

# Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas

## Composting process evaluation of two mixtures of poultry manures

Nicolas I. Riera, Virginia Della Torre, Pedro F. Rizzo, Mariano Butti, Fabiana M. Bressan, Natalia Zarate, Cristian Weigandt, Diana E. C. Crespo

*Originales: Recepción: 21/08/2013 - Aceptación: 20/05/2014*

### RESUMEN

Los residuos del sector avícola, principalmente guano (aves ponedoras) y cama de parrilleros (aves de engorde), pueden generar un impacto negativo en el ambiente contribuyendo a la contaminación de suelo, agua y aire. La estabilización aeróbica a través del compostaje es una alternativa de tratamiento para reducir la contaminación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el proceso de compostaje en dos mezclas con diferentes porcentajes de residuos avícolas (guano de aves ponedoras y cama de pollos parrilleros). Se compostaron dos mezclas que contenían 81% y 70% de residuos avícolas durante 16 semanas. Las variables analizadas fueron: temperatura ( $T^{\circ}$ ), pH, conductividad eléctrica (CE), humedad (H), capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico total (COT), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrógeno total ( $\text{N}_T$ ) y carbono soluble (CS). Las características finales de los compost A y B fueron: pH 7,1 - 6,8, CE 3,3 - 2,9 ( $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), COT 14,8 - 17,9 %,  $\text{N}_T$  0,97 - 0,88 %,  $\text{NH}_4^+$  501 - 144,9  $\text{mg kg}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^-$  552,3 - 543,0  $\text{mg kg}^{-1}$  respectivamente. El proceso de compostaje podría ser una herramienta para estabilizar los residuos avícolas minimizando su impacto en el ambiente.

### ABSTRACT

Chicken production wastes, principally poultry manure (layers) and litter (from chickens for fattening), may impact negatively on the environment, contributing to soil, water and air pollution. Aerobic stabilization through composting is an alternative to reduce contamination. This study aims to evaluate the composting process in two mixtures with different percentages of poultry manure of laying chickens and broiler poultry litter. Two mixtures were composted containing 81% and 70% of poultry wastes for 16 weeks. The analytical parameters were: temperature ( $T^{\circ}$ ), pH, electrical conductivity (EC), humidity (H), cationic exchange capacity (CEC), total organic carbon (TOC), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), total nitrogen (TN), soluble carbon (SC) were determined in each treatment. The final compost A and B characteristics were 7,1 - 6,8, CE 3,3 - 2,9 ( $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), COT 14,8 - 17,9 %,  $\text{N}_T$  0,97 - 0,88%,  $\text{NH}_4^+$  501 - 144,9  $\text{mg kg}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^-$  552,3 - 543,0  $\text{mg kg}^{-1}$  respectively. The composting process may be a tool to stabilize poultry wastes, minimizing its environmental damage.

### Palabras clave

compost • guano de gallina • cama de pollo parrillero • enmienda

### Keywords

compost • poultry manure • poultry litter • amendment

## INTRODUCCIÓN

La producción avícola nacional se encuentra en firme expansión. Durante el año 2010, la producción de pollos y huevos mostró un crecimiento del 6 y 4% respectivamente, en relación con 2009. La demanda interna mantuvo un récord en consumo de 34,4 kg.hab.año<sup>-1</sup> de pollos y 218 huevos.hab.año<sup>-1</sup>. El 65% del sector avícola del país se concentra en las provincias de Entre Ríos y Buenos Aires (18).

La intensificación del sector avícola, trae como consecuencia la concentración de animales en áreas pequeñas, produciendo la acumulación de grandes cantidades de estiércol y deyecciones, generando problemas ambientales como la contaminación del agua, suelos y produciendo malos olores (10).

Una producción avícola conformada por 100.000 aves ponedoras, mantenidas en jaulas, produce más de 12 toneladas diarias de deyecciones (2). Las mismas contienen compuestos orgánicos e inorgánicos, con variables contenidos de humedad y población microbiana abundante. El valor nutritivo de estos residuos es mayor que el de otros estiércoles animales, debido a que son especialmente ricos en proteínas y minerales (8).

A menudo, los residuos son utilizados como abono y aplicados directamente al suelo, sin ningún tipo de tratamiento previo. Sin embargo, estas prácticas pueden conducir a serios problemas por pérdidas de nutrientes mediante lixiviación y volatilización, como también un efecto patógeno con la posible incorporación de microorganismos como *Salmonella sp* (20). Bitzer y Sims (1988) reportaron que la excesiva aplicación de residuos avícolas en los sistemas agrícolas puede causar la contaminación en aguas subterráneas por nitrato. También pueden provocar riesgos en la salud humana y animal (20).

Algunas de las alternativas para el tratamiento de estabilización de residuos avícolas, ambientalmente aceptadas, son la digestión anaeróbica y el compostaje (15, 21, 26). Se define compostaje como la descomposición y estabilización biológica de materiales orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas (T°) termófilas como resultado del calor producido biológicamente, para generar un producto final estable, libre de patógenos y semillas, que puede ser aplicado de forma beneficiosa al suelo (14).

### Objetivo

- Evaluar el proceso de compostaje en dos mezclas con diferentes porcentajes de residuos avícolas (guano de aves ponedoras y cama de pollos parrilleros).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Proceso de compostaje y metodologías de análisis

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Transformación de Residuos dependiente del Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) INTA Castelar. El estiércol de las aves ponedoras fue extraído de galpones automatizados para la producción de huevo, situados en una granja en la localidad de Mercedes, Provincia de Buenos Aires (34°42'43,18" S; 59°31'19,91" O). El otro residuo avícola fue cama de pollos para engorde (parrilleros). Otros componentes que fueron considerados en las mezclas fueron cama de equinos (compuesta por viruta y estiércol) y aserrín.

Bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA) se realizaron dos tratamientos con 4 réplicas cada uno. Un tratamiento representado por la mezcla A fue compuesto por 56% de guano de aves ponedoras, 25% de cama de parrilleros y 19% de cama de equinos, mientras que el otro, representado por la mezcla B, fue compuesto por 57% de guano de ponedoras, 13% de cama de parrilleros y 30% de aserrín. La mezcla A presentó un porcentaje mayor de residuos avícola (guano de aves ponedoras + cama de parrilleros) que la mezcla B, siendo 81 y 70 % respectivamente. Los porcentajes de los residuos fueron calculados en relación v/v. Al inicio del ensayo, los residuos fueron mezclados manualmente según la composición de cada mezcla hasta obtener una adecuada homogenización. El volumen inicial de las pilas de compostaje fue de 2 m<sup>3</sup> con una altura inicial de 1 m. La aireación se proporcionó mediante volteos manuales cada 3 - 5 días, la humedad se mantuvo entre 55 - 65 % con riegos durante el volteo de las pilas. Mientras se confeccionaron las pilas se agregaron 20 kg de sulfato de calcio en cada tratamiento, para obtener valores de pH más bajos y de esta manera acondicionar la mezcla de residuos a compostar.

El ensayo tuvo una duración total de 16 semanas. Se realizaron 13 muestreos en las pilas de compostaje (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 16 semanas del inicio del ensayo). La extracción de las muestras se realizó en tres sectores de las pilas; éstas fueron homogeneizadas y cuarteadas hasta obtener una alícuota representativa de 1 kg (24).

Mediante la metodología propuesta por el Test Methods for the Examination of Composting and Compost (24) se cuantificaron siete variables: T°, pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico total (COT), carbono soluble (CS), humedad (H) y nitrógeno total (Nt). Otras variables evaluadas fueron: capacidad de intercambio catiónico (CIC) mediante la metodología propuesta por Harada e Inoko (1980) y la concentración de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a partir del método de micro destilación, descrito por Bremner (1965).

La T° se midió diariamente, el pH, CE, H, COT semanalmente, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> cada 15 días y CS y CIC mensualmente, mientras que Nt en las semanas 4, 8 y 16.

### Análisis estadístico

Las variables H y CIC fueron analizadas por un modelo de ANOVA de medidas repetidas, para ver el efecto de tratamiento, y el efecto del tiempo en simultáneo.

Las variables restantes fueron analizadas por la prueba no paramétrica de Kruskal- Wallis, ya que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, analizando cada fecha de muestreo por separado. Se consideraron diferencias significativas cuando el valor p fue menor a 0,05. Todas las variables se analizaron utilizando el programa estadístico InfoStat (7).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización físico-química de los residuos

La tabla 1 resume los resultados de los análisis físico-químicos de los residuos previos a la mezcla. Las principales limitaciones del guano de ponedora fueron: pH ligeramente básico, elevado contenido de sales, alta densidad aparente y relación C/N baja. Para favorecer el proceso de transformación aeróbica del guano, se caracterizaron otros tres residuos típicos de la región (tabla 1) incluido la cama de parrilleros.

**Tabla 1.** Características físico-químicas iniciales de los residuos empleados.

**Table 1.** Initial physical-chemical characteristics of the initial wastes used.

Variables	Guano de ponedoras	Cama de parrilleros	Cama de equinos	Aserrín
pH	8,5 ± 0,2	7,6 ± 0,1	7,5 ± 0,1	7,6 ± 0,5
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	20 ± 0,6	3,4 ± 0,1	2,2 ± 0,3	0,8 ± 0,2
Densidad (g L <sup>-1</sup> )	996 ± 41	215 ± 6	200 ± 6,8	265 ± 12,2
H (%)	72,5 ± 0,2	27,6 ± 0,1	42,9 ± 0,1	11,5 ± 0,1
COT (%)	37,5 ± 1,6	40,2 ± 0,9	35,2 ± 0,1	49,5 ± 0,1
N <sub>T</sub> (%)	6,9 ± 1,6	2,2 ± 0,9	1,2 ± 0,1	2,1 ± 0,1

Rizzo *et al.* (2013), encontraron resultados similares en la caracterización del guano aves ponedoras, donde resaltan que las principales limitaciones que presenta este residuo para ser compostado fueron la escasa porosidad y el alto contenido de sales, siendo necesario incorporar al residuo otro tipo de materiales que aporten carbono y estructura porosa.

### Evolución de los variables físico-químicas

La T° presentó diferencias significativas en las semanas 1 y 2 entre las mezclas, siendo mayor en la mezcla A, alcanzado el máximo valor (63°C). En los dos tratamientos las curvas de T° mostraron el comportamiento característico del proceso de compostaje, cuando en las primeras semanas se logran valores termófilos, presumiéndose una higienización de los materiales, con la consecuente eliminación de posibles patógenos presentes en el material (23). En la semana 10 las T° fueron cercanas a las atmosféricas en los dos tratamientos.

Ambos tratamientos presentaron valores iniciales de pH alcalinos 8,3 y 8,2 para las mezclas A y B respectivamente, manteniendo estos valores hasta la semana 3. Castrillón Quintana *et al.* (2006) encontraron que el aumento de pH podría atribuirse a la mineralización de proteínas, aminoácidos y péptidos produciendo amoníaco. Este incremento de pH durante la primera fase de compostaje, fue observado por otros autores (4, 17, 22). A partir de la semana 5, el pH comenzó a disminuir registrando valores cercanos a la neutralidad (7,1 y 6,7, para la mezcla A y B respectivamente) (tabla 2, pág. 199).

**Tabla 2.** Promedio y desvío estándar de T°, pH, CE, H°, COT, CS y CIC para la mezcla A y B.  
**Table 2.** T°, pH, EC, H°, TOC, SC and CEC average and standard deviation measured from mixtures A and B.

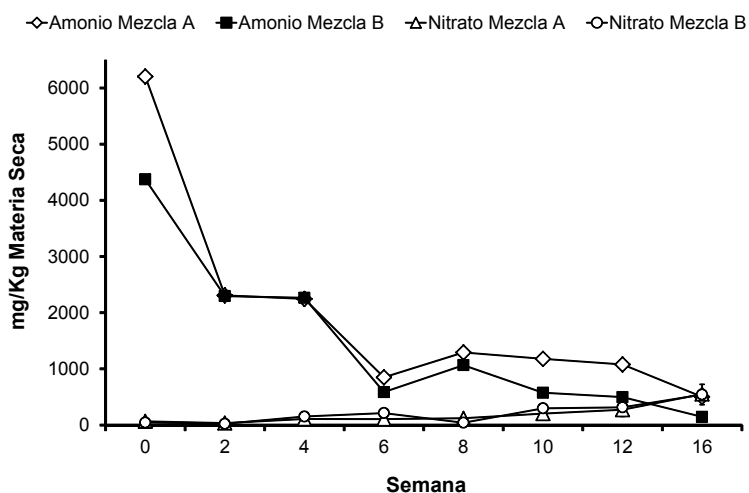
Tiempo (semana)	Tratamiento	T° °C	pH	CE mS.cm <sup>-1</sup>	H %	COT %	CS %	CIC meq.100 g <sup>-1</sup> MO
0	Mezcla A	55 ± 0,1 A	8,3 ± 0,0 A	9,0 ± 0,3 A	49,4 ± 3,6 DEFGHI	25,6 ± 0,7 A	1,6 ± 0,3 A	80,9 ± 2,9 Aa
	Mezcla B	55 ± 2 A	8,2 ± 0,2 A	7,0 ± 1,7 A	38,6 ± 4,2 A	24,7 ± 2,9 A	0,6 ± 0,2 B	68,2 ± 10,9 Ba
1	Mezcla A	63 ± 1 A	8,8 ± 0,1 A	4,3 ± 0,1 A	52,2 ± 3,4 HI	21,4 ± 1,0 A	-	-
	Mezcla B	55 ± 0,3 B	8,2 ± 0,1 B	4,6 ± 0,5 A	50,2 ± 1,7 EFGHI	21,8 ± 1,4 A	-	-
2	Mezcla A	58 ± 2 A	8,7 ± 0,1 A	4,6 ± 0,5 A	51,6 ± 2,1 GHI	18,1 ± 2,4 A	-	-
	Mezcla B	54 ± 1 B	8,5 ± 0,1 A	3,9 ± 0,4 A	53,5 ± 3,9 I	20,1 ± 1,7 A	-	-
3	Mezcla A	52,6 ± 3,6 A	8,8 ± 0,1 A	4,7 ± 0,5 A	50,9 ± 2,1 FGH I	17,4 ± 1,0 A	-	-
	Mezcla B	51,3 ± 1,9 A	8,7 ± 0,2 A	4,4 ± 0,4 A	52,5 ± 2,7 HI	20,0 ± 0,7 B	-	-
4	Mezcla A	43,4 ± 5,7 A	8,5 ± 0,4 A	4,6 ± 0,4 A	47,5 ± 2,1 CDEFGHI	17,3 ± 1,7 A	0,8 ± 0,2 A	98,8 ± 6,1 Aab
	Mezcla B	40,2 ± 2,7 A	7,5 ± 0,7 A	4,8 ± 0,7 A	51,2 ± 1,2 FGH I	18,6 ± 1,0 A	0,4 ± 0,1 A	78,3 ± 2,6 Bab
5	Mezcla A	35,7 ± 4,3 A	7,6 ± 0,4 A	5,2 ± 0,4 A	43,8 ± 1,8 ABCDE	16,2 ± 1,0 A	-	-
	Mezcla B	30,6 ± 2,8 A	7,6 ± 0,4 A	5,2 ± 0,4 A	52,2 ± 3,7 HI	17,8 ± 2,2 A	-	-
6	Mezcla A	26,8 ± 1,2 A	7,4 ± 0,2 A	5,4 ± 0,3 A	41,8 ± 4,0 ABC	14,9 ± 0,6 A	-	-
	Mezcla B	29,4 ± 0,9 B	7,0 ± 1,1 A	3,8 ± 0,5 B	51,7 ± 0,5 GHI	17,9 ± 0,9 B	-	-
8	Mezcla A	24,2 ± 0,3 A	7,4 ± 0,1 A	4,0 ± 0,3 A	43,0 ± 2,7 ABCD	16,0 ± 1,0 A	0,5 ± 0,1 A	93,4 ± 5,3 Aab
	Mezcla B	24,1 ± 1,0 A	7,1 ± 0,2 A	2,6 ± 0,4 B	51,7 ± 1,5 GHI	19,1 ± 0,4 B	0,3 ± 0,1 A	84,7 ± 0,1 Bab
9	Mezcla A	21,6 ± 0,7 A	7,2 ± 0,1 A	4,0 ± 0,2 A	45,3 ± 2,2 BCDEFG	15,0 ± 0,9 A	-	-
	Mezcla B	24,5 ± 0,7 B	6,8 ± 0,3 B	3,0 ± 0,5 B	50,2 ± 2,5 EFGHI	18,7 ± 1,0 B	-	-
10	Mezcla A	19,7 ± 0,4 A	6,9 ± 0,2 A	3,6 ± 1,0 A	43,8 ± 1,3 ABCDE	15,3 ± 1,1 A	-	-
	Mezcla B	20,8 ± 0,3 B	6,6 ± 0,3 A	3,4 ± 0,1 A	49,7 ± 1,7 EFGHI	17,9 ± 0,6 B	-	-
11	Mezcla A	20,0 ± 0,2 A	7,1 ± 0,1 A	3,8 ± 0,4 A	44,9 ± 1,6 ABCDEF	15,3 ± 0,9 A	-	-
	Mezcla B	19,6 ± 0,2 B	6,7 ± 0,1 B	3,1 ± 0,6 A	49,2 ± 1,5 DEFGHI	17,5 ± 1,0 B	-	-
12	Mezcla A	19,6 ± 0,7 A	7,2 ± 0,1 A	4,0 ± 0,3 A	43,9 ± 1,6 ABCDE	15,1 ± 0,7 A	0,4 ± 0,1 A	107,1 ± 6,3 Ab
	Mezcla B	19,0 ± 0,3 A	6,8 ± 0,0 B	3,4 ± 0,3 A	49,3 ± 1,4 DEFGH	18,0 ± 0,9 B	0,1 ± 0,0 B	88,3 ± 5,1 Bb
16	Mezcla A	19,9 ± 0,3 A	7,1 ± 0,0 A	3,3 ± 0,4 A	39,6 ± 1,4 AB	14,8 ± 0,6 A	0,07 ± 0,0 A	111,7 ± 4,6 Ab
	Mezcla B	19,3 ± 0,2 A	6,8 ± 0,1 B	2,9 ± 0,5 A	46,0 ± 1,5 BCDEFGH	17,9 ± 0,8 B	0,1 ± 0,0 B	91,9 ± 0,9 Bb

Letras distintas minúsculas indican diferencias significativas entre semanas (Test Tukey, p<0.05).  
 Distintas letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos (Test Tukey p<0.05).  
 Different lower letters indicate significant differences between weeks (Test Tukey, p<0.05).  
 Different capital letters indicate significant differences between treatments (Test Tukey p<0.05).

La CE fue alta al inicio del proceso y disminuyó rápidamente a lo largo del ensayo, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos en las semanas 6 a la 9. La disminución de esta variable puede deberse a la lixiviación de sales durante el proceso (16, 17, 21). Finalmente los productos compostados obtuvieron valores bajos y recomendables como enmienda de suelos.

El porcentaje de COT inicial fue de  $25,6 \pm 0,7$  y  $24,7 \pm 2,9$  en la mezcla A y B respectivamente, no encontrándose diferencias significativas. Este porcentaje fue disminuyendo a lo largo del tiempo en los dos tratamientos. A partir de la semana 6 se encontraron diferencias significativas entre las dos mezclas (14,9 % para la mezcla A y 17,9 % para la mezcla B), pudiéndose atribuir esto a una mayor actividad microbiana en la mezcla A relacionado con el mayor contenido de CS. El mayor contenido inicial de CS en la mezcla A, podría deberse a que su composición estuvo conformada por una menor proporción de materiales ricos en lignina y celulosa como el aserrín (14). La mayor proporción de carbono lábil se encuentra en la primera etapa del compostaje, a medida que el proceso avanza este carbono es consumido y transformado en dióxido de carbono y compuestos más complejos. Consecuentemente al finalizar el proceso, la mezcla B presentó menor disminución del contenido de COT con respecto al valor inicial, podría estar relacionado con el menor contenido de CS en la mezcla (tabla 2, pág. 199).

Inicialmente, el N inorgánico se encontró en su forma reducida, como  $\text{NH}_4^+$ . El  $\text{NH}_4^+$ , al inicio del ensayo, presentó valores de 6.203 y 4.373  $\text{mg kg}^{-1}$  MS para las mezclas A y B respectivamente (figura 1).

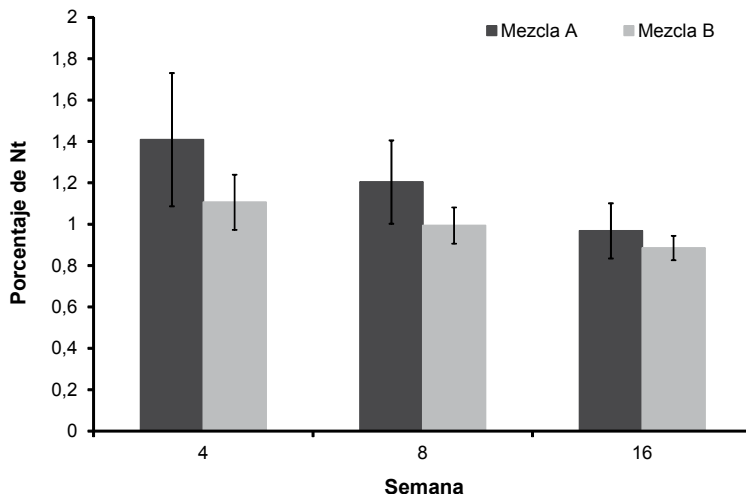


**Figura 1.** Variación de los niveles de amonio y nitrato ( $\text{mg kg}^{-1}$  MS) durante el proceso de compostaje para la mezcla A y B.

**Figure 1.** Ammonium and nitrate ( $\text{mg kg}^{-1}$  DM) variation levels during composting process for mixtures A and B.

El proceso aeróbico oxidativo transforma una parte de  $\text{NH}_4^+$  presente en la solución a  $\text{NO}_3^-$ , siendo una de las razones por las que el  $\text{NH}_4^+$  disminuye a lo largo del tiempo. Sin embargo, gran parte del nitrógeno se pierde por volatilización en forma de amoníaco (25). Si bien el contenido de  $\text{NO}_3^-$  debería aumentar con el transcurso del tiempo, debido a la mineralización de la materia orgánica, existen pérdidas de nitrógeno por volatilización o lixiviación (6,9) (figura 1, pág. 200).

Con respecto al Nt, no se percibieron diferencias significativas entre las mezclas, observando una leve disminución en el tiempo (figura 2). Sin embargo, al compararse las concentraciones de Nt, entre la semana 4 y semana 16 se puede percibir que la mezcla A experimentó una disminución del 28,6%. Hansen *et al.* (1989) reportaron una disminución del 33% de Nt durante el proceso de compostaje de estiércol de ave de corral. Moore *et al.* (1997) encontraron que la volatilización del nitrógeno de residuos avícolas aumenta cuando los valores de pH superan a 7. Hasta la semana 8 los valores de pH se encontraron por encima de 7, lo cual podría explicar parte de las pérdidas de N, mediante la volatilización como amoníaco.



**Figura 2.** Porcentaje de Nt (% MS) en la semana 4,8 y 16 del compostaje para la mezcla A y B durante el compostaje.

**Figure 2.** Weeks 4, 8 y 16 Nt (% DM) percentage during composting for mixtures A and B.

La CIC aumentó a lo largo del proceso del compostaje (tabla 2, pág. 199), encontrándose diferencias significativas entre el principio y final del proceso en las dos mezclas. Este resultado indicó la mayor presencia de grupos funcionales y una mayor retención de nutrientes en los productos obtenidos. A su vez, hubo diferencias significativas entre los dos tratamientos, la mezcla A presentó mayores valores de CIC respecto de la mezcla B indicando que la mezcla que mayor porcentaje de residuos avícolas y menor contenido de aserrín derivó en un compost con moléculas más complejas que se asocian a un mayor grado de humificación.

Finalmente, la disminución del CE, COT y  $\text{NH}_4^+$  y el incremento de  $\text{NO}_3^-$  y CIC durante el proceso del compostaje indicarían la estabilización de la materia orgánica y la madurez del producto obtenido (21).

## CONCLUSIÓN

El proceso de compostaje de dos mezclas compuestas por diferentes proporciones de residuos avícolas mostró una disminución de la salinidad, componentes del carbono y nitrógeno orgánico y  $\text{NH}_4^+$  complementada con un aumento de la capacidad de retención de nutrientes y  $\text{NO}_3^-$ . Esta evolución química favoreció la producción de un compost estable, maduro y adecuado para el uso como enmienda orgánica. La mezcla constituida por la mayor proporción de residuos avícolas y menor contenido de aserrín mostró un mayor descenso del COT debido a la mayor cantidad de fuentes carbonadas lábiles de fácil degradación. El compost proveniente de esta mezcla presentó una mayor capacidad de retención de nutrientes a pesar del menor contenido de materia orgánica. Finalmente, el proceso de compostaje podría ser una herramienta útil para estabilizar los residuos avícolas y minimizar su impacto en el ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bitzer, C. C.; Sims, J. T., 1988. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. *J. Environ. Qual.* 17: 47-54.
2. Bourbonnais, R.; Paice, M. G.; Reid, I. D.; Lanthier, P.; Yaguchi, M. 1995. Lignin oxidation by laccase isozymes from *Trametes versicolor* and the role of the mediator 2,2'-azino-bis(ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) in Kraft lignin depolymerization. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 1876-1880.
3. Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. En *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy*, Black, C. A.; De Wite, E.; Ensminger, L. E.; Clark, F. E. American Society of Agronomy, Inc., Madison. 9: 1179-1237..
4. Bustamante, M. A.; Paredes, C.; Marhuenda-Egea, F. C.; Pérez-Espinosa, A.; Bernal, M. P.; Moral R. 2008. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere.* 72: 551-557.
5. Castrillón Quintana, O. C.; Mejía, B. O.; Martínez, D. V. 2006. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Producción + Limpia.* 1(2): 88-97.
6. DeLaune, P. B.; Moore, P. A.; Daniel, T. C.; Lemunyon, J. L., 2004. Effect of chemical and microbial amendments on ammonia volatilization from composting poultry litter. *J. Environ. Qual.* 33: 728-734.
7. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. *InfoStat* versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
8. García, Y. A.; Ortiz, E. 2008. Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. *International Poultry Expo 2008.*
9. Grigatti, M.; Cavani, L.; Ciavatta, C., 2011. The evaluation of stability during the composting of different starting materials: Comparison of chemical and biological parameters. *Chemosphere* 83: 41-48.
10. Han, J. Ko; Ki Y. Kim, Hyeon T. Kim, Chi N. Kim, M. Umeda 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in compost made from animal manure. *Waste Management* 28: 813-820.
11. Hansen, R. C.; Keener, H. M.; Hoitink, H. A. J. 1989. Poultry manure composting. An exploratory study. *ASAE* 36: 2151-2157.
12. Harada, Y.; Inoko, A. 1980. The measurement of the cation exchange capacity of compost for the estimation of the degree of maturity. *Soil.Sci.Plant.Nutr.* 26(3): 127-134.
13. Hsu, J.; Lo, S. 1999. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environ. Pollut.* 104: 189-196.



14. Haug, R. T. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Boca raton, FL. pp. 71-77
15. Kelleher, B. P.; Leahy, J. J.; Henthon, A. M.; O' Dwyer, T. F.; Sutton, D.; Leahy, M. J. 2002. Advances in poultry litter disposal technology- a review. *Bioresource technology*. 83: 27-36.
16. Laos, F.; Mazzarino, M. J.; Walter, I.; Roselli, L.; Satti, P.; Moyano, S. 2002. Composting of fish offal and biosolids in northwestern Patagonia. *Bioresour technol*. 81: 179-186.
17. Leconte, M. C.; Mazzarino, M. J.; Satti, P.; Iglesias, M. C.; Laos, F. 2009. Composting poultry manure with rice hulls and/or sawdust in NE Argentina. *Waste Management*. 29: 2446-2453.
18. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2010. *Anuario Ganados y Carnes*. pp 167-171
19. Moore, P. A.; Huff, Jr. W. E.; Daniel, T. C.; Edward, D. R.; Saucer, T. C. 1997. Effect of aluminum sulfate on ammonia fluxes from poultry litter in commercial broiler houses. In: *Proceedings of Fifth International Symposium on Livestock Environment, Transactions of the ASAE 2*, pp. 883-891.
20. Ogunwande, G. A.; Osunade, J. A.; Ogunjimi, L. A. O. 2008. Effects of carbon to nitrogen ratio and turning frequency on composting chicken litter in turned-windrow piles. *Agricultural*. 99: pp. 7495-7503.
21. Rizzo, P.; Della Torre, V.; Riera, N.; Crespo, D.; Barrena, R.; Sanchéz, A. 2013. Co-composting of poultry manure with other wastes from pampean region. ISSN 1438-4957. *J Mater Cycles Waste Manag* DOI 10.1007/s10163-013-0221-y.
22. Sesay, A. A.; Lasaridi, K.; Stentiford, E.; Budd, T. 1997. Controlled composting of paper pulp sludge using aerated static pile method. *Compost. Sci. Util*: 5: 82-96.
23. Stentiford, E. I.; Mara, D. D.; Taylor, P. L. 1998. Forced aeration co-composting of domestic refuse and sewage in static piles. Gasser J. K. R. *Composting of Agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, London. pp: 42-55.
24. Test methods for the examination of composting and compost. 2001. U.S. Department of Agriculture and U.S. Composting Council. Houston, TX: Edaphos International. Weppen P. 2001
25. Tiquia, S. M.; Richard, T. L.; Honeyman, M. S. 2002 Carbon, nitrogen and mass loss during composting. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 62: 15-24.
26. Turan, N. G. 2008. The effects of natural zeolite on salinity level of poultry litter compost. *Bioresource Technology*. 99: 2097-2101.

#### **Agradecimientos**

A la Ing. Agr. Msc. Laura Martínez por su gran aporte y dedicación en las correcciones de este trabajo.  
A la Lic. en Estadística María José Beribe por su aporte en la revisión del análisis estadístico de este ensayo.