

Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo¹

Paola Aurelia Jorge Montalvo², Luis Felipe Ortiz Dongo³, José Luis Calle Maraví⁴,
Lena Asunción Téllez Monzón⁵, Mary Flor Césare Coral⁶, Lizardo Visitación Figueroa⁷

RESUMEN

Introducción. La transformación del nitrógeno en la bosta de caballo (BC) y en el rastrojo vegetal con estiércol de vaca (VR) en todas las etapas del compostaje de estos residuos. **Objetivo.** Evaluar el comportamiento del nitrógeno en el compost de la bosta de caballo comparándolo con lo sucedido en el compost del rastrojo vegetal con estiércol de vaca. **Materiales y métodos.** Uso de pilas de compostaje a cielo abierto y la evaluación físico química del proceso. **Resultados.** En ambas pilas de compostaje la temperatura alcanza su mayor valor en la fase termofílica dentro de la primera semana. Los valores de pH se están regulados por la formación y volatilización del nitrógeno amoniacal. La conductividad eléctrica del compost

producido por la bosta de caballo alcanza un valor máximo de 5 uS/cm y el producido por el rastrojo vegetal con estiércol de vaca de 4 uS/cm esto se relaciona con la formación de nitrógeno amoniacal en la fase termofílica y nitratos en la fase de enfriamiento. La relación C/N al final del compostaje para la bosta de caballo se incrementa, debido a que solo queda residuos de cascarilla de arroz no degradado. La disminución de la concentración de N-NH₄ es debido a volatilización y formación de N-NO₃. **Conclusiones.** El compost de la bosta de caballo presentó una mayor concentración de nitrógeno que el compost del rastrojo vegetal con estiércol de vaca.

PALABRAS CLAVE: bosta de caballo, nitrógeno, residuo, cáscara de arroz, compost.

1 Artículo original, financiado por el Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental CIQTOBIA, el Centro Modelo de Tratamiento de Residuos CEMTRAR y el Laboratorio de Energía Renovables LER, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). Vigencia noviembre del 2017 a marzo del 2018.

2 Bióloga, magíster en Ciencias de la Educación, docente asociada del Departamento Académico de Química, Miembro del Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental, Miembro del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos –Facultad de Ciencias– Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

3 Bachiller en Ciencias Zootecnia, asistente de campo e investigación del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos –Facultad de Ciencias– Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

4 Ingeniero Agrícola, magíster en Ingeniería Agrícola, doctor en Ingeniería Agrícola, docente principal del Departamento Académico Ordenamiento Territorial y Construcción, director del

Artículo recibido: 29/06/2018; Artículo aprobado: 27/12/2018

REVISTA PRODUCCIÓN + LIMPIA–Vol. 13 No 2–2018–P. Jorge Montalvo–77 • 88

TRANSFORMACIÓN DEL NITRÓGENO DURANTE EL COMPOSTAJE DE BOSTA DE CABALLO....

Nitrogen transformation during the composting of horse bosta

ABSTRACT

Introduction. The transformation of nitrogen in horse dung (BC) and in vegetal stubble with cow dung (VR) in all stages of the composting of these residues. **Objective.** Evaluate the behavior of nitrogen in the compost of the horse dung, comparing it with what happened in the compost of the vegetable stubble with cow dung. **Materials and methods.** Use of open-air compost piles and the chemical evaluation of these. **Results.** In both composting piles the temperature reaches its highest value in the thermophilic phase within the first week. The pH values are regulated by the formation and volatilization of the ammoniacal nitrogen. The electrical conductivity of the compost produced by the BC reaches a maximum value of 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and that produced by the

VR of 4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, this is related to the formation of ammoniacal nitrogen in the thermophilic phase and nitrates in the cooling phase. The C/N ratio at the end of composting for BC is increased, because only the remains of non-degraded rice husk remain. The decrease in the concentration of N-NH_4 is due to volatilization and formation of N-NO_3 . **Conclusions.** The compost of the BC presented higher concentration of nitrogen than the compost of the VR.

KEY WORDS: horse dung, nitrogen, residue, rice husk, compost.

Transformação de nitrogênio durante a compostagem do cavalo bosta

RESUMO

Introdução. A transformação do nitrogênio no esterco de cavalo (CB) e no restolho vegetal com esterco

Laboratorio de Energía Renovables –Facultad de Ingeniería Agrícola- Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

5 Ingeniero Químico, magíster en Tecnología de los Alimentos, docente asociado del Departamento Académico de Química, miembro del Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental, miembro del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos –Facultad de Ciencias– Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

6 Químico, maestro en Química, docente principal del Departamento Académico de Química, miembro del Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental, miembro del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos –Facultad de Ciencias– Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

7 Químico, magíster en Química, doctor en Ingeniería Ambiental, docente principal del Departamento Académico de Química, director del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos, miembro del Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental –Facultad de Ciencias– Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Autor para correspondencia: Paola Jorge Montalvo. Correo electrónico: paolajom@lamolina.edu.pe

de vaca (VR) em todas as etapas da compostagem desses resíduos. **Objetivo.** Avaliar o comportamento do nitrogênio no composto de esterco de cavalo, comparando-o com o que ocorreu no composto elaborado por excreta de vaca misturada a restolho vegetal. **Materiais e métodos.** Uso de pilhas de compostagem ao ar livre e a avaliação química destes. **Resultados.** Em ambas pilhas de compostagem a temperatura alcançou seu maior valor na fase termofílica dentro da primeira semana. Os valores de pH são regulados pela formação e volatilização do nitrogênio amoniacal. A condutividade elétrica do composto produzido pelo BC alcançou um valor máximo de 5

$\mu\text{S}/\text{cm}$ e aquele produzido pelo VR de $4 \mu\text{S}/\text{cm}$, isto está relacionado à formação de nitrogênio amoniacal na fase termofílica e nitratos na fase de arrefecimento. A relação C/N no final da compostagem para BC é aumentada, porque só os restos de casca de arroz não degradadas permanecem. A diminuição na concentração de N-NH_4 é devida à volatilização e formação de N-NO_3 . **Conclusões.** O composto do BC apresentou uma maior concentração de nitrogênio do que o composto da VR.

PALAVRAS CHAVE: esterco de cavalo, nitrogênio, resíduo, casca de arroz, compost.

INTRODUCCIÓN

La bosta de caballo (BC) es el residuo que se obtiene al cambiar las camas en las cuadras de caballos, el residuo está formado por cáscara de arroz, orines y estiércol de caballo. Se estima por el tamaño de las camas que, en promedio, se generan entre 33 y 183 kg/día.caballo (León 2015, Wheeler y Zajaczkowski 2009; Echeverría y López 2010). Las relaciones de carbono-nitrógeno de los componentes de la BC puede tomar valores entre 20 y >100 para cáscara de arroz (Valverde, Sarria y Monteagudo, 2007), 22 a 50 para estiércol de caballo (Rynk, 1992) y <1 para la orina de caballo (Liebig 1853). El porcentaje de estos componentes en el residuo es variable, como referencia podemos indicar que las excretas se presentan en 30%, la orina en 50% y las cáscaras 20%

según Wheeler y Zajaczkowski (2009). La presencia de fuentes de carbono y nitrógeno en la BC hacen atractivo el uso de este material en el proceso de compostaje cuyos requerimientos de carbono-nitrógeno están entre 25 a 30 (Huang, Wong, Wu y Nagar, 2004).

En el proceso de compostaje es común tener pérdidas de nitrógeno por volatilización del NH_3 cuando se exceden los requerimientos nutricionales de los microorganismos para la degradación a concentraciones superiores de 2,4%, (Alexander 1977, Prochnow, Kiehl, Pismel y Corrente, 1995). La emisión del amonio es causada por la amonización del nitrógeno orgánico (proteínas, aminoácidos entre otros) en la fase termofílica (Jiang, Kang, Chen y Liu, 2017) alcanzando valores máximos dentro de los siete primeros días (Jiang, Liu, Huang y Huang,

2015). El nitrógeno amoniacal $N-NH_4$ desciende como resultado de la inmovilización por microorganismos, así como la formación de $N-NO_3$ (Jiang *et al.*, 2015). Los nitratos están ausentes al inicio del proceso de compostaje debido a que en la fase termofílica las altas temperaturas y las excesivas concentraciones de amonio inhiben las bacterias nitrificantes, entre las semanas 3 y 5 se incrementa su concentración (Morisaki, Phae, Nakasaki y Shoda, 1989; Huang *et al.*, 2004).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento del nitrógeno en el compost de la bosta de caballo BC, comparándolo con lo sucedido en el compost elaborado por las excretas de vaca mezclado con rastrojo vegetal VR. El entendimiento del comportamiento del nitrógeno en el compostaje de la bosta de caballo permitirá realizar ajustes en el proceso de compostaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas para el proceso de compostaje

La bosta de caballo (BC) utilizada fue traída del hipódromo de la ciudad, la excreta de vacuno y el rastrojo vegetal (VR) fueron tomados de la granja y de los jardines del campus de la UNALM. La BC es una mezcla de excretas (8%) y orines de caballo (aproximadamente 74%) en cascarilla de arroz (17%), el rastrojo vegetal es una mezcla de poda de árboles y jardines.

Compostaje en pilas abiertas

El proceso de compostaje fue realizado en las instalaciones del CEMTRAR de la Universidad Nacional Agraria La Molina, se construyeron dos pilas de compost de 10 m de largo, 3 m de ancho y 1,5 m de altura, una de bosta de caballo (BC) y otra de una mezcla de estiércol de vacuno 40% con rastrojo vegetal 60% (VR). Para promover la actividad degradativa de los microorganismos, se reguló la humedad de las pilas realizando riegos periódicos, manteniendo la humedad entre 40 a 60%, verificando el contenido con la prueba del puño (Binner, Méndez y Mayashiro, 2011) y la determinación gravimétrica de la humedad.

Muestreo y métodos analíticos

Se obtuvieron dos muestras una de BC y otra de VR, cada semana durante quince semanas, asegurando su homogeneidad y representatividad con el método *Coning and Quartering Procedure* (Binner, 2017), el cual consistió en la toma, mezcla y formación de un cono de submuestras de tres puntos distintos de las pilas, seguido del cuarteo de las muestras hasta obtener una muestra representativa. Se guardaron y refrigeraron las muestras para su posterior análisis. La determinación de pH y conductividad eléctrica realizados en una dilución 1:10, así como la densidad, capacidad de retención de agua, carbono y nitrógeno total, $N-NH_4$ y $N-NO_3$ fueron desarrollados siguiendo

lo sugerido por la ordenanza de compost (BGBl.II 292, 2001).

RESULTADOS

Temperatura, pH y conductividad eléctrica

En el proceso de compostaje de la BC y VR la fase de calentamiento se realizó en la primera semana alcanzando temperaturas de 65,10 y 49,55 °C lo que indica un rápido establecimiento de la actividad microbiana (Huang *et al.*, 2004), la fase termofílica se alcanzó

al inicio de las mediciones y se mantuvo hasta el día 21 similar a lo reportado por otros estudios (Jiang *et al.*, 2015), la fase de enfriamiento se inicia a partir del día 21, luego se mantuvo a valores de temperatura menores a 45 °C para BC y menores a 42 °C para VR esto es un indicativo que el proceso fermentativo está en la fase final por disminución del material orgánico biodegradable (Bertoldi, Vallini y Pera *et al.*, 1983, Bernal, Alburquerque y Moral, 2009), las temperaturas registradas en la pila de VR son menores en todas las etapas a las de BC debido a que al inicio presentan un menor contenido de carbono y menor relación C/N (Huang *et al.*, 2004), como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Cambios en la temperatura, pH y CE durante el proceso de compostaje

Días	Temperatura		pH		CE (mS/cm)	
	BC	VR	BC	VR	BC	VR
0	35,00 ± 0,71	35,00 ± 0,71	-	-	-	-
7	65,10 ± 2,26	49,55 ± 0,07	7,81 ± 0,01	8,14 ± 0,22	3137,00 ± 35,36	4172,00 ± 2330,62
14	54,72 ± 2,29	40,64 ± 0,09	7,83 ± 0,05	7,79 ± 0,11	5522,51 ± 256,68	4278,00 ± 661,85
21	57,23 ± 0,47	51,45 ± 0,07	8,08 ± 0,09	8,14 ± 0,28	1975,00 ± 304,06	1547,00 ± 253,14
28	56,27 ± 1,70	42,69 ± 3,09	8,16 ± 0,01	8,27 ± 0,60	2967,00 ± 504,87	2961,50 ± 60,10
35	48,47 ± 0,38	40,60 ± 4,81	8,09 ± 0,16	8,57 ± 0,26	4447,00 ± 991,36	1812,00 ± 305,47
42	44,90 ± 1,32	35,92 ± 1,44	7,18 ± 0,02	7,16 ± 0,00	4215,00 ± 131,52	2119,50 ± 464,57
49	41,27 ± 2,40	33,94 ± 0,90	7,07 ± 0,01	7,00 ± 0,25	2504,00 ± 359,21	2295,00 ± 496,39
56	44,50 ± 1,04	39,19 ± 0,02	7,95 ± 0,06	8,25 ± 0,26	4561,5 ± 494,27	3290,00 ± 622,25
63	43,12 ± 1,77	38,10 ± 0,38	7,98 ± 0,01	8,02 ± 0,22	4554,00 ± 254,56	2605,00 ± 123,04
70	44,28 ± 3,42	34,83 ± 1,27	7,90 ± 0,19	8,11 ± 0,11	4269,00 ± 776,40	2358,00 ± 254,56
77	44,43 ± 0,33	38,70 ± 1,65	8,13 ± 0,11	8,36 ± 0,34	4198,50 ± 413,66	3219,00 ± 86,27
84	42,08 ± 0,45	38,52 ± 1,06	7,95 ± 0,04	8,24 ± 0,51	4384,50 ± 23,33	3451,00 ± 1373,20
91	48,87 ± 2,07	41,60 ± 0,71	-	-	-	-
98	41,07 ± 2,31	38,70 ± 1,13	-	-	-	-
105	47,35 ± 1,34	37,75 ± 1,48	-	-	-	-

Nota: Valores indican promedio ± desviación estándar basada en dos muestras medidas por triplicado

El comportamiento del pH en el proceso de compostaje de BC y VR es variado entre 7,00 y 8,57, en la fase termofílica se observa un incremento alcanzando valores de hasta 8,1 para BC y VR en los 21 primeros días, esto es debido a la formación de N-NH₄ producto de la degradación del material orgánico nitrogenado (Jiang *et al.*, 2015). Posteriormente, debido a la pérdida de nitrógeno por volatilización del amonio y acumulación de ácidos grasos de cadena corta en el día 49 se produce una reducción del pH similar a lo obtenido por otros autores (Chen *et al.*, 2010, Li *et al.*, 2012), con riegos posteriores el pH se incrementa en la etapa de enfriamiento debido a que los microorganismos mesofílicos reinician el proceso de degradación con un ligero incremento de la temperatura (Jiang *et al.*, 2015) a partir del día 49, al finalizar el monitoreo el valor del pH ha descendido por la liberación del dióxido de carbono durante todo el proceso de compostaje y la pérdida por volatilización del amoniaco (Huang *et al.*, 2004), como se observa en la tabla 1.

El cambio en la conductividad durante el proceso de compostaje de BC y VR, como se aprecia en la tabla 1, nos presenta un valor máximo después de los catorce primeros días en la fase termofílica, esto se debe al proceso de mineralización del nitrógeno orgánico que libera sales solubles como los iones amonio, entre otras sales orgánicas (Huang *et al.*, 2004, Li *et al.*, 2012), la variabilidad de los valores de conductividad en el tiempo se rigen por los procesos de volatilización del amonio, de precipitación y redisolución de las sales formadas (Wong, Li y Wong, 1995, Huang *et al.*, 2004) tales como los nitratos y carbonatos, al final del

proceso de compostaje los valores de conductividad son menores al máximo valor alcanzado menor a 5 uS/cm para la BC y menor a 4 uS/cm para VR.

Cambios en las especies de nitrógeno durante el proceso de compostaje

En el compostaje de la BC se observa un incremento inicial de nitrógeno a partir del día 30 debido a la pérdida neta de masa ocasionado por la oxidación de la materia orgánica, que libera calor y arrastra al nitrógeno en el vapor de agua liberado, así como por la liberación del dióxido de carbono que reduce el porcentaje de carbono en el material (Huang *et al.*, 2004), sin embargo, después del segundo mes se observa una caída brusca del contenido de nitrógeno, asociado a un descenso de la densidad (de 689,10 a 575,40 kg/m³) y a la pérdida de la capacidad de retención de agua (de 220,71 a 132,82%) desde la fase termofílica hasta la fase de enfriamiento (ver tabla 2), que sugiere pérdida de materia orgánica en la bosta quedando básicamente residuos de cáscara de arroz de difícil degradación bajo las condiciones de compostaje. En el caso del compostaje de VR se tiene que el contenido de nitrógeno presenta una tendencia similar en los primeros 21 días, entre el día 30 y 60 el contenido disminuye, finalmente debido a la fijación del nitrógeno en microorganismos en la materia orgánica resultante (Bishop y Godfrey, 1983) el contenido de nitrógeno se mantiene, como se observa en la figura 1.

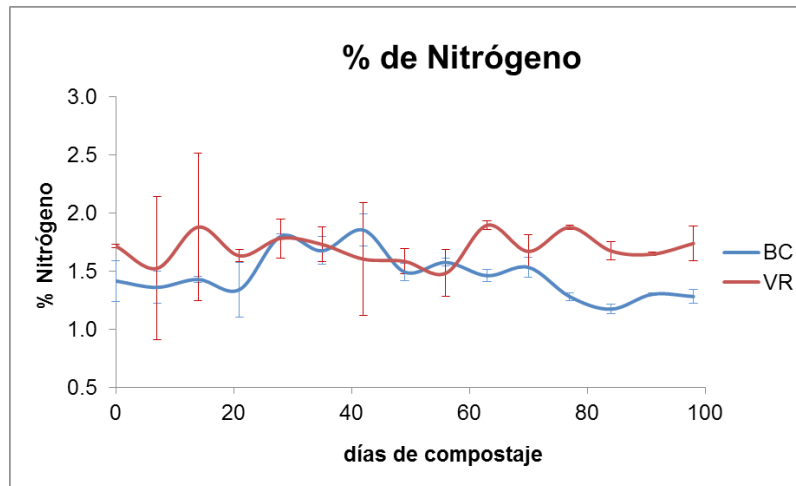


Figura 1. Cambios del porcentaje de nitrógeno durante el proceso de compostaje

Tabla 2. Cambios en la temperatura, pH y CE durante el proceso de compostaje

Días	CRA %		Densidad kg/m ³	
	BC	VR	BC	VR
0	191,75 ± 23,31	265,00 ± 16,84	393,95 ± 18,17	391,75 ± 20,72
14	220,71 ± 2,3	250,04 ± 30,91	425,15 ± 3,61	674,40 ± 0,14
21	112,22 ± 3,46	112,18 ± 10,39	467,40 ± 33,38	756,80 ± 5,37
28	115,59 ± 44,19	109,49 ± 5,53	450,00 ± 41,86	826,50 ± 34,65
35	91,65 ± 11,29	131,32 ± 37,68	564,50 ± 59,54	797,50 ± 17,68
42	128,78 ± 10,77	170,9 ± 60,37	612,40 ± 7,92	764,50 ± 43,13
56	135,13 ± 19,44	110,9 ± 21,33	689,10 ± 139,87	732,50 ± 13,44
63	134,33 ± 9,08	141,18 ± 41,08	575,40 ± 29,98	707,00 ± 25,46
84	132,82 ± 15,64	140,58 ± 42,81	370,40 ± 47,23	657,90 ± 124,31

Nota: valores indican promedio ± desviación estándar basada en dos muestras medidas por triplicado

La relación C/N en el proceso de compostaje de BC presenta un descenso dentro de los 30 primeros días, como resultado de la degradación de la materia orgánica y la liberación de dióxido de carbono en la fase termofílica (Jiang *et al.*, 2015), en el caso de VR para los 30 primeros, el comportamiento es similar pero también se produce

un incremento de la relación C/N debido a la volatilización de grandes cantidades de amonio en los primeros días de compostaje. Después del día 60 en el material compostado de BC la relación C/N se incrementa, esto es debido a que el nitrógeno mineralizado en forma de nitratos por efectos del lavado, es removido, quedando en

el material principalmente residuos de cáscara de arroz que reducen la densidad y la capacidad de retención de agua del material resultante. Para VR la relación C/N en el proceso de compostaje después del día 60 sigue disminuyendo, debido a que la relación C/N al inicio del proceso es baja (14,80),

el proceso de compostaje se desarrolla lentamente no logrando alcanzar la madurez (relación inicial final de C/N 0,78) dentro de los 100 primeros días tomando en consideración la relación de 0,53 – 0,72 propuesta por (Itävaara, Vikman y Venelampi, 1997), como se observa en la figura 2.

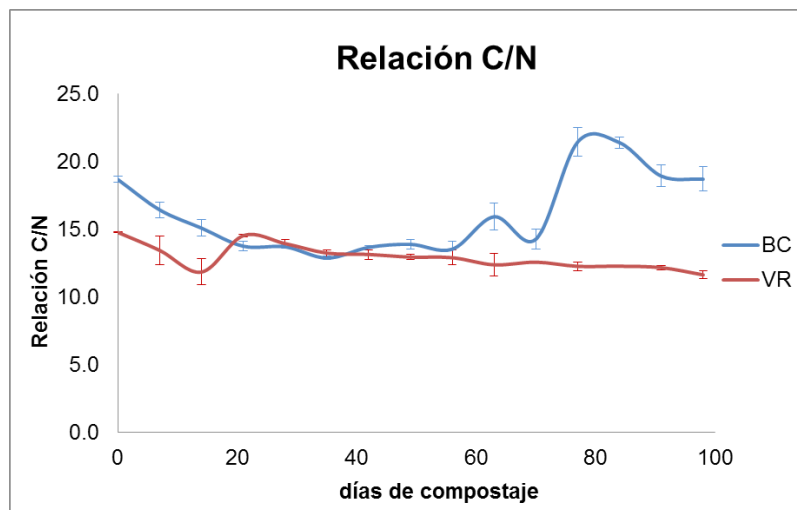


Figura 2. Cambios de la relación C/N durante el proceso de compostaje

Al inicio del proceso de compostaje de BC, la concentración de nitrógeno como nitrógeno amoniacal fue de 3192 mg N-NH₄/L, este nitrógeno se encuentra en equilibrio con el amoniaco gaseoso y en la primera semana se pierde por volatilización del amoniaco debido a un exceso de los requerimientos nutricionales de los microorganismos que realizan la amonización del nitrógeno orgánico (Alexander 1977, Prochnow *et al.*, 1995), otra razón importante de la reducción de nitrógeno es la inmovilización del nitrógeno por microorganismos y por transformación a nitrógeno como nitratos (Jiang *et al.*, 2015), en el día 30 se observa un incremento del nitrógeno amoniacal probablemente debido a

la liberación del nitrógeno fijado por los microorganismos, posterior a los 30 días las concentraciones del nitrógeno amoniacal alcanzan valores de 92 mg N-NH₄/L principalmente debido a las condiciones oxidantes del medio que favorecen el desarrollo de bacterias nitrificantes (Morisaki *et al.*, 1989; Huang *et al.*, 2004). Para el compostaje de VR el comportamiento es similar al de BC, en este caso la concentración inicial de N-NH₄ fue de 786,80 y la final fue de 57,60, los bajos valores de nitrógeno en comparación con los de BC limitaron las pérdidas por volatilización del amoniaco y favorecieron la fijación en microorganismos así como la formación de nitratos. Ver figura 3.

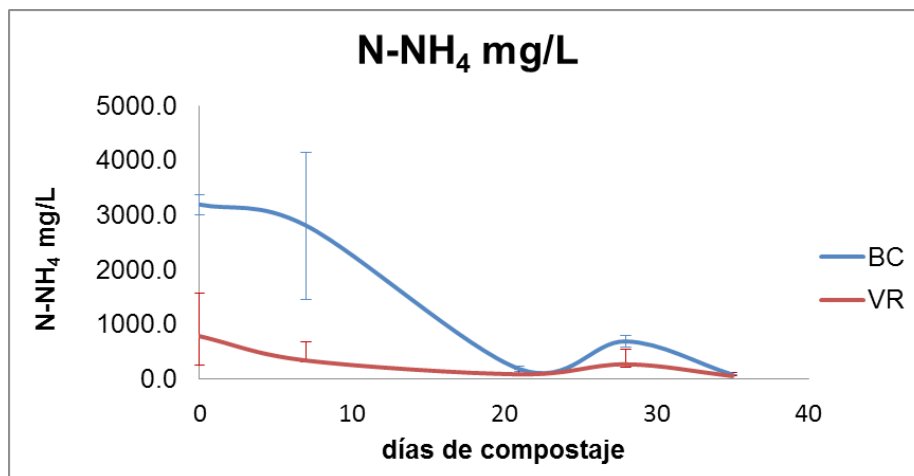


Figura 3. Cambios del contenido de nitrógeno como amonio durante el proceso de compostaje

Al inicio del compostaje de BC y VR las concentraciones de nitratos fueron de 3,98 y < 1 mg N-NO₃/L respectivamente, esto debido a que los nitratos están ausentes en la fase termofílica, las altas temperaturas y excesivas concentraciones de amonio inhiben las bacterias nitrificantes (Morisaki *et al.*, 1989, Huang *et al.*, 2004). A partir del día siete, en el material de BC se inicia la producción de nitratos alcanzando valores de 581,60 mg N-NO₃/L, después del día 30, debido

a la oxidación del nitrógeno amoniacal en exceso, favorecido por la gran aireación de la pila (densidad 393,95 – 450,00 kg/m³), en el caso de VR los valores bajos de nitrógeno amoniacal generaron bajas concentraciones de nitratos (51,50 mg N-NO₃/L) después del día 30, como se observa en la figura 4. La gran concentración de nitratos en BC puede ser removido por procesos de riego, reduciendo la concentración del nitrógeno después del día 70 como se reflejó en la figura 2.

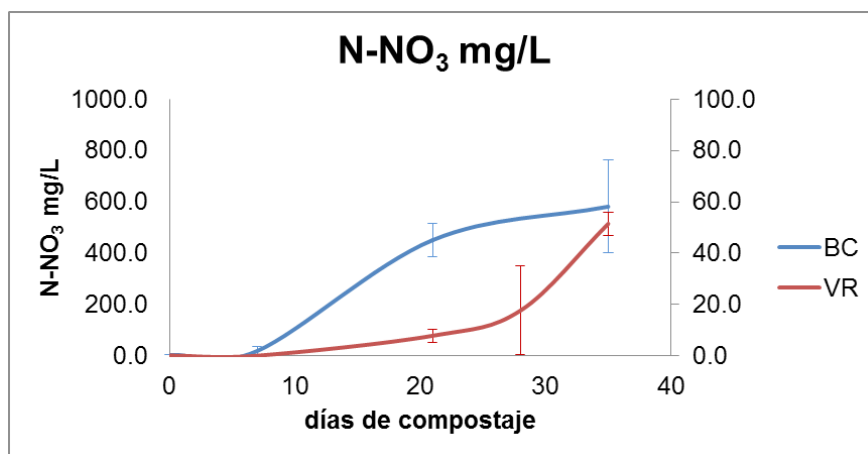


Figura 4. Cambios del contenido de nitrógeno como nitrato durante el proceso de compostaje

DISCUSIÓN

Temperatura, pH y conductividad eléctrica

En el proceso de compostaje de BC y VR se observa que la temperatura alcanza valores máximos de 65,10 y 49,60 °C durante los primeros días, esto nos indica que el proceso de degradación en ambos casos se lleva a cabo aun cuando las relaciones de C/N para ambas muestras es baja, 18,70 y 14,80 respectivamente. El pH en el compostaje de BC y VR presenta un comportamiento regulado por la formación y volatilización del $N-NH_4$ así como por la formación de ácidos grasos de cadena corta, en ambos casos el valor final del pH estuvo entre 7,50 y 8,50. La conductividad eléctrica del material compostado no superan los 5 uS/cm, este valor se encuentra influenciado por la formación del $N-NH_4$ en el inicio del proceso, así como la precipitación y disolución de sales de nitratos y carbonatos después de la fase termofílica. Tanto el pH como la conductividad eléctrica para el producto compostado de BC y VR presentan valores que cumplen con lo sugerido por O-NORM S 2022 para calidad de compost.

Cambios en las especies de nitrógeno durante el proceso de compostaje

En el compostaje de BC, la degradación de la materia orgánica en los primeros

días libera grandes concentraciones de dióxido de carbono que reduce la concentración de carbono e incrementan el porcentaje de nitrógeno, disminuyendo la relación C/N en los 30 primeros días. El nitrógeno orgánico en exceso formado por proteínas, aminoácidos entre otros son convertidos en nitrógeno amoniacal que es liberado al aire como amoniaco en la fase termofílica similar a lo observado por Jian *et al.* (2017), también es oxidado después del día 14 a nitrógeno como nitrato en la fase mesofílica, estas sales y productos degradados del nitrógeno con el riego del material a compostar son lavados de la matriz reduciendo la concentración de nitrógeno en el material, por lo que la relación C/N se incrementa después del segundo mes, adicionalmente, la cascarilla de arroz (rico en carbono) componente importante en BC es de difícil degradación quedando como componente principal en el material compostado. En el compostaje de VR a diferencia de BC el material orgánico es fácilmente degradable por lo que relación C/N después del segundo mes sigue disminuyendo por liberación al aire del carbono como dióxido de carbono y fijación del nitrógeno en la matriz del material compostado y la incorporación dentro de los microorganismos del material.

CONCLUSIONES

En el compostaje de BC, el nitrógeno total es degradado a $N-NH_4$ debido al exceso de nitrógeno relación C/N de 18,70, liberando amoniaco. El $N-NH_4$ es oxidado en la fase de enfriamiento a

N-NO₃. Las especies nitrogenadas de N-NH₄ y N-NO₃ así como los productos degradados del nitrógeno orgánico solubles en el agua, son liberadas de la matriz de compost debido al riego y a la poca capacidad de retención de agua del material que queda después del tratamiento formado principalmente por cascarilla de arroz. El tratamiento de BC no produce compost de buena calidad en comparación con el producido con VR debido a que no tiene buena capacidad de retención de agua y a la no degradación de la cascarilla de arroz.

REFERENCIAS

- Alexander, M. (1977). *Introduction to soil microbiology*. 2 ed. New York: John Wiley.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A. y Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresour Technol.*, (100), 5444–5453. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.11.027
- Bertoldi, M., Vallini, G. y Pera, A. (1983). The biology of composting: a review. *Waste Manage. Res.* (1), 157–176. [https://doi.org/10.1016/0734-242X\(83\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0734-242X(83)90055-1).
- BGBI.II 292-2001. (2001). Regulación: Ordenanza de compost. Austria.
- Binner, E., Méndez L. y Miyashiro V. (2011). *Gestión de residuos sólidos municipales en el Perú y en Austria: mitigación de impactos ambientales en el clima y el agua*. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina: Perú.
- Binner, E. (2017). *13° Curso Internacional de Compostaje “Fundamentos, Operación y Diseño de Planta de Compostaje”*. Calidad y monitoreo del compost. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Bishop, P. L. y Godfrey, C. (1983). Nitrogen transformations during sludge composting. *Biocycle*, (24), 34–39.
- Chen, Y. X., Huang, X. D., Han, Z. Y., Huang, X., Hu, B., Shi, D. Z. y Wu, W. X. (2010). Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. *Chemosphere*, (78), 1177– 1181. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.12.029
- Echeverría, M. A. y López, O. A. (2010). *Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica*. Quito Ecuador.
- Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T. y Nagar, B. B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, 24(8), 805-813. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011>
- Itävaara, M., Vikman, M. y Venelampi, O. (1997). Windrow composting of biodegradable packaging materials. *Compost science & utilization*,

- 5(2), 84-92. DOI: 10.1080/10-65657X.1997.10701877
- Jiang, J., Kang, K., Chen, D. y Liu, N. (2017). Impacts of delayed addition of N-rich and acidic substrates on nitrogen loss and compost quality during pig manure composting. *Waste Management, 0*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.025>
- Jiang, J., Liu, X., Huang, Y. y Huang, H. (2015). Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Management, 39*, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.025>
- León, P. (2015). *Manejo y cuidado del caballo*. Servicio de Formación Agraria e Iniciativas. Junta de Castilla y León.
- Li, R. H., Wang, J.J., Zhang, Z.Q., Shen, F., Zhang, G.J., Qin, R., Li, X.L., Xiao, R. (2012). Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite. *Bioresour. Technol.* 121, 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.065>
- Liebig, J. (1853). Carta VII. Torres R. *Nuevas cartas sobre la Química considerada en sus aplicaciones a la industria, a la fisiología y a la agricultura*, 153. Imprenta de Don Agustín Espinosa y Compañía. Madrid – España.
- Morisaki, N., Phae, C. G., Nakasaki, K., Shoda, M. (1989). Nitrogen transformation during thermophilic composting. *J. Ferment. Bioeng.* 67, 57–61. [https://doi.org/10.1016/0922-338X\(89\)90087-1](https://doi.org/10.1016/0922-338X(89)90087-1)
- Prochnow, L. I., Kiehl, J. C., Pismel, F. S. y Corrente, J. E. (1995). Controlling ammonia losses during manure composting with the addition of phosphogypsum and simple superphosphate. *Scientia Agricola, 52*(2), 346-349. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161995000200024>
- Rynk, R. (1992). On-Farm Composting Handbook. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 77*, 132. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5834.2012.00684.x>
- Valverde G.A., Sarria L. B. y Monteagudo Y. J. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica, (37)*, 6. Recuperado a partir de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/4055/2213>
- Wheeler, E. y Zajaczkowski, J. S. (2009). Horse Stable Manure Management. *Horse Facilities 3*. College of Agricultural Sciences Agricultural Research and Cooperative extensión. The Pennsylvania State University. Recuperado a partir de <http://extension.psu.edu/publications/ub035/view>
- Wong, J.W.C., Li, S.W.Y. y Wong, M.H. (1995). Coal fly ash as a composting material for sewage sludge: Effects on microbial activities. *Environ. Technol.*, 16, 527–537. <https://doi.org/10.1080/09593331608616294>