

Estabilidad de compostas estáticas biodinámicas a partir de restos de cultivos regionales

Heberto Antonio Rodas-Gaitán¹
Rigoberto Eustacio Vázquez-Alvarado^{1§}
Emilio Olivares-Sáenz¹
Juana Aranda-Ruiz¹
José Manuel Palma-García²

¹Estudios de Postgrado e Investigación, Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. Campus de Ciencias Agropecuarias, Av. Francisco Villa s/n, Col. Exhacienda El Canadá. General Escobedo, Nuevo León. CP. 66050. (heberto.rodas@yahoo.com; emolivares@gmail.com; juany62@hotmail.com). ²Centro de Investigación y Desarrollo Agropecuario. Av. Universidad núm. 333. Las Víboras, Colima, México. CP. 28040. (palmagarciajm@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: r.vazquez.alvarado@yahoo.com.mx.

Resumen

La elaboración de compostas a partir de residuos agrícolas permite generar una alternativa en la producción de abonos orgánicos. Tradicionalmente el volteo constante, hace oneroso este sistema, por lo que la producción de compostas estáticas asociadas a la aplicación de preparados biodinámicos (PB), promueve el desarrollo de alternativas sustentables. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la inclusión de PB (base fundamental de la agricultura biodinámica) en compostas estáticas de restos de nopal y moringa como sustratos principales, estableciendo un experimento con un diseño completamente al azar y arreglo bifactorial, en Zuazua, Nuevo León. Se consideraron cuatro tratamientos: T1, nopal+PB; T2, moringa+PB, T3, nopal y T4, moringa. Asimismo, la estabilidad de las compostas fue evaluada durante un año; a través, del comportamiento de 16 variables (físicas, químicas y biológicas). Las interacciones significativas mostraron que el uso de nopal y aplicación de PB en las compostas, promovieron en general una mayor mineralización, temperatura y menor humedad. De acuerdo a la significancia estadística de los factores principales, en tratamientos con PB se encontraron los máximos valores de UFC de bacterias y en tratamientos con nopal los mayores valores de materia orgánica, relación C:N e hidrógeno. La concentración de macro- y microelementos incrementó en cada tratamiento al final del período evaluado, con excepción del N, K y Cu. La descomposición de los sustratos principales regionales empleados en las pilas estáticas fue favorecida por la inclusión de PB.

Palabras clave: *Moringa oleifera* Lam., *Opuntia ficus indica* L. Mill.; agricultura biodinámica.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: febrero de 2019

El aumento poblacional durante las últimas décadas conlleva al incremento de la demanda de alimentos, provocando a su vez mayores cantidades de residuos orgánicos provenientes del sector agrícola o industrial. El manejo incontrolado de éstos dirige hacia un proceso de contaminación, incluyendo los mantos freáticos, atmósfera y suelo, debido a la lixiviación de minerales indeseados, gases efecto invernadero o químicos contenidos en los residuos. Una de las estrategias para el manejo de la materia orgánica es el compostaje, definido como la transformación de ésta en compuestos más estables en un proceso controlado y bajo condiciones aeróbicas (Hubbe *et al.*, 2010). Además, las condiciones dentro de las pilas de compostaje reducen el potencial de microorganismos patógenos (Storino *et al.*, 2016), el producto obtenido es de alto valor y funciona como enmienda del suelo al mejorar sus características físicas, químicas y biológicas.

Dentro de los métodos de compostaje, el manejo como pilas estáticas puede alcanzar la mayor reducción en energía y costos, debido a que no son necesarios los volteos (Hubbe *et al.*, 2010; Nasini *et al.*, 2016). El manejo y uso eficiente de compostas no solamente es la base de la fertilidad de los suelos en la agricultura sostenible, sino forma parte del conjunto de componentes indispensables manejados dentro del enfoque de la agricultura biodinámica (Demeter International, 2004).

La biodinámica (AB) surge durante la primera mitad de la década de los 20 (Steiner, 1988), considerada como una forma de producción agrícola alternativa, bajo un sistema cerrado, donde la inclusión de animales de granja y plantas es necesaria para obtener biofertilizantes y enmiendas de suelo. El uso de preparados biodinámicos (PB) y composta se consideran como base fundamental de la AB. Los seis PB que son empleados en la composta, pasan por un período de fermentación de seis meses a un año y posteriormente son aplicados en proporciones de 5-15 cm³ para 14 t de materia prima (Steiner, 1988; Zaller y Köpke, 2004). Las compostas con PB muestran contenidos superiores de nitrógeno, temperaturas, actividad de enzima deshidrogenasa, mayor actividad microbiana, capacidad de retención de nutrientes, población de microorganismos, en contraste con la composta sin tratamiento (Carpenter-Boggs *et al.*, 2000; Reeve *et al.*, 2010; Sradnick *et al.*, 2013).

La AB considera el aprovechamiento de recursos regionales para la producción agropecuaria y toma como base la conservación de la fertilidad del suelo. Por lo tanto, se planteó como propósito de la presente investigación evaluar la inclusión de los PB en el proceso de compostaje estático, de residuales de nopal (*Opuntia ficus indica* L. Mill.) y moringa (*Moringa oleifera* Lam.).

El experimento se realizó en la finca orgánica “Zu-Nopalito” (certificada por BioAgriCert), localizada en Zuazua, Nuevo León (25° 53' latitud norte, 100° 02' longitud oeste). Se encuentra alrededor de 355 msnm y una precipitación anual de 520 mm. El nopal y moringa utilizados como sustratos principales en el proceso de compostaje, se obtuvieron de la finca orgánica ‘Zu-Nopalito’ y de los invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), respectivamente. Los PB fueron adquiridos de la finca certificada Demeter ‘El Equimite (Demeter International, 2004).

La construcción de las pilas se basó en el criterio principal de relación C:N inicial 20:1. Cada uno de los dos sustratos principales fue mezclado con estiércol vacuno/gallinaza (1:1), como fuente de nitrógeno. Las dimensiones por pila fueron de aproximadamente 2.25, 0.90 y 1.30 m de largo, alto y ancho, respectivamente. Para el sistema de aireación pasivo, se emplearon tubos de PVC (3”

diámetro), con agujeros (3/4" pulgada) cada 10 cm, colocados transversalmente en la base de las pilas de composta. Para el experimento fueron construidas cuatro pilas de composta, dos de nopal y otras dos de moringa, como sustratos principales. De las pilas con el mismo sustrato, a una se le dio el tratamiento con PB y la otra funcionó como testigo, sin PB (T1, Nopal+PB; T2, Moringa+PB; T3, Nopal; T4, Moringa).

Se monitorearon 16 variables en el tiempo (octubre 2016-octubre 2017). Para la toma de muestras se consideró la media profundidad y la longitud total de las pilas.

Los sustratos principales y el material composteado (un año) fueron analizados obteniendo una muestra compuesta (cinco submuestras) y cuantificada en triplicado. Además, se analizó el agua de riego para poder determinar el aporte nutrimental por parte de ésta.

Para el análisis de carbono (C) e hidrógeno (H), las muestras fueron secadas a temperatura constante de 60 °C por 24 h y determinados mediante el método de Dumas (combustión seca), utilizando un analizador TruSpec (LECO, 2016). La materia orgánica (MO) fue obtenida multiplicando el C orgánico por un factor de 1.72 (Vos *et al.*, 2007). El nitrógeno total (N) fue cuantificado con el procedimiento de digestión Kjeldahl (Etheridge *et al.*, 1998). La determinación del contenido de fósforo (P) fue realizado por el método vanadato-molibdato y el uso de un espectrofotómetro Spectronic®, modelo Helios Epsilon (USA) (Krey *et al.*, 2013). El potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) fueron determinados por espectroscopia de absorción atómica (UNICAM Solar®, modelo 9626).

La temperatura y humedad se monitorearon semanalmente durante las primeras 14 semanas, considerando cinco muestras por composta. Para el registro de temperatura, se colocaron cinco termómetros para la medición al centro y a lo largo de las pilas. El porcentaje de humedad fue determinado tras el secado a temperatura constante de 105 °C por 24 h (Escudero *et al.*, 2012).

Las poblaciones de bacterias y hongos/levaduras fueron cuantificadas cada cuatro semanas durante la fase más activa del proceso de compostaje (14 semanas). Se extrajeron cinco muestras del centro y a lo largo de cada pila y posteriormente almacenadas a 4 °C hasta su análisis. Las muestras fueron preparadas en diluciones de 1:10⁶ y 1:10⁷ para cuantificar el crecimiento de hongos/levaduras y bacterias, respectivamente. La inoculación de 1 mL por muestra fue realizada en placas 3M™ Petrifilm™. Para hongos/levaduras, las placas 3M Petrifilm RYM fueron incubadas a 28 °C ±2 °C durante cinco días. Para bacterias, las placas 3M Petrifilm AC fueron incubadas a 35 °C ±2 °C durante 48 h.

El experimento fue establecido bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2, siendo uno de los factores principales el uso de PB con dos niveles (con, sin PB) y el otro factor el tipo de sustratos con dos niveles (nopál, moringa). Los datos obtenidos de las variables en los diferentes puntos de muestreo fueron sometidos a un análisis de varianza (Anva) de una vía. En caso necesario, se realizó la transformación arcoseno previo al Anva. La comparación de medias fue realizada empleando la prueba de honestidad de la diferencia significativa de Tukey ($p < 0.05$). Adicionalmente, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para encontrar la relación entre las variables físicas, químicas y biológicas en el proceso de compostaje y su asociación con los distintos tratamientos. Los análisis estadísticos fueron realizados por medio del paquete estadístico SPSS 17.0.

Por medio del Anva se encontró interacción altamente significativa de los factores evaluados (PB x Sustrato) para las variables temperatura, K, Mg, Cu, Fe, Mn y una interacción significativa para humedad, N, P, Ca y Zn. La aplicación de los PB en las compostas indujo el aumento de temperatura, reducción de humedad y en general, la disminución de la concentración final de los elementos anteriormente mencionados (Figura 1).

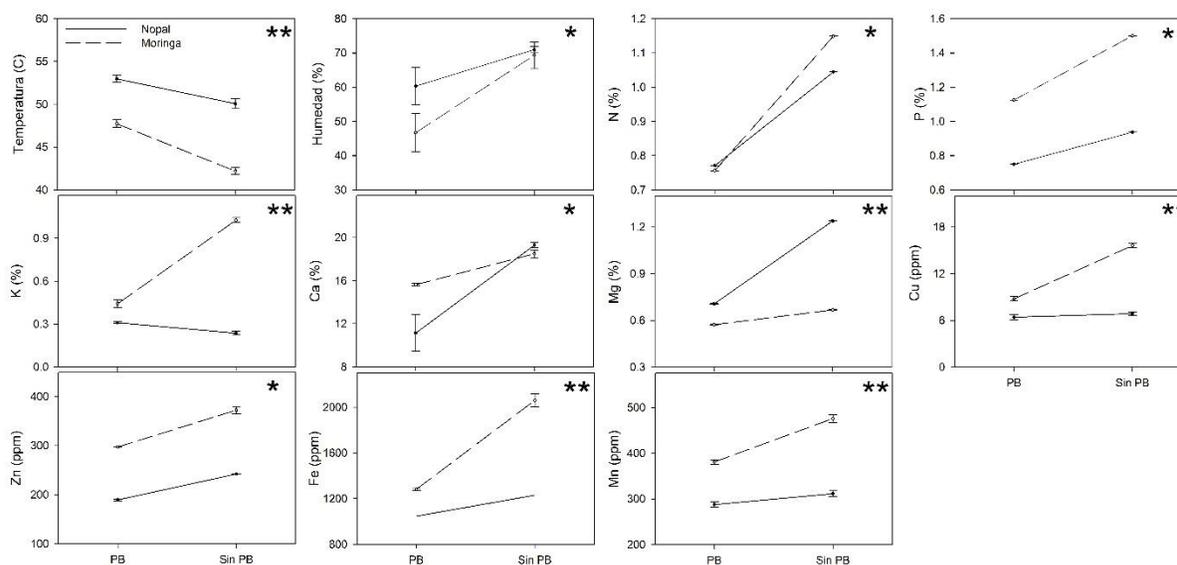


Figura 1. Variables físicas y químicas con interacción significativa (* $p < 0.05$) y altamente significativa ($p < 0.01$) en los factores evaluados (preparados biodinámicos x sustrato).** Fuente: datos de campo y laboratorio (FAUANL), 2016-2017. Procesador: SigmaPlot 10.0.

En caso del factor principal -PB-, se encontró diferencia altamente significativa para la variable bacterias y únicamente significativo para relación C:N, en donde los tratamientos con inclusión de PB mostraron los máximos valores. Para el factor principal -sustrato-, se encontró una diferencia altamente significativa para MO, relación C:N e H, donde los tratamientos con nopal mostraron los máximos valores (Cuadro 1). La variable hongos/levaduras no presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos ($4.97 \times 10^9 \pm 1.53 \times 10^9$, $4.75 \times 10^9 \pm 1.83 \times 10^9$, $6.77 \times 10^9 \pm 8.99 \times 10^8$ y $5.18 \times 10^9 \pm 6.11 \times 10^8$ UFC totales, para T1, T2, T3 y T4, respectivamente).

Cuadro 1. Variables con diferencia significativa (* $p < 0.05$) y altamente significativa ($p < 0.01$) en los factores principales (preparados biodinámicos y sustrato).**

Factor Anva	Inclusión PB/sustrato	Bacterias (UFC totales)	C:N	MO (%)	H (%)
PB	Con PB	$1.61 \times 10^8 \pm 2.05 \times 10^7$ a**	11.66 ± 4.59 a*	24.08 ± 5.1 a	1.62 ± 0.35 a
	Sin PB	$1.27 \times 10^8 \pm 1.64 \times 10^7$ b	9.3 ± 3.18 b	26.96 ± 4.92 a	1.81 ± 0.27 a
Sustrato	Nopal	$1.54 \times 10^8 \pm 1.92 \times 10^7$ a	13.78 ± 2.25 a**	29.65 ± 2.64 a**	1.92 ± 0.16 a**
	Moringa	$1.37 \times 10^8 \pm 2.87 \times 10^7$ a	7.18 ± 0.85 b	21.4 ± 2.64 b	1.42 ± 0.24 b

Medias con letras iguales por factor y por columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). UFC= unidades formadoras de colonias; C/N= relación carbono:nitrógeno; MO= materia orgánica; H= hidrógeno. Fuente: datos obtenidos de laboratorio FAUANL (2017).

Los resultados de temperatura obtenidos concuerdan con Zaller y Köpke (2004); Reeve *et al.* (2010), quienes reportaron temperaturas superiores en las pilas inoculadas con PB, en comparación con los controles (sin PB). Además, indican mayor actividad microbiana en las primeras, sugerido por la mayor actividad de la enzima deshidrogenasa. El incremento en temperatura es el producto de la descomposición de la materia orgánica, como reflejo de la actividad microbiana, lo cual a su vez disminuye la humedad y la concentración de elementos, tales como el C, H y O (Singh *et al.*, 2016).

Los valores de MO al final del período evaluado no mostraron diferencia significativa entre tratamientos con y sin PB (Cuadro 1). Sin embargo, el porcentaje de pérdida de carbono (a lo largo del período de evaluación) reflejó la mayor actividad de descomposición del material orgánico en aquellas pilas con PB (54 y 64% para T1 y T2, respectivamente), en contraste con las pilas sin PB (50 y 57% para T3 y T4, respectivamente).

El porcentaje de humedad alcanzado se encuentra dentro del rango adecuado para la actividad microbiana (Tang *et al.*, 2006), éste es un parámetro crítico para la optimización de dichos sistemas (Luo *et al.*, 2008), el cual depende de la correcta selección y proporción de mezcla de los materiales. Los puntos máximos de temperatura alcanzados fueron de 58, 55, 59 y 56 °C para el T1, T2, T3 y T4, respectivamente. Tales valores garantizan el control de patógenos para humanos (Storino *et al.*, 2016).

En el Cuadro 1 se observa que la relación C:N de los cuatro tratamientos se mantuvo entre valores de 7:1 y 14:1. Nair y Delate (2016) sugieren valores entre 10-15:1, como óptimos para compostas maduras a ser aplicadas en campo. El ajuste de la relación C:N inicial en las compostas de la presente investigación (20:1) se calculó de acuerdo a los valores iniciales de los sustratos principales, siendo éstos de 24.88, 36.67, 8.02 y 13.77 para nopal, moringa, gallinaza y bovinaza, respectivamente. Éste parámetro es uno de los más importantes para el desarrollo de un proceso de compostaje (Guo *et al.*, 2012).

El período más activo del proceso de compostaje (fase mesofílica y termofílica) fue durante las primeras 14 semanas. Período donde se obtuvieron los máximos valores de temperatura, UFC de bacterias y hongos/levaduras.

En la Figura 2, se observa la comparación de las concentraciones de elementos de las mezclas iniciales y las pilas de composta maduras (un año). La concentración de N disminuyó hacia el final del proceso en todos los tratamientos, al igual que los valores de K y Cu (excepto para el T4). La concentración de P, Ca, Mg, Zn, Fe y Mn en las compostas maduras incrementó, debido a la disminución característica del volumen del material en descomposición (Oliveira *et al.*, 2017) y al aporte de macroelementos por parte del agua de riego (Ca, 11.48 meq L⁻¹; Mg, 7.71 meq L⁻¹). En el T4 se encontró la menor concentración de microorganismos y temperatura, por ende, un menor grado de descomposición y mineralización, manteniendo los minerales fijados en el material original.

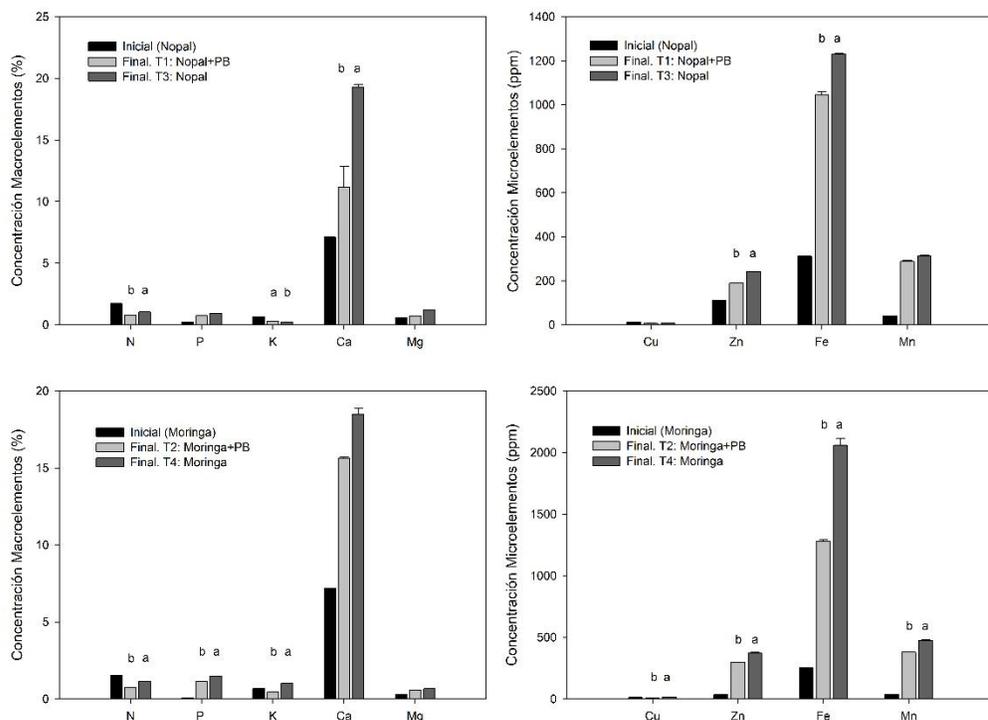


Figura 2. Concentración inicial y final (un año) de macro y microelementos en compostas estáticas, considerando nopal y moringa como sustratos principales y la inclusión de preparados biodinámicos (PB). Comparación estadística únicamente entre concentraciones finales. Barras sin letras son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Fuente: datos obtenidos de laboratorio (FAUANL), 2016-2017. Procesador: SigmaPlot 10.0.

En general, se observaron menores concentraciones de macro y microelementos en las pilas de composta con inclusión de PB y de nopal. Dicho comportamiento fue debido al incremento de la descomposición y la mineralización, promovida principalmente por la actividad bacteriana, lo cual a su vez incrementó la liberación de los elementos al medio, ya sea por lixiviación y volatilización. Tal aspecto se refleja como una desventaja de la aplicación de PB. Sin embargo, la correcta captación o retención de los elementos liberados, hacen del uso de los PB un método para incrementar la disponibilidad de los elementos contenidos en los materiales originales, hacia las plantas.

Las concentraciones de macro- y microelementos finales en las compostas se mantienen dentro del rango aceptable y reportado por diversos autores (Rasapoor *et al.*, 2009; Nasini *et al.*, 2016).

En el ACP se seleccionaron los valores del primer (61.77%) y segundo (27.01%) componente, los cuales explican aproximadamente 89% de la varianza total. El primer componente mostró correlación entre las variables bacterias, temperatura y relación C:N, asociadas al T1, además de la correlación entre N, P, K, Ca, Cu, Zn, Fe y Mn, asociados al T4. El segundo componente mostró correlación entre hongos/levaduras, MO, H, Mg y humedad, asociados al T3 (Figura 3). Los resultados del ACP concuerdan con lo presentado anteriormente, donde se correlacionan las variables macro y microelementos (excepto Mg), cuyas mayores concentraciones se asocian al T4. Además, se confirma la correlación de variables relacionadas a la actividad microbiana

(temperatura, C:N, MO y bacterias, principalmente), asociadas al T1. Dichos comportamientos reflejan el incremento del proceso de descomposición, fomentado por la aplicación de PB y el sustrato nopal.

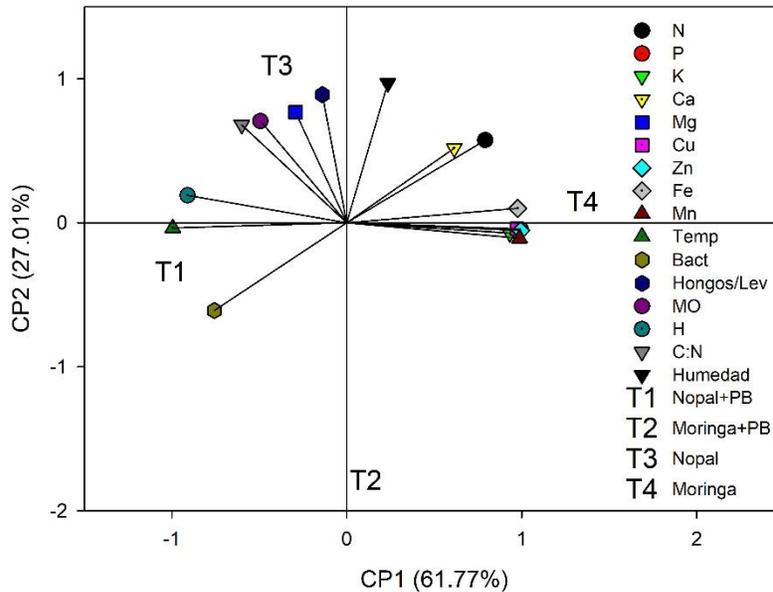


Figura 3. Análisis de componentes principales para las variables físicas, químicas y biológicas de compostas estáticas. PB= preparados biodinámicos; Temp= temperatura máxima; Bact= bacterias totales; hongos/Lev= hongos/levaduras totales; MO= materia orgánica; H= hidrógeno, C:N: relación carbono:nitrógeno. Fuente: datos obtenidos de campo y laboratorio (FAUANL), 2016-2017. Procesador: SigmaPlot 10.0.

Conclusiones

A través de la interacción significativa de los factores evaluados (PB x sustrato), se concluye que la combinación de los PB con nopal alcanzó la mayor temperatura, reducción de humedad y en general, mayor mineralización. La diferencia significativa encontrada en los factores principales muestra una mayor actividad bacteriana en tratamientos con PB y mayor MO, H y relación C:N para tratamientos con el sustrato nopal.

La disminución en la concentración de N y C e incremento de los elementos evaluados durante un año, refleja el comportamiento característico del proceso de compostaje. Al finalizar el período evaluado (un año), los valores de los parámetros se encuentran dentro del rango aceptable para un producto final maduro.

La aireación de las compostas por medio del método pasivo fomentó la actividad microbiana, medida a través de su incremento en población y las variables relacionadas a ésta (temperatura, mineralización, contenido de carbono y nitrógeno). El empleo de los sustratos principales evaluados promueve el aprovechamiento de recursos regionales y a la vez el reciclaje de los minerales y compuestos contenidos en la biomasa.

Literatura citada

- Carpenter, B. L.; Reganold, J. P. and Kennedy, A. C. 2000. Effects of biodynamic preparations on compost development. *Biol Agric Hortic.* 17(4):313-328. doi:10.1080/01448765.2000.9754852.
- Demeter International. 2004. Production standards. Demeter International e.V. <https://www.demeter.net/>. Verified: 18.02.2018.
- Escudero, A.; González, A. A.; del Hierro, O.; Pinto, M. and Gartzia, B. N. 2012. Nitrogen dynamics in soil amended with manures composted in dynamic and static systems. *J Environ Manage.* 108:66-72. doi:10.1016/j.jenvman.2012.04.046.
- Etheridge, R. D.; Pesti, G. M. and Foster, E. H. 1998. A comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on samples typical of an animal nutrition analytical laboratory. *Anim Feed Sci Tech.* 73(1):21-28. doi:10.1016/S0377-8401(98)00136-9.
- Guo, R.; Li, G.; Jiang, T.; Schuchardt, F.; Chen, T.; Zhao, Y. and Shen, Y. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technol.* 112:171-178. doi:10.1016/j.biortech.2012.02.099.
- Hubbe, M. A.; Nazhad, M. and Sánchez, C. 2010. Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: a review. *5(4):2808-2854.*
- Krey, T.; Vassilev, N.; Baum, C. and Eichler-Löbermann, B. 2013. Effects of long-term phosphorus application and plant-growth promoting rhizobacteria on maize phosphorus nutrition under field conditions. *Eur. J. Soil Biol.* 55:124-130. doi:10.1016/j.ejsobi.2012.12.007.
- Luo, W.; Chen, T. B.; Zheng, G. D.; Gao, D.; Zhang, Y. A. and Gao, W. 2008. Effect of moisture adjustments on vertical temperature distribution during forced-aeration static-pile composting of sewage sludge. *Resour Conserv Recy.* 52(4):635-642. doi:10.1016/j.resconrec.2007.08.004.
- Nair, A. and Delate, K. 2016. Composting, crop rotation, and cover crop practices in organic vegetable production. *In: organic farming for sustainable agriculture.* Nandwani, E. (Ed.). Springer. Nashville, Tennessee, USA. 231-257 pp.
- Nasini, L.; Luca, G.; Ricci, A.; Ortolani, F.; Caselli, A.; Massaccesi, L.; Regni, L.; Gigliotti, G. and Proietti, P. 2016. Gas emissions during olive mill waste composting under static pile conditions. *Int Biodeter Biodegr.* 107:70-76. doi:10.1016/j.ibiod.2015.11.001.
- Oliveira, B. R.; van Laarhoven, K.; Smit, M. P.; Rijnaarts, H. H. and Grotenhuis, T. 2017. Impact of compost and manure on the ripening of dredged sediments. *J Soil Sediment.* 17(2):567-577. doi:10.1007/s11368-016-1571-6.
- Rasapoor, M.; Nasrabadi, T.; Kamali, M. and Hoveidi, H. 2009. The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. *Waste Manage.* 29(2):570-573. doi:10.1016/j.wasman.2008.04.012.
- Reeve, J. R.; Carpenter, B. L.; Reganold, J. P.; York, A. L. and Brinton, W. F. 2010. Influence of biodynamic preparations on compost development and resultant compost extracts on wheat seedling growth. *Bioresource Technol.* 101(14):5658-5666. doi:10.1016/j.biortech.2010.01.144.
- Singh, D. P.; Singh, H. B. and Prabha, R. 2016. Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity: Vol. 1 research perspectives. Springer. New Delhi, India. doi:10.1007/978-81-322-2647-5.

- Sradnick, A.; Murugan, R.; Oltmanns, M.; Raupp, J. and Joergensen, R. G. 2013. Changes in functional diversity of the soil microbial community in a heterogeneous sandy soil after long-term fertilization with cattle manure and mineral fertilizer. *Appl. Soil. Ecol.* 63:23-28. doi:10.1016/j.apsoil.2012.09.011.
- Steiner, R. 1988. Curso sobre agricultura biológico-dinámica: principios basados en la ciencia espiritual para el desarrollo de la agricultura, cursos para agricultores en Koberwitz 1924. Rudolf Steiner. Madrid, España. 282 p.
- Storino, F.; Arizmendiarieta, J. S.; Irigoyen, I.; Muro, J. and Aparicio, T. P. M. 2016. Meat waste as feedstock for home composting: Effects on the process and quality of compost. *Waste Manage.* 56:53-62. doi:10.1016/j.wasman.2016.07.004.
- Tang, J. C.; Maie, N.; Tada, Y. and Katayama, A. 2006. Characterization of the maturing process of cattle manure compost. *Process Biochem.* 41(2):380-389. doi:10.1016/j.procbio.2005.06.022.
- Vos, B. de; Lettens, S.; Muys, B. and Deckers, J. A. 2007. Walkley-black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use Manage.* 23(3):221-229. doi:10.1111/j.1475-2743.2007.00084.x.
- Zaller, J. G. and Köpke, U. 2004. Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendment on yields, soil chemical, biochemical and biological properties in a long-term field experiment. *Biol Fert Soils.* 40(4):222-229. doi:10.1007/s00374-004-0772-0.