

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS PARA COMPOSTAR CAMA DE POLLO

HERNÁN PATERLINI¹; MARÍA VIRGINIA GONZÁLEZ^{1*} & LILIANA PICONE¹

Recibido: 23-04-17

Recibido con revisiones: 16-08-17

Aceptado: 17-08-17

RESUMEN

El proceso de compostaje ha generado un gran interés como una buena alternativa para manejar el exceso de estiércol producido en la industria avícola. El objetivo de este estudio fue evaluar dos técnicas para compostar la cama de pollo, comparando las pilas volteadas y regadas (PV) con aquellas estáticas y sin riego (PE), con el fin de obtener un producto de alto valor nutritivo y estabilizado que pueda ser aplicado en el suelo. En las PV se realizaron 9 volteos y 8 riegos mientras que las PE fueron sometidas a un solo volteo. Las pilas, 3 de cada tipo, estuvieron expuestas al aire libre y sin cobertura. Durante el período de compostaje (104 días) se realizaron 43 mediciones de temperatura en superficie, cada 2 o 3 días, en 4 puntos fijos: 2 a mitad de altura en dos lados y 2 en la parte superior. Al final del proceso se determinó el contenido de carbono total (CT), nitrógeno total (NT), amonio (N-NH_4^+) y nitrato (N-NO_3^-). En las PV se registraron incrementos en la temperatura después de cada volteo, alcanzando valores promedio máximos entre 58 y 62 °C en la parte superior, seguidos por descensos hasta el próximo volteo. En las PE, también se observaron picos de temperatura pero de menor magnitud, asociados al único volteo (42 °C) o intensa lluvia (52 °C). Después de 60 y 80 días de compostaje en las PV y PE, respectivamente, la temperatura se estabilizó y descendió a valores cercanos a temperatura ambiente, entre 30 y 33 °C. Los índices químicos de evaluación de madurez como las relaciones C/N y $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ fueron similar entre ambas técnicas de compostaje (9,56 y 0,11 en las PV, y 11,33 y 0,12 en las PE de C/N y $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$, respectivamente) Ambas técnicas de compostaje de la cama de pollo generaron un producto maduro; no obstante con respecto al control de los organismos patógenos las PE no lograron la temperatura máxima aconsejada para inactivar los mismos.

Palabras clave. Residuos avícolas, madurez del compost, tecnologías de compostaje, temperatura en pilas.

COMPARISON OF COMPOSTING BROILER LITTER TECHNIQUES

ABSTRACT

The composting process has been gaining great attention as a good alternative technique to handle the manure excess generated by the poultry industry.

The objective of this study was to evaluate two broiler litter composting techniques comparing turned and watered piles (PV) with those statics (PE), in order to get a valuable and stabilized product that can be applied to the soil. In the PV, 9 turnings and 8 irrigations were performed while the PE were subject to a single turning. Piles, 3 of each type, were exposed outdoors and had no cover. During composting period (101 days), 43 surface temperature measurements were performed, every 2 or 3 days, at 4 fixed points: 2 at half height on the two sides and 2 on top. At the end of the process, total carbon (TC), total nitrogen (NT), ammonium (N-NH_4^+) and nitrate (N-NO_3^-) content were determined. In PV, temperature increases were recorded after each turning operation, reaching values that averaged between 58 and 62 °C on the top of piles, followed by decreases until the next turning operation. In PE, several temperature peaks were also observed but smaller, which were associated to the unique turning (42 °C) or intense rain (52 °C). After 60 and 80 days of composting in PV and PE; respectively, temperature stabilized and dropped to values close to room temperature, between 30 and 33 °C. Chemical indices of maturity evaluation such as C/N and $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ ratio were similar between both composting techniques (9.56 and 0.11 for PV, and 11.33 and 0.12 for PE in C/N and $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$, respectively). Both techniques generated a mature product; however regarding the control of pathogenic organisms PE did not achieve the maximum temperature advised to inactivate them.

Key words. Poultry manure, compost maturity, composting technologies, pile temperature.

1. FCA-UNMdP. Balcarce.

* Autor de contacto: lastre19@yahoo.es

INTRODUCCIÓN

En la Argentina se generan por año, aproximadamente 3,6 millones de toneladas de excretas de pollo, a las que se suma el material usado para formar la cama el cual es 1,7 millones de toneladas (Ministerio de Agroindustria, 2015). En los últimos 15 años, la industria avícola argentina triplicó su producción (CEPA, 2017). De modo que, el sector avícola es un sector productivo con gran crecimiento y desarrollo que requiere la implementación de las mejores técnicas de tratamiento de los residuos para reducir los riesgos de impacto ambiental y sanitario (Leonardi, 2013).

Cuando no son manejados adecuadamente, los desechos generados en las granjas avícolas pueden provocar graves problemas ambientales como liberación de microorganismos patógenos al ambiente (Bolan *et al.*, 2010), lixiviación de nitrato (NO_3^-) hacia napas subterráneas (Bitzer & Sims, 1988) lo que puede afectar la calidad de agua para consumo, y escurrimiento de fósforo hacia cursos de agua acelerando el proceso de eutrofización (Schroeder *et al.*, 2004). Una buena alternativa para el tratamiento de estos residuos es el compostaje, proceso aeróbico natural y ambientalmente aceptado, que transforma los residuos orgánicos frescos en un producto biológicamente estable, parecido al humus (Rynk *et al.*, 1992). El compostaje es un proceso beneficioso para el medio ambiente ya que los nutrientes son convertidos a formas más estables siendo menos propensos a lixiviarse o moverse por escurrimiento; a su vez, reduce el volumen y contenido de agua del material (Larney *et al.*, 2000) mejorando su manipulación y transporte. Además, si durante el proceso se alcanzan las temperaturas adecuadas, se destruyen la mayoría de los parásitos (Van Herk *et al.*, 2004), microorganismos patógenos (Larney *et al.*, 2003) y semillas de malezas (Larney & Blackshaw, 2003), y se reduce la emisión de olores mediante la disminución de los niveles de hidrocarburos biodegradables (Barrington *et al.*, 2002). No obstante estos beneficios, el compostaje genera pérdidas de nitrógeno (N) como amoníaco mediante volatilización (Eghball *et al.*, 1997) u óxido nitroso por desnitrificación (Hao *et al.*, 2004) el cual es un gas efecto invernadero al igual que el dióxido de carbono (CO_2) que se libera principalmente por oxidación de los materiales carbonados (Eghball *et al.*, 1997).

Existen varias técnicas para producir un compost de calidad y sin efectos adversos para el ambiente. Entre ellas están: 1) pilas estáticas que se realizan apilando residuos que se dejan sin mover, por lo que su aireación se efectúa pasivamente, 2) pilas estáticas con aireación pasiva (tubos

perforados) o forzada (inyección o succión de aire), en las cuales los materiales son aireados frecuentemente de manera de garantizar la concentración adecuada de oxígeno, 3) hileras con volteo, en las cuales el material es dispuesto en hileras y volteado durante el proceso de compostaje, ya sea de manera manual o mecánica, y por último 4) reactores donde el proceso se desarrolla en un contenedor cerrado con aireación forzada y volteos mecánicos (Rynk *et al.*, 1992).

El compostaje es un proceso microbiológico que depende en gran medida de la temperatura alcanzada en el interior del material. Ésta determina la velocidad del proceso de compostaje y define la sucesión de la comunidad microbiana que interviene en la mineralización de los compuestos orgánicos (Li & Zhang, 2000). En términos biológicos, rangos de temperatura mayores a 55 °C son necesarios para maximizar el saneamiento, de 45 a 55 °C para maximizar la velocidad de biodegradación, y de 35 a 40 °C para potenciar la diversidad microbiana (Stentiford, 1996). El aumento y la disminución de la temperatura han sido relacionados con el aumento y la caída de la actividad de los microorganismos. En general, los microorganismos heterótrofos aerobios totales, la tasa de consumo de oxígeno y el contenido de ATP aumentan marcadamente durante la etapa termófila del compostaje, pero luego disminuyen lentamente y se mantienen en niveles inferiores al final del proceso (Tiquia *et al.*, 1996). Se ha comprobado que la temperatura correlaciona con muchas de las variables del compost como el contenido de amonio (NH_4^+) y carbono total (CT), la relación C/N, el pH, la producción de óxido nitroso, las cenizas y la capacidad de intercambio catiónico (Tiquia *et al.*, 1998). Por lo tanto, la temperatura puede ser una indicadora de cómo se está llevando a cabo el proceso de compostaje. Cuando el proceso se cumple de manera adecuada, se considera que el compost obtenido es un producto seguro que puede ser aplicado al suelo sin efectos adversos para la agricultura o el ambiente, y es efectivo para ser utilizado como enmienda o fertilizante de liberación lenta.

Por lo tanto, en base a lo mencionado, el principal objetivo de este estudio fue evaluar dos técnicas para el compostaje de cama de pollo, con el fin de obtener un producto de alto valor nutritivo y estabilizado que se pueda aplicar en el suelo. Para ello, se compararon pilas a las cuales se le realizaron volteos y riegos con pilas estáticas, sin aireación (ni volteos), y se evaluó la dinámica de la tempe-

ratura a lo largo del proceso de compostaje como así también algunos índices de madurez al finalizar el mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamientos de compostaje

El estudio se llevó a cabo, entre los meses de octubre 2012 y enero 2013, en un lote de la Unidad Integrada Balcarce, Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMDP (37°45'13"S, 58°17'53"W; 136 m snm), localizada en la provincia de Buenos Aires (Argentina). En este ensayo se utilizó cama de pollo parrillero, proveniente de un establecimiento avícola ubicado en la zona. Para el compostaje de la cama de pollo se usaron dos sistemas: las pilas con volteo (PV) y las pilas estáticas, sin aireación (PE). Con la cama de pollo depositada sobre la superficie del suelo, sin vegetación y al aire libre, se construyeron 6 pilas de sección triangular, cuyas dimensiones fueron 2,20 m de largo, 1,80 m de ancho y 0,75 m de alto. A las tres pilas, denominadas PV, se les realizaron volteos durante el período de compostaje (104 días, 9 volteos) y 8 riegos en los primeros 61 días del proceso. A posteriori, se suspendieron los riegos debido a que se registraron precipitaciones intensas y más frecuentes (Fig 1). A las tres pilas, denominadas PE, se les realizó un solo volteo a los 52 días de iniciado el proceso, y nunca fueron regadas.

El estado de humedad del compost se determinó cualitativamente, siguiendo el método del puño (Rynk *et al.*, 1992). Este procedimiento consiste en tomar un puñado de material,

apretarlo con la mano y ver cómo se comporta. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua cuando el contenido de humedad es ideal, si está muy seco no se mantiene unido sino que se desintegra, y si está muy húmedo al comprimirlo se libera agua. El contenido de humedad se determinó gravimétricamente cuando el material estaba seco al tacto, y especialmente el día que se iba a efectuar el volteo. Cuando era necesario, se llevó el material a un contenido de agua entre 40 y 65%, rango citado por Rynk *et al.* (1992), realizando el riego en forma manual.

Las mediciones de temperatura se realizaron en los primeros 10 cm de las pilas usando un termómetro pinche que se colocó en 4 puntos fijos: 2 a mitad de altura en dos lados y 2 en la parte superior de la pila. Las mediciones de temperatura (43 en total en cada pila) se realizaron siempre en la misma franja horaria durante la mañana, comenzando el 15 octubre, y luego cada 2 o 3 días. Además, se llevaron registros de las características macroscópicas de las pilas examinando la evolución de color, aroma y grado de degradación del material.

Análisis químico

Al finalizar el proceso de compostaje, se tomaron muestras de las pilas. Para ello se recogieron muestras de compost de 12 puntos, al azar y bien dispersos, que fueron homogeneizadas para integrar una única muestra compuesta (Laverge, 2002) de cada una de las pilas. Posteriormente, las muestras se analizaron para determinar el contenido de humedad por gravimetría, secándolas a 105 °C por al menos 24 horas; N total (NT) mediante digestión y destilación por el método

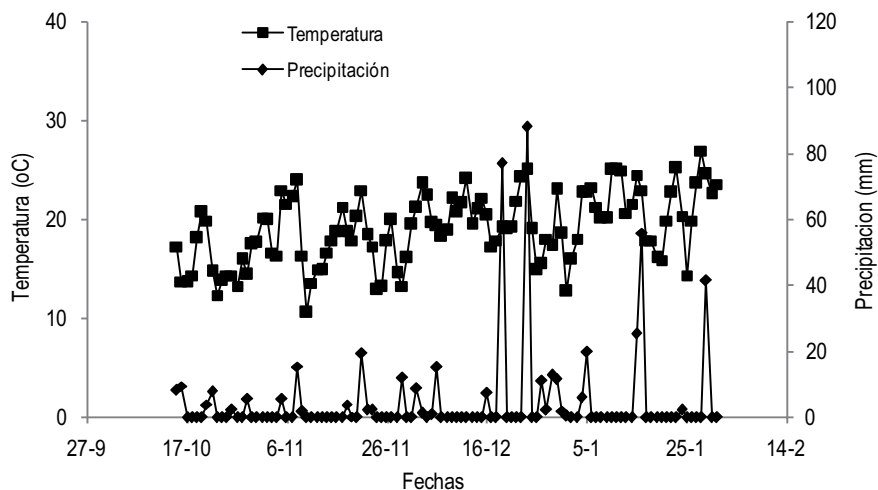


Figura 1. Precipitaciones (mm) y temperaturas media diarias del aire (°C) durante el proceso de compostaje de la cama de pollo (Datos obtenidos de la Estación Meteorológica, INTA-Balcarce).

Figure 1. Precipitations (mm) and average daily air temperatures (°C) during the composting period of broiler litter (Data obtained from Weather Station, INTA-Balcarce).

micro-Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982); y CT por combustión húmeda con dicromato de potasio y ácido sulfúrico (Walkley & Black, 1934). También, se cuantificó la concentración de N inorgánico mediante la extracción con KCl 2M, y determinación de NO_3^- usando un electrodo específico y NH_4^+ por destilación mediante el método micro-Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982).

Análisis estadístico

Se analizaron los resultados de las propiedades físicas y químicas en ambos tratamientos mediante la realización de un test *t* de Student para dos muestras independientes ($p < 0,05$). El análisis estadístico se efectuó empleando el software libre R (versión 3.0.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas durante el compostaje

La temperatura media diaria del aire durante el período de compostaje (octubre 2012 - enero 2013) promedió 18,9 °C y fluctuó entre 10,6 y 25,3 °C (Fig 1). La precipitación total fue de 449 mm, registrándose lluvias de poca intensidad, entre 2 y 9 mm, hasta mediados de diciembre. A partir de este momento los episodios de lluvias fueron más intensos, llegando hasta 77 y 88 mm el 19 y 24 de diciembre, respectivamente (Fig 1). En comparación con los datos históricos correspondientes al período 1970-2008, los

meses de octubre y noviembre fueron secos, con lluvias inferiores a la media, en 48 y 26%, respectivamente. Contrariamente, en diciembre y enero las lluvias superaron a los valores históricos en 130 y 40%, respectivamente.

El contenido de humedad promedio del compost al final del proceso fue 47% en las PV y 42% en las PE, no registrándose diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ambos tipos de pilas (Tabla 1). Esta similitud en los contenidos de humedad puede ser resultado de la retención de las precipitaciones y de una menor pérdida de agua por evaporación debido a la falta de volteos en las PE mientras que en las PV, que podrían haber perdido mayor cantidad de agua mediante evaporación por efecto de los volteos, el contenido de humedad no disminuyó debido a los riegos periódicos. Entre los factores que contribuyen a la pérdida de humedad se incluyen la evaporación, el lavado y la aireación (Kelleher *et al.*, 2002). Rynk *et al.* (1992) reportaron que el contenido de humedad debería ser mantenido entre 40 y 65% durante el proceso de compostaje.

Descripción macroscópica de la cama de pollo durante el compostaje

Al observar la cama de pollo extraída de los criaderos se pudieron identificar claramente sus componentes principales, los cuales fueron virutas de madera, cáscaras de girasol y excrementos de pollos. También, se encontraron

Tabla 1. Contenido de humedad, carbono total (CT), nitrógeno total (NT) y nitrógeno inorgánico, y relaciones C/N y $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ al final del compostaje de la cama de pollo en las pilas volteadas y regadas (PV) y en las pilas estáticas, sin riego (PE).

Table 1. Moisture, total carbon (CT), total nitrogen (NT) and inorganic nitrogen content, and C/N and $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ ratios at the end of broiler litter composting in turned and irrigated piles (PV) and static piles, without irrigation (PE).

Propiedad	PV	PE
Humedad (%)	47,47 a	42,43 a
CT (g kg^{-1})	270,70 a	294,70 a
NT (g kg^{-1})	28,30 a	26,00 a
N-NO_3^- (mg kg^{-1})	3092,00 a	3543,00 a
N-NH_4^+ (mg kg^{-1})	340,00 a	410,00 a
C/N	9,56 a	11,33 a
$\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$	0,11 a	0,12 a

Letras diferentes en cada fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$) en las propiedades entre PV y PE.

Different letters within each row indicate significant differences ($p < 0.05$) in properties between PV and PE.

en el material trozos pequeños de madera, plumas, cadáveres de pollos, restos de plásticos e insectos. Dentro de estos últimos, predominaba *Alphitobius dia perinus*, denominado vulgarmente como "escarabajo del estiércol o de la cama", con una alta densidad de adultos como de larvas. Estos insectos estuvieron presentes durante gran parte del proceso, desapareciendo hacia fines del mismo. Si bien en gran medida el material se encontraba disgregado; se podían ver grandes compactaciones formadas por heces secas que cementaban el resto de los componentes. El olor inicial era muy intenso, pudiendo ser descripto como una mezcla entre amoníaco, materia fecal y osamenta.

A medida que transcurría el tiempo, el material de las distintas pilas fue evolucionando de manera diferente. En las PV, durante los primeros volteos se percibía claramente un fuerte olor amoniacal, que se fue suavizando gradualmente hasta llegar a un aroma muy suave y agradable, similar al de la tierra. El color fue pasando de un marrón claro heterogéneo a un marrón oscuro homogéneo, posiblemente debido al proceso de humificación que iba ocurriendo, y los agregados con apariencia cementada fueron reduciendo su tamaño hasta desaparecer por completo. También, se observó cierto grado de degradación en la viruta, con disminución del tamaño de partícula y menor consistencia. Se identificaron hifas de diversos colores (desde blancas hasta gris azulado) cuya densidad incrementaba progresivamente durante los primeros 40 días, momento a partir del cual empezó a disminuir hasta dejar de visualizarse. En las PE, el olor al finalizar el proceso fue similar al original aunque considerablemente menos intenso mientras que el color fue más claro en comparación con las PV. Todavía se observaban compactaciones aunque de tamaño menor al inicial. El grado de degradación de las virutas y cáscaras de semillas era claramente inferior que en las PV.

Estas características físicas, color, olor y grado de compactación del material, dan una idea general del estado de degradación alcanzado, pero no aportan suficiente información con respecto al grado de maduración del compost. La mayoría de las definiciones de madurez de un compost se refieren a la finalización efectiva del proceso, y la obtención de un producto sin sustancias fitotóxicas. Es por eso que, generalmente se utilizan algunos parámetros químicos (concentración de NH_4^+ , relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) o mediciones de indicadores relacionados con la germinación y sobrevivencia de plantas para establecer fehacientemente la calidad del producto (Bernal *et al.*, 2009; Leconte *et al.*, 2009).

Evolución de la temperatura en las pilas durante el compostaje

A partir del análisis de los valores de temperatura a 10 cm de profundidad de las pilas, se observó el efecto de la zona de medición. En las PV y en la mayoría de las fechas, se registraron mayores temperaturas en la parte superior en comparación con la lateral (Fig 2). Con respecto a las PE, el efecto de localización fue más irregular ya que en algunas fechas la temperatura determinada en la parte superior fue similar a aquella observada en la zona lateral mientras que en otros momentos fue mayor (Fig 3). Posiblemente los puntos de medición ubicados lateralmente estuvieron más sujetos a la acción del viento, registrando por ello las menores temperaturas mientras que aquellos localizados en la parte superior de la pila, estuvieron sometidos a mayores temperaturas como resultado de su exposición directa a la radiación solar. En un ensayo conducido en pilas con volteos y riegos a cielo abierto, en el cual se monitoreó la temperatura en la zona superior, lateral y central de las pilas, no se observaron diferencias significativas en la mayor parte de proceso entre las zonas de medición (López Romero *et al.*, 2015). Este resultado lo adjudicaron a la cantidad y volumen del material compostado, el cual se apiló con una altura no mayor a 50 cm, lo que provoca facilidad de manejo y menor compactación del material. Sin embargo, Bernigaud & Gange (2016) notaron que los sensores de temperatura colocados en la superficie, a 10 cm de profundidad, registraron oscilaciones diarias de temperatura a diferencia de aquellos colocados más profundos.

Durante el proceso de compostaje las PV mostraron un aumento de la temperatura inmediatamente después de cada volteo, seguido por un descenso de la misma hasta la próxima operación de volteo en que volvió a aumentar (Fig 2). Brodie *et al.* (2000) investigando el compostaje de la cama de pollo en pilas con volteos cada 10 días, lograron temperaturas altas las cuales decaían después de cada volteo por un periodo corto de tiempo. Este patrón de variación de la temperatura como consecuencia de los volteos ha sido reportado en varias experiencias en sistemas con volteos, utilizando estiércol de gallina con aserrín (Leconte *et al.*, 2009), de vacuno (Larney & Olson, 2006), y de pollo fresco con aserrín (Ogunwande *et al.*, 2008). Mediante el volteo se reactiva el proceso debido a la incorporación al interior de la pila del material expuesto en la superficie de la misma, proporcionando un sustrato degradable para la biomasa microbiana (García Gómez *et al.*, 2003). Lo más impor-

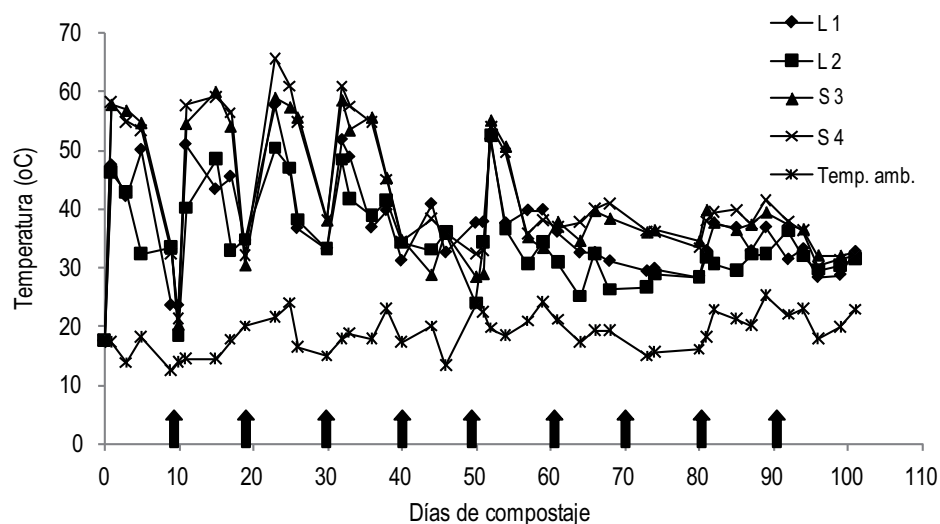


Figura 2. Evolución de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en los puntos de medición ubicados lateralmente (L1 y L2) y en la parte superior (S3 y S4) de las pilas con volteos y regadas (PV) durante el período de compostaje de la cama de pollo. Flechas indican los volteos.

Figure 2. Temperature evolution ($^{\circ}\text{C}$) at measurement points located laterally (L1 and L2) and at the top (S3 and S4) of turned and watered piles (PV) during broiler litter composting period. Arrows indicate turnings.

tante del volteo es la homogenización del material, la redistribución de los microorganismos, los nutrientes y la humedad, y la reducción del tamaño de las partículas. En las PE, a los 52 días de iniciado el proceso se realizó el único volteo generando un pico de 42°C , indicando la importancia de la aireación (Fig 3). Cuando no hay suficiente aireación y el oxígeno se agota, la actividad microbiana decrece y con ello la temperatura. Las temperaturas altas y bajas han sido correlacionadas con el incremento y el descenso de la actividad de la biomasa microbiana, respectivamente (Tiquia *et al.*, 1996). En estas pilas, a los 68 días del compostaje luego de una lluvia intensa de 77 mm, se registró otro pico de temperatura pero de mayor magnitud, 52°C (Fig 3). En esta ocasión el material estaba seco ya que hubo un período prolongado sin lluvias (Fig 1), y las precipitaciones restablecieron la humedad lo cual estimuló la actividad microbiana con la consecuente liberación de energía y aumento de temperatura.

La dinámica de la temperatura mostró el comportamiento característico del compostaje, la cual aumentó al comienzo del mismo para estabilizarse y descender hasta niveles cercanos a la temperatura ambiente al final del proceso (Bernal *et al.*, 2009). Como se observa en la Figura 2, en las PV se registraron las temperaturas máximas principalmente durante las primeras 5 semanas, lográndose valores entre 58 y 62°C en los puntos de medición loca-

lizados en la parte superior lo que indica una intensa actividad microbiana como resultado de la descomposición de compuestos orgánicos lábiles. En los puntos ubicados lateralmente, también se observaron picos que coincidieron con aquellos detectados en la parte superior; sin embargo sus temperaturas fueron inferiores, entre 49 y 54°C . Con respecto a las PE, la temperatura ascendió a 57°C al segundo día de ser instaladas, pero descendió en los días siguientes. A los 15 días del proceso, la temperatura volvió a aumentar alcanzando valores entre 39 y 43°C , y se mantuvo constante durante aproximadamente 10 días. Luego del volteo y una intensa lluvia se observaron otros picos de temperatura (Fig 3). Al final del proceso, cuando hay menos cantidad de materia orgánica fácilmente degradable, la temperatura comenzó a estabilizarse, después de 80 días de compostaje en las PE y 60 días en las PV. A partir de este momento, la temperatura descendió y varió entre 30 y 33°C siendo próxima a la temperatura ambiente de 23°C . El tiempo para alcanzar la estabilidad es variable y depende de varios factores como el método de compostaje (Díaz *et al.*, 2002), tamaño de las pilas (Ogunwande *et al.*, 2008) y tipo de material carbonado agregado como acondicionador (Leconte *et al.*, 2009), entre otros. Tiquia *et al.* (2002) en coincidencia con Brodie *et al.* (2000) demostraron que a las pilas estáticas les tomó más tiempo alcanzar la temperatura ambiente que a las pilas

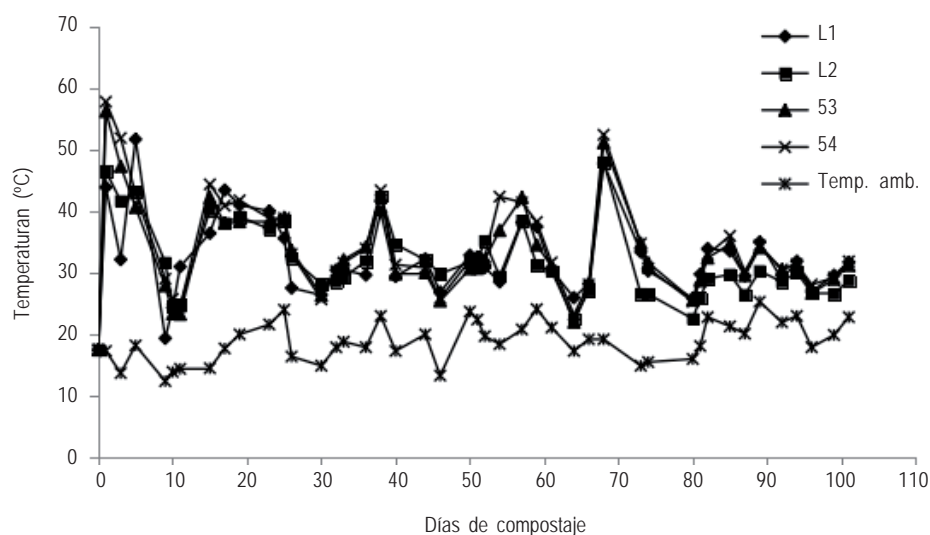


Figura 3. Evolución de la temperatura (°C) en los puntos de medición ubicados lateralmente (L1 y L2) y en la parte superior (S3 y S4) de las pilas estáticas, sin riego (PE) durante el periodo de compostaje de la cama de pollo. La flecha indica el único volteo a los 52 días.

Figure 3. Temperature evolution (°C) at measurement points located laterally (L1 and L2) and at the top (S3 and S4) of static piles, without irrigation (PE) during broiler litter composting period. Arrow indicates the unique turning after 52 days.

con volteos, indicando que las primeras necesitaban un período mayor para completar el proceso de compostaje.

Alcanzar temperaturas elevadas es de vital importancia ya que, además de indicar que están ocurriendo las reacciones típicas del compostaje, se logra eliminar una gran parte de los organismos patógenos. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, 1999) establece para pilas con volteos una temperatura superior a 55 °C la cual debe mantenerse por lo menos, durante 15 días con un mínimo de 5 volteos durante el período de altas temperaturas. Este período extendido es para asegurar que el material se mezcle con las altas temperaturas por al menos 3 días. Dicha agencia, también acordó que las pilas estáticas deben mantener una temperatura mínima de 55 °C por un período de 3 días consecutivos. En la Argentina se dispone de una Resolución de la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente sobre uso agrícola de biosólidos, pero aún existe un vacío legal (Laos *et al.*, 2012). En esta experiencia, las PV superaron la temperatura de 55 °C en la superficie y parte superior en 5 períodos de 3 a 4 días consecutivos, excediendo en total los 15 días, lo cual aseguró la inactivación de los organismos patógenos (Fig 2). En la zona lateral, las temperaturas superficiales fueron cercanas a 55 °C, por lo tanto si bien se lograron temperaturas termófilas (mayores a 45 °C) no

fueron suficientes para destruir los patógenos. Bernigaud & Gange (2016) trabajando en pilas de cama de pollo, registraron temperaturas superficiales (10 cm) en la parte superior y lateral equivalentes a las de este ensayo mientras que en profundidad (30-60 cm) fueron mayores (superiores a 60 °C), permitiendo la reducción de enterobacterias y anaerobios sulfito reductores. Similarmente, Tiquia & Tam (2002) y Larney & Olson (2006) observaron que los picos de temperatura que ocurrieron en el medio o fondo de las pilas eran de mayor magnitud que aquellos registrados en la parte superior y en superficie. Por lo tanto, los volteos frecuentes ayudaron a homogeneizar el material, moviendo la capa superficial más fría del compost hacia la zona central más cálida, de modo que todo el material estaría sometido a temperaturas mayores. Con relación a las PE, en una sola fecha y en la parte superior se superó la temperatura de 55 °C (Fig 3). Estas pilas no alcanzaron temperaturas mayores posiblemente a que la aireación fue insuficiente ya que no fueron volteadas. Larney & Olson (2006), tampoco lograron superar este límite de temperatura en pilas sin volteos, pero como consecuencia del alto contenido de humedad (0,71 kg kg⁻¹) del estiércol inicial que redujo el movimiento del aire. Por lo tanto, en este tipo de pilas no habría ocurrido una completa mortandad de patógenos, siendo preocupante ya que uno

de los principales objetivos del compostaje es reducir o eliminar los patógenos para que de este modo, estos microorganismos no se diseminen al aplicar el compost al suelo. Sin embargo, Larney *et al.* (2003) informaron que más del 99,9% de las bacterias coliformes totales y *Escherichia coli* fueron eliminadas en los primeros 7 días de compostaje en sistema de aireación activa, con volteo, cuando las temperaturas medias variaron entre 33,5 °C y la 41,5 °C, siendo éstas inferiores al valor de referencia de 55 °C. No obstante, sería recomendable para asegurar la inocuidad microbiana del compost realizar un análisis de patógenos al finalizar el proceso.

Cuando finalizó el período de compostaje, las dimensiones de las PV fueron 1,83 m de largo, 1,30 m de ancho y 0,53 de alto mientras que las de las PE fueron 1,98 m de largo, 1,43 de ancho y 0,58 de alto. Si se comparan estas dimensiones con las iniciales de 2,20 m de largo, 1,80 m de ancho y 0,75 m de alto, se nota una disminución la cual es más marcada en las PV. Este menor volumen total en las PV es consecuencia de los volteos frecuentes que promovieron un mayor grado de degradación de los compuestos orgánicos, con tasas altas de respiración que generan una pérdida de carbono como CO₂, Brodie *et al.* (2000) informaron una reducción del volumen de 33% y 41% en las pilas estáticas y con volteos, respectivamente, empleadas para compostar el estiércol de pollo con astillas de madera y aserrín. A pesar de la pérdida de volumen en las PV, estas pilas no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el contenido de CT y NT en comparación con las PE (Tabla 1). Confirmando estos resultados, Tiquia *et al.* (2002) observaron que las pilas sin airear tienen menor pérdida de masa y carbono que las pilas con volteos, sugiriendo que la tasa de descomposición en estas últimas fue más rápida; sin embargo el producto final de ambos sistemas de compostaje fue similar en términos de materia orgánica, contenido de nutrientes y relación C:N.

Desde el punto de vista de la calidad del producto final es requisito que tenga un alto grado de madurez. Entre los métodos químicos que se dispone para evaluar la madurez del compost se menciona la relación C/N medida en la fase sólida (Bernal *et al.*, 2009). Materiales con una relación C/N menor a 20 son considerados estabilizados y maduros (Sánchez Monedero *et al.*, 2001; Larney & Hao, 2007). No obstante, Bernal *et al.* (1998) mencionaron una relación C/N menor a 12 como índice de madurez. Como muestra la Tabla 1, la relación C/N del producto final fue 9,56 en las PV y 11,3 en las PE las cuales están dentro de los límites

mencionados anteriormente. La madurez del compost también, puede ser definida en términos del proceso de nitrificación. Cuando la concentración de NH₄⁺ disminuye y la de NO₃⁻ aumenta se considera que el compost está listo para ser utilizado como enmienda (Finstein & Miller, 1985). Bernal *et al.* (1998) sugirieron una relación N-NH₄⁺/N-NO₃⁻ menor a 0,16 como un índice de madurez del compost, independientemente del origen del material. Sin embargo, el Consejo de Calidad del Compost de California (CCQC, 2001) estableció una relación menor a 0,5 mientras que Larney & Hao (2007) propusieron valores menores a 1 como indicadores de un material muy estable o maduro. En ambas pilas, la concentración de NH₄⁺ disminuyó mientras que la de NO₃⁻ aumentó al final del compostaje (Tabla 1) ya que durante la fase termófila la nitrificación está inhibida por la acumulación de NH₃ y las altas temperaturas, mayores a 45 °C (Sanchez Monedero *et al.*, 2001). Un alto nivel de NH₄⁺ indica un material inestable; se estableció un máximo de 0,4 g kg⁻¹ para el compost maduro de residuos urbanos (Zucconi & Bertoldi, 1987). En el presente estudio, los valores de la relación N-NH₄⁺/N-NO₃⁻ fueron 0,11 en las PV y 0,12 los cuales están por debajo del más riguroso índice de madurez. Considerando las dos relaciones, se deduce que el compost de la cama de pollo es un producto maduro en ambos tipos de pilas; no obstante sería aconsejable complementar con alguna prueba para evaluar la fitotoxicidad del mismo.

CONCLUSIONES

Este estudio proporciona datos comparativos de temperaturas superficiales e índices de madurez durante el compostaje de la cama de pollo usando las PV y PE. Las PV con riegos periódicos tuvieron una adecuada oxigenación y humedad que permitieron desarrollar una biomasa microbiana capaz de generar temperaturas termófilas mayores a 55 °C, excediendo los 15 días consecutivos, en los puntos localizados en la parte superior de las pilas. Sin embargo, en las PE no se alcanzó la temperatura crítica recomendada de 55 °C durante al menos 3 días, no pudiéndose garantizar la completa destrucción de los patógenos. Al finalizar el compostaje la temperatura disminuyó a niveles cercanos a la temperatura ambiente, después de haber transcurrido 60 días en las PV y 80 días en las PE, indicando que en las primeras el proceso fue más rápido. Es recomendable que la temperatura sea registrada en varios puntos y a distintas profundidades en el interior del material a compostar.

Las PV mostraron una pérdida mayor de masa y volumen que las PE aunque no se observaron diferencias significativas en el contenido de CT y NT, entre ambas tecnologías de compostaje. En términos de índices de maduración, las relaciones C/N y $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ fueron similares entre los dos tipos de pilas e inferiores a los valores límites recomendados internacionalmente, lográndose por lo tanto un compost estable y maduro. Sin embargo, para reducir el nivel de riesgo humano y contaminación ambiental, es necesario evaluar en futuras experiencias la madurez del compost en relación a la presencia de sustancias potencialmente tóxicas y organismos patógenos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado en el marco del Proyecto de Investigación denominado Optimización de estrategias sustentables para el manejo de producciones hortícolas de la provincia de Bs.As. (INTA-AUDEAS).

BIBLIOGRAFÍA

- Barrington, S; D Choiniere; M Trigui & W Knight. 2002. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresour. Technol.* 83: 189-194.
- Bernal, MP; C Paredes; MA Sánchez Monedero & J Cegarra. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresour. Technol.* 63: 91-99.
- Bernal, MP; JA Albuquerque & R Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.* 100: 5444-5453.
- Bernigaud, II & JM Gange. 2016. Tratamiento de la cama de pollo mediante apilado: Evaluación en granja comercial. Informe Técnico N°2. Estación Experimental INTA, Concepción del Uruguay. Publicado en sitio web del INTA Concepción del Uruguay. Fecha del último acceso 9 julio 2017.
- Bitzer, CC & JT Sims. 1988. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. *J. Environ. Qual.* 17: 47-54.
- Bolan, NS; AA Szogi; T Chuasavathi; B Seshadri; MJ Rothrock Jr. & P Panneerselvam. 2010. Uses and management of poultry litter. *World's poultr. Sci. J.*, 66: 673-698.
- Bremner, JM & CS Mulvaney. 1982. Nitrogen total. In: AL Page; RH Miller & DR Keeney (eds). *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Agronomy series N°9. ASA, SSSA, Madison, WI. p 595-624.
- Brodie, HL; LE Carr & P Condon. 2000. A comparison of static pile and turned windrow methods for poultry litter compost production. *Compost Sci. Util.* 8: 178-189.
- CCQC (California Compost Quality Council). 2001. Compost maturity index. Technical Report.
- CEPA (Centro de Empresas Procesadoras Avícolas). 2017. Informe especial. Producción avícola en Argentina. Edición N° 174. www.motivar.com.ar/2017/06/produccion-avicola-en-argentina. Fecha del último acceso 19 julio 2017.
- Díaz, MJ; E Madejon; J Ariza; R Lopez & F Cabrera. 2002. Co-composting of beet vinasse and grape marc in windrows and static pile system. *Compost Sci. Util.* 10: 258-269.
- Eghball, B; JF Power; JE Gilley & JW Doran. 1997. Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 26: 189-193.
- Finstein, MS & FC Miller. 1985. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate odor control and cost effectiveness. In: JKR Gasser (ed). *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publ., Barking, Essex. pp 13-26.
- García Gómez, A; A Roig & MP Bernal. 2003. Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. *Bioresour. Technol.* 86: 59-64.
- Hao, X; C Chang & FJ Larney. 2004. Carbon, nitrogen balances and greenhouse gas emission during cattle feedlot manure composting. *J. Environ. Qual.* 33: 37-44.
- Kelleher, BP; JJ Leahy; AM Henthon; TF O'Dwyer; D Sutton & MJ Leahy. 2002. Advances in poultry litter disposal technology. A review. *Bioresour. Technol.* 83: 27-36.
- Laos, F.; MJ Mazzarino & P Satti. 2012. Aspectos legales del uso de los residuos orgánicos. p. 55-66. En: MJ Mazzarino & P Satti (eds). *Compostaje en Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. Editorial: Universidad Nacional Rio Negro (UNRN) y Orientación Gráfica Editora. pp 348.
- Larney, FJ; AF Olson; AA Carcamo & C Chang. 2000. Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and summer. *Bioresour. Technol.* 75: 139-148.
- Larney, FJ & RE Blackshaw. 2003. Weed seed viability in composted beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 32: 1105-1113.
- Larney, FJ; LJ Yanke; JJ Miller & TA McAllister. 2003. Fate of coliform bacteria in composted beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 32: 1508-1515.
- Larney, FJ & AF Olson. 2006. Windrow temperatures and chemical properties during active and passive aeration composting of beef cattle feedlot manure. *Canadian J. Soil Sci.* 86: 783-797.
- Larney, FJ & X Hao. 2007. A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresour. Technol.* 98: 3221-3227.
- Lavergne, TK. 2002. Sampling poultry litter and soil for nutrient analysis. Louisiana State University Agricultural Center. Publication N° 2890. pp 12.
- 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: 2446-2453.
- Leonardi, E. 2013. Mejores técnicas disponibles en la gestión ambiental de residuos de la producción intensiva de aves. *Revista SNS-Senasa* 1: 37-46.
- Li, G & F Zhang. 2000. Solid wastes composting and organic fertilizer production. Chemical Engineering Press, Beijing.
- López Romero, LL; MRJ Saucedo; UF Viramontes & JA Muñoz Villalobos. 2015. Fases del proceso de compostaje y dinámica de temperaturas en mezclas de estiércol bovino y rastrojo de maíz. *Agrofaz* 15: 91-99.

- Ministerio Agroindustria. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. 2015. Buenas prácticas de manejo y utilización de cama de pollo y guano. pp. 36. www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/prensa/folletos_digitales/. Fecha del último acceso 19 julio 2017.
- Ogunwande, GA; JA Osunade & LAO Ogunjimi. 2008. Effects of carbon to nitrogen ratio and turning frequency on composting of chicken litter in turned-windrow piles. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. Manuscript EE 07 016. Vol.10. July 2008.
- R versión 3.0.0. 2013. Copyright (C) 2013. The R Foundation for Statistical Computing.
- Rynk, R; M van De Kamp; GB Wilson; ME Singley; TL Richard; JJ Kolega; FR Gouin; L Laliberty Jr.; D Kay; DWMurphy; HAJ Hoitink & WF Brinton. 1992. On-farm composting handbook. *In: R Rynk (ed)*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Ithaca, NY. pp 109.
- Sánchez Monedero, MA; A Roig; C Paredes & MP Bernal. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresour. Technol.* 78: 301-308.
- Schroeder, PD; E Radcliffe & ML Cabrera. 2004. Rainfall timing and poultry litter application rate effects on phosphorus loss in surface runoff. *J. Environ. Qual.* 33: 2201-2209.
- Stentiford, ET. 1996. Composting control: Principles and practice. *In: M De Bertoldi; P Sequi; B Lemmes & T Papi (eds)*. The Science of Composting. Chapman & Hall. p. 49-59.
- Tiquia, SM; NFY Tam & IJ Hodgkiss. 1996. Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresour. Technol.* 55: 201-206.
- Tiquia, SM; NFY Tam & IJ Hodgkiss. 1998. Changes in chemical properties during composting of spent litter at different moisture contents. *Agric. Ecosyst. Environ.* 67: 79-89.
- Tiquia, SM; TL Richard & MS Honeyman. 2002. Carbon, nutrient and mass loss during composting. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62: 15-24.
- Tiquia, SM & NFY Tam. 2002. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry* 37: 869-880.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency,). 1999. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA/625/R-92/013 Revised October 1999, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Laboratory, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH.
- Van Herk, FH; TA McAllister; CL Cockwill; N Gusselle; FJ Larney; JJ Miller & ME Olson. 2004. Inactivation of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in beef feedlot manure by thermophilic windrow composting. *Compost Sci. Util.* 12: 235-241.
- Walkley, A & TA Black. 1934. An examination of the Degtjareff methods for determining of soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Zucconi, F & M de Bertoldi. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. *In: M. de Bertoldi; MP Ferranti; P L'Hermite & F Zucconi (eds)*. Compost: Production, quality and use. Elsevier, Barking, pp 30-50.