost. Serie Actas INIA, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile, 152 p.
- Sullivan DM & RO Miller (2001) Compost quality attributes, measurements, and variability. En: Stoffella PJ, BA Kahn (Eds.), *Compost utilization in horticultural cropping systems*, p. 415.
- TMECC (2002) Test methods for the examination of composting and compost. En: Thompson WH, PB Leeg, P Millner, ME Watson (Eds.).
- Zhang Y & Y He (2006) Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. *Bioresource Technology*, 97 (16): 2024-2031.