



Original

Compostaje a escala de granja: Inactivación inferida ante algunos patógenos aviaries

Farm-Scale Composting: Inferred Inactivation to Some Avian Pathogens

Magdiel Torres Villar *, Yandy Abreu Jorge,**, Beatriz Delgado-Hernández **, Damarys de las Nieves Montano Valle **, Pastor Alfonso Zamora **, Teresita de Jesús Quesada ***

*Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Agraria de La Habana.

**Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA)

***Centro Nacional de Sanidad Animal (CENASA)

Correspondencia: magdietv17@gmail.com

Recibido: Noviembre, 2025; Aceptado: Noviembre, 2025; Publicado: Enero, 2026.

RESUMEN

Antecedentes: La avicultura global genera grandes volúmenes de residuos orgánicos, cuya gestión segura es crucial, especialmente ante brotes de enfermedades. El compostaje surge como una tecnología de economía circular para la valorización de la yacija, siendo la temperatura factor clave para la inactivación de patógenos. **Objetivo.** Estimar la efectividad del compostaje a escala de granja para inactivar algunos patógenos aviaries, mediante la comparación de la termorresistencia reportada en la literatura con la cinética de temperatura observada en pilas de gran volumen. **Materiales y Métodos:** Se monitoreó la temperatura en dos pilas de compost (32 300m³ cada una) de yacija de cáscara de arroz de patos, durante las primeras 240 horas. La temperatura se midió en la base, nivel intermedio y cima. La inactivación se infirió para nueve patógenos (virus, bacterias, parásitos) contrastando la cinética térmica medida con los umbrales de termorresistencia reportados. El análisis de datos incluyó estadística descriptiva y Análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM). **Resultados:** La temperatura media en el nivel intermedio fue significativamente mayor (60-68°C) que en la base y cima (38-47°C). La temperatura media de las pilas superó los 50°C de manera sostenida durante las primeras 144 horas. El AFDM reveló un gradiente térmico espacial, asociando la posición intermedia con las temperaturas más altas y estables. **Conclusiones:** La cinética de temperatura en grandes pilas de compostaje permite inferir una inactivación consistente de los patógenos aviaries. Los resultados evidencian la heterogeneidad espacial de la temperatura y sugieren momentos oportunos para el volteo, optimizando el proceso y la bioseguridad.

Palabras clave: inactivación, saneamiento, patógenos, valorización, yacija (Fuente: AGROVOC)

Como citar (APA) Torres Villar, M., Abreu Jorge, Y., Delgado-Hernández, B., Montano Valle, D. de las N., Alfonso Zamora, P., & Quesada, T. de J. (2025). Compostaje a escala de granja: Inactivación inferida ante algunos patógenos aviaries. *Revista de Producción Animal*, 37. <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e280>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

ABSTRACT

Background: Global poultry production generates large volumes of organic waste, the safe management of which is crucial, especially during disease outbreaks. Composting emerges as a circular economy technology for litter valorization, with temperature being a key factor in the pathogen inactivation. **Objective.** To estimate the effectiveness of farm-scale composting in inactivating some avian pathogens, by comparing the thermoresistance reported in the literature with the kinetics temperature observed in large-volume piles. **Materials and Methods:** Temperature was monitored in two compost pile (32,300 m³ each) of rice husk litter from ducks for the first 144 hours. Temperature was measured at the base, middle, level, and top. Inactivation was inferred for nine pathogens (viruses, bacteria, parasites) by contrasting the measured thermal kinetics with reported thermoresistance thresholds. Data analysis included descriptive statistics and Multiple Factor Analysis (MFA). **Results:** The average temperature at the middle level was significantly higher (60-68°C) than at the base and top (38-47°C). The average pile temperature exceeded 50°C steadily for over 144 hours. MFA revealed a spatial thermal gradient, associating the middle position with the highest and most stable temperatures. **Conclusions:** The temperature kinetics in large compost piles allow for the inference of consistent inactivation of avian pathogens. The results demonstrate the spatial heterogeneity of temperature and suggest optimal turning times to optimize the process and biosecurity.

Keywords: inactivation, sanitation, pathogens, valorization, litter (*Source: AGROVOC*)

INTRODUCCIÓN

La avicultura, dado su crecimiento sostenido, se encuentra entre los sectores más dinámicos de la ganadería, al tiempo que las proteínas que produce son de alto valor biológico y asequibilidad, con apenas restricciones culturales para su consumo y, por consiguiente, de alta contribución a la seguridad alimentaria mundial. Sin embargo, la intensificación de la producción en aras de satisfacer las demandas de consumo de la creciente población humana puede representar desafíos sanitarios y ambientales (Torres *et al.*, 2023).

En el ámbito mundial durante 2021, se produjeron más 31,5 miles de millones de toneladas (MMMT) de pollo fresco o congelado y sobre 12,4 MMMT de huevo (FAOSTAT, 2023). Tales volúmenes de producción implican generación cuantiosa de desechos orgánicos y necesidad de su manejo apropiado. Los desechos sólidos orgánicos constituyen una externalidad negativa a cuya internalización debe contribuir la agroindustria, especialmente en países con una importante producción de carne de pollo (Chiarelotto *et al.*, 2021).

La internalización de la yacija mediante compostaje y posterior uso agrícola puede representar diversos beneficios. La conversión de este desecho en abono le añade valor con beneficios para cultivos y la estructura de los suelos agrícolas (Kacprzak *et al.*, 2023). El uso del compostaje es de gran importancia para el manejo de desechos orgánicos en caso de brotes de enfermedad (Costa & Akdeniz, 2019; Wang & Akdeniz, 2023).

Ante enfermedades infecciosas epidémicas el compostaje resulta una alternativa segura y efectiva, incluso, para los cadáveres (Figueroa *et al.*, 2021). Sin embargo, tamaño de las pilas es un factor crítico con influencia en la temperatura, la variable más importante para la inactivación de patógenos durante el compostaje (Amuah *et al.*, 2022; Sokač *et al.*, 2022). Estudios recientes enfatizan la necesidad de validar bajo condiciones reales de granja la eficacia del proceso Li *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2022). El presente estudio tuvo el objetivo de estimar la efectividad del compostaje a escala de granja para inactivar algunos patógenos aviares mediante la comparación de la termorresistencia reportada en la literatura con la cinética de temperaturas observadas en pilas de gran volumen.

MATERIALES Y MÉTODOS

Composición de las pilas y ubicación del estudio

El estudio se realizó en una granja comercial de patos durante noviembre de 2018. Las pilas a compostar estuvieron conformadas por yacija de cáscara de arroz sobre la cual se mantuvieron patos desde el nacimiento hasta alcanzar entre 90 y 100 días de crianza. El compostaje se realizó dentro de las naves avícolas en dos pilas de 32 300 m³ de yacija cada una. Las pilas resultantes tuvieron aproximadamente 1,20 m de altura, 3 m de ancho en la base y 50 m de largo (Figura 1).

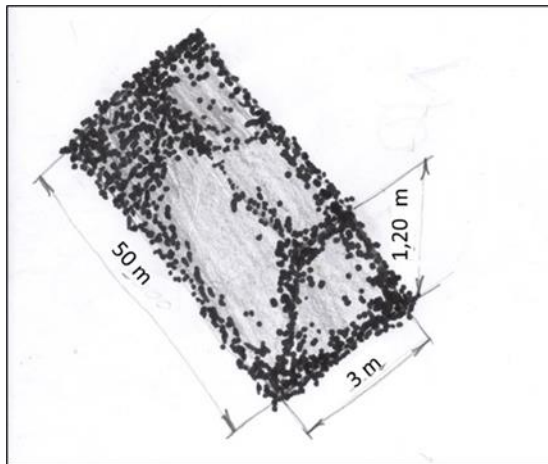


Figura 1. Esquema de las pilas de compost.

Para conformar las pilas, la yacija se roció progresivamente con agua por medio de una manguera, al tiempo que se homogenizaba y apilaba mediante palas. Como criterio subjetivo de humedad adecuada, regularmente se apretaban con la mano porciones de yacija hasta tanto se mantuvieran apelmazadas sin llegar a escurrir agua, siguiendo metodologías comúnmente reportadas (Li *et al.*, 2021). En caso de escurrimiento de agua se mezclaba con yacija sin humedecer hasta lograr la consistencia deseada. Una vez conformadas las pilas se cubrieron con polietileno y se dejaron en reposo (Figura 2).



Figura 2. Pila de compostaje.

Monitoreo de la temperatura y recolección de datos

A partir de las 24 horas post-conformación se midió la temperatura de la pila en varios puntos distribuidos en la base ($n = 12$), el nivel intermedio ($n = 24$) y la cima ($n = 12$). Las temperaturas se midieron en los diferentes puntos a una profundidad de 30 cm, mediante un termómetro de acero inoxidable de aguja (precisión $\pm 0.5^\circ\text{C}$). Las mediciones se realizaron cada 24 horas durante un período total de 240 horas (10 días).

Inferencia de inactivación de microorganismos

Se dedujo la inactivación por temperatura para nueve patógenos que incluyeron virus, (virus de la influenza aviar (IA); virus de la enfermedad de Newcastle (VEN); de la enfermedad infecciosa de la bolsa (EIB); del síndrome de la caída de la puesta (SCP); de la laringotraqueitis infecciosa (LTI); bacterias (*E. coli*; *Salmonella* spp) y parásitos (*Eimeria* spp y *Cryptosporidium parvum*). Para ello los niveles de termorresistencia en función del tiempo reportados por la literatura (principalmente de los últimos 5 años) se compararon con la cinética real de la temperatura alcanzada por las pilas de yacijas. Cuando para un mismo microorganismo se encontraron diferentes valores de termorresistencia se utilizó el mayor de ellos como punto de corte conservador para la inferencia de su inactivación.

Análisis Estadístico

Los datos de temperatura se procesaron mediante el lenguaje de programación R (R Core Team, 2023). Inicialmente, se realizó un análisis estadístico descriptivo (media, desviación estándar, rango) para cada posición (base, intermedio, cima) y para el promedio general de la pila. La visualización gráfica se realizó con el paquete ggplot2 v3.3.3 (Wickham, 2016). Para comparar las temperaturas medias entre las diferentes posiciones en la pila, se realizó un análisis de

varianza (ANOVA) de una vía, seguido de una prueba post-hoc de Tukey ($\alpha=0.05$) para identificar diferencias significativas entre pares de grupos, utilizando el paquete stats de R.

Para identificar patrones subyacentes en la dinámica térmica del compostaje, considerando la estructura mixta de los datos (variables continuas: temperatura, tiempo; variables categóricas: posición en la pila, pila número), se implementó un Análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM) utilizando los paquetes FactoMineR y factoextra en RStudio 4.5.0. El análisis preservó la naturaleza mixta de los datos mediante la estandarización de las variables continuas y la codificación de factores categóricos como indicadores de modalidades. Los patrones espaciotemporales emergentes se interpretaron mediante: 1) correlaciones factoriales ($(> |0.6|)$) entre variables y dimensiones latentes, y 2) proyección de observaciones en planos factoriales, considerando contribuciones relativas a la inercia total. El agrupamiento de las observaciones se realizó mediante el algoritmo de k-medias sobre las coordenadas factoriales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica de temperaturas

Las temperaturas medias para cualquier nivel de las pilas (Figura 3) siempre superaron los 40 °C con valores significativamente superiores ($p < 0.05$, prueba de Tukey) en el nivel intermedio. Sin embargo, el rango inferior de variabilidad alcanzó 30 °C en los casos más bajos, principalmente en la base y la cima. Las temperaturas alcanzadas estuvieron en el rango de las termofílicas y se correspondieron con las referidas en estudios similares (Biswas *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2023). La heterogeneidad observada concuerda con lo reportado por Ma *et al.* (2022), quienes destacan la importancia del manejo para homogeneizar las condiciones.

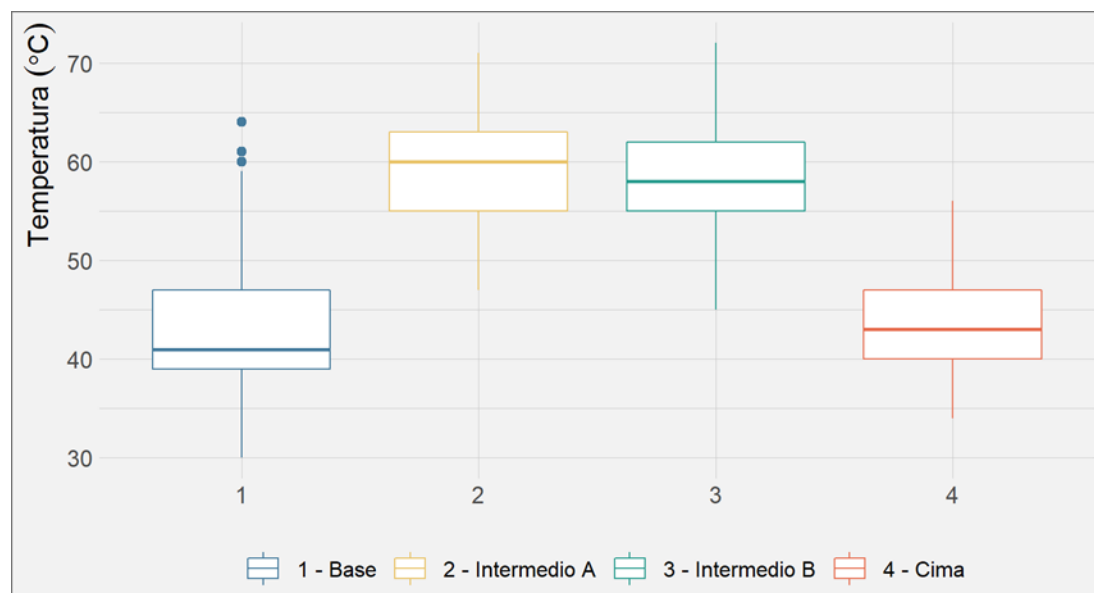


Figura 31. Valores medios y dispersión de las temperaturas en diversos niveles de las pilas de compostaje.

La altura de pila influye en la temperatura del proceso (Vaddella *et al.*, 2018; Amuah *et al.*, 2022) y como alternativa para lograr mayores tenores de los observados, pudiera realizarse volteo de la pila e incluso, rociado con agua que se conoce promueven aumento de la temperatura (Li *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2022, Manga *et al.*, 2023). Estudios realizados por Torres *et al.* (2023) sugieren evaluar la altura de la pila (Figura 4), ya que no siempre se aprecia homogeneidad de las temperaturas en todas las dimensiones de la pila y podría afectar la inactivación de los patógenos en algunos puntos. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Paterlini *et al.* (2017), quienes encontraron diferencias en cuanto a los tiempos de temperaturas termofílicas en los laterales y en la cima de las pilas de compostaje de residuos avícolas.

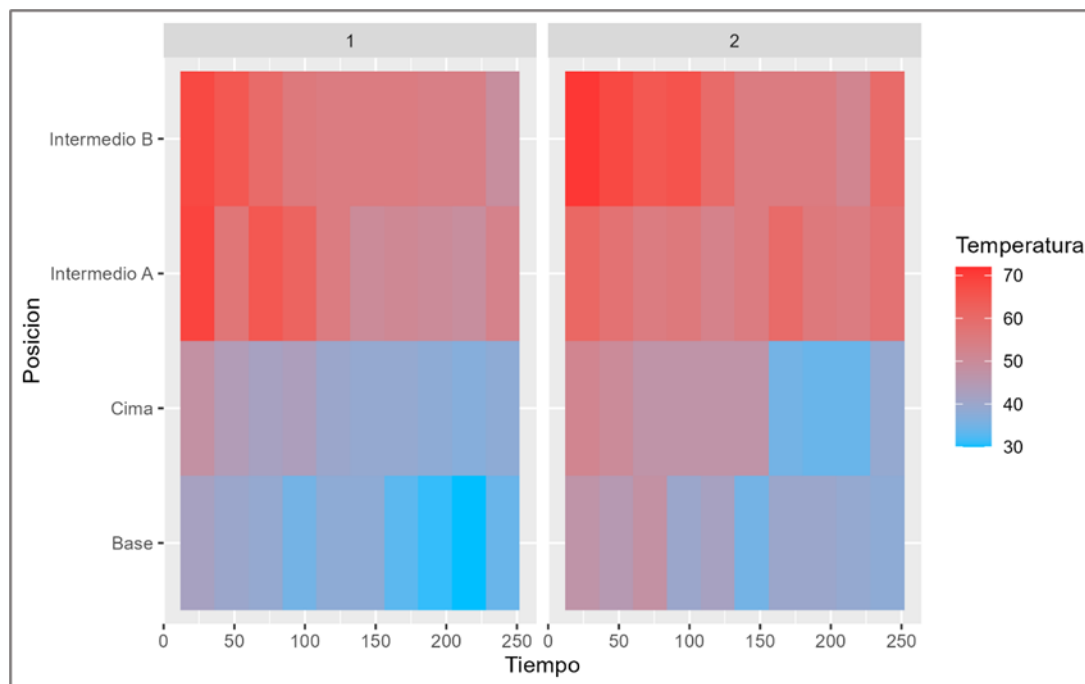


Figura 4. Análisis espacio-temporal del comportamiento de la temperatura en cada pila de compostaje.

Análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM)

En el AFDM se identificó las dimensiones de mayor contribución a la varianza de los datos, siendo mayor la dimensión 1 con el 37, 7% de la variabilidad total de los datos, mientras que las dimensiones 2, 3 y 4 tuvieron la misma contribución en un 20% en cada caso (Anexo 1). En las dimensiones (espacio factorial) 1 y 3 se evidenció la influencia de las variables cuantitativas continuas (tiempo y temperatura) que más contribuyeron a la formación de dicho espacio (Figura 5). Los caracteres cualitativos ordinales que más aportaron al primer factor fue la Posición en la pila, mientras que la Pila en si no tiene influencia sobre los datos, lo que indica una buena replicabilidad del proceso entre las dos pilas.

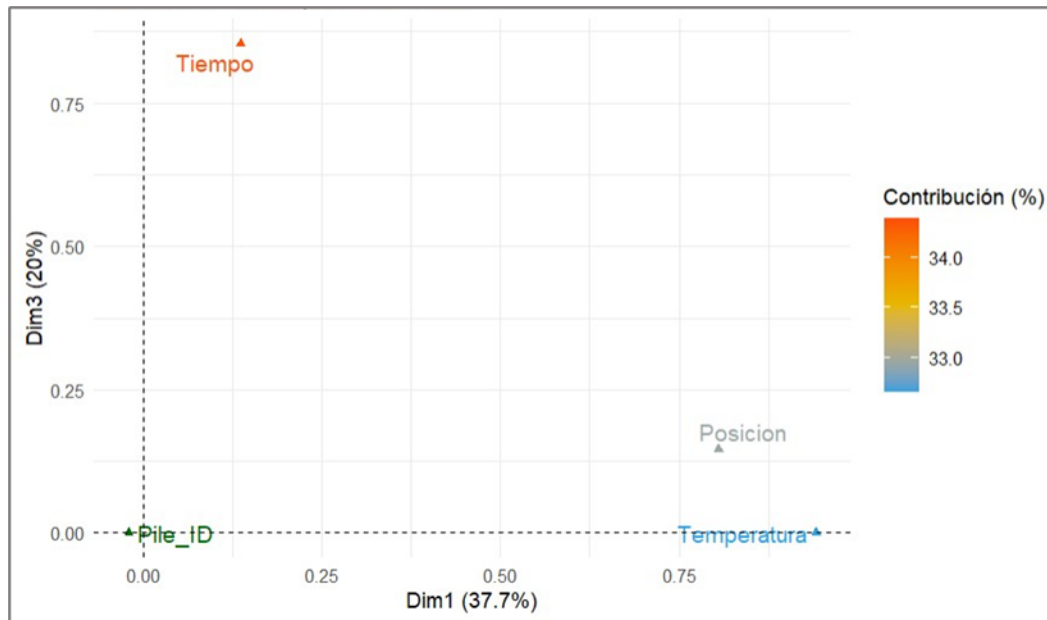


Figura 5. Análisis de las variables con contribución a la varianza de los datos en el espacio factorial.

La Dimensión 1 se asocia a un gradiente térmico: temperaturas altas vinculadas a la posición (Intermedia A y B). La Dimensión 3 captura variabilidad temporal, con tiempos mayores asociados a la posición (Base y Cima). Esto sugiere que la posición intermedia alcanza temperaturas críticas para inactivación viral más rápido y estables, que las posiciones de la base y cima (Figura 6), un hallazgo consistente con la microaerofilia del proceso de compostaje reportada por Ge *et al.* (2020).

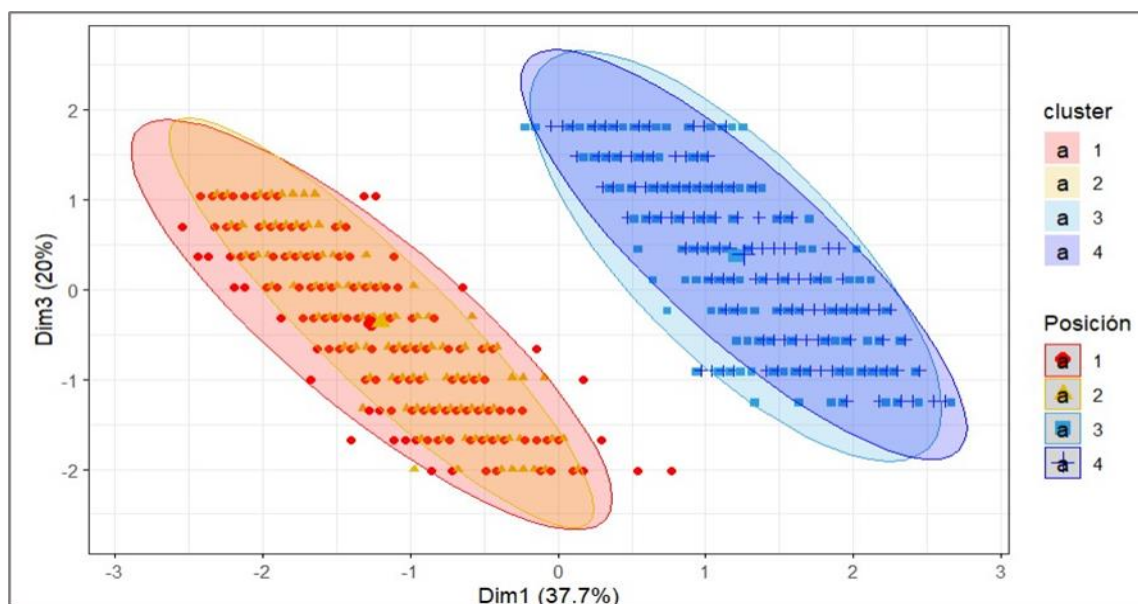


Figura 6. Análisis de clústeres en dimensiones AFDM.

Un patrón de heterogeneidad espacial se evidenció con la conformación de cuatro clusters (Figura 6) referentes a la posición de la toma de la temperatura en las pilas de compost. Se ratifica el comportamiento similar entre las muestras tomadas (Base – Cima e Intermedio A -B). Para posiciones con altas temperaturas (Intermedio A-B) pudiera estar asociado a una mayor estabilidad térmica y menor fluctuación diaria, consistente para la inactivación del virus. Sin embargo, zonas de bajas temperaturas como las registradas en (Base-Cima), pudieran reflejar una inactivación viral lenta, con requerimiento de mayor tiempo de exposición para compensar la temperatura subóptima, lo que refuerza la necesidad del volteo como práctica de manejo (Ngwabie *et al.*, 2022).

Inferencia de la inactivación de patógenos

En el presente estudio, la temperatura media se mantuvo por encima de 50 °C de forma sostenida por 144 horas (Figura 7). A pesar de la variabilidad observada en las temperaturas es de esperarse inactivación de diversos patógenos en correspondencia a los niveles de resistencia reportados en la literatura (tabla 1). Es de destacarse que, los tiempos máximos de resistencia a la temperatura que se reportan suelen ser menores de dos horas; periodo mucho menor que aquel en que la temperatura de las pilas superó 50 °C.

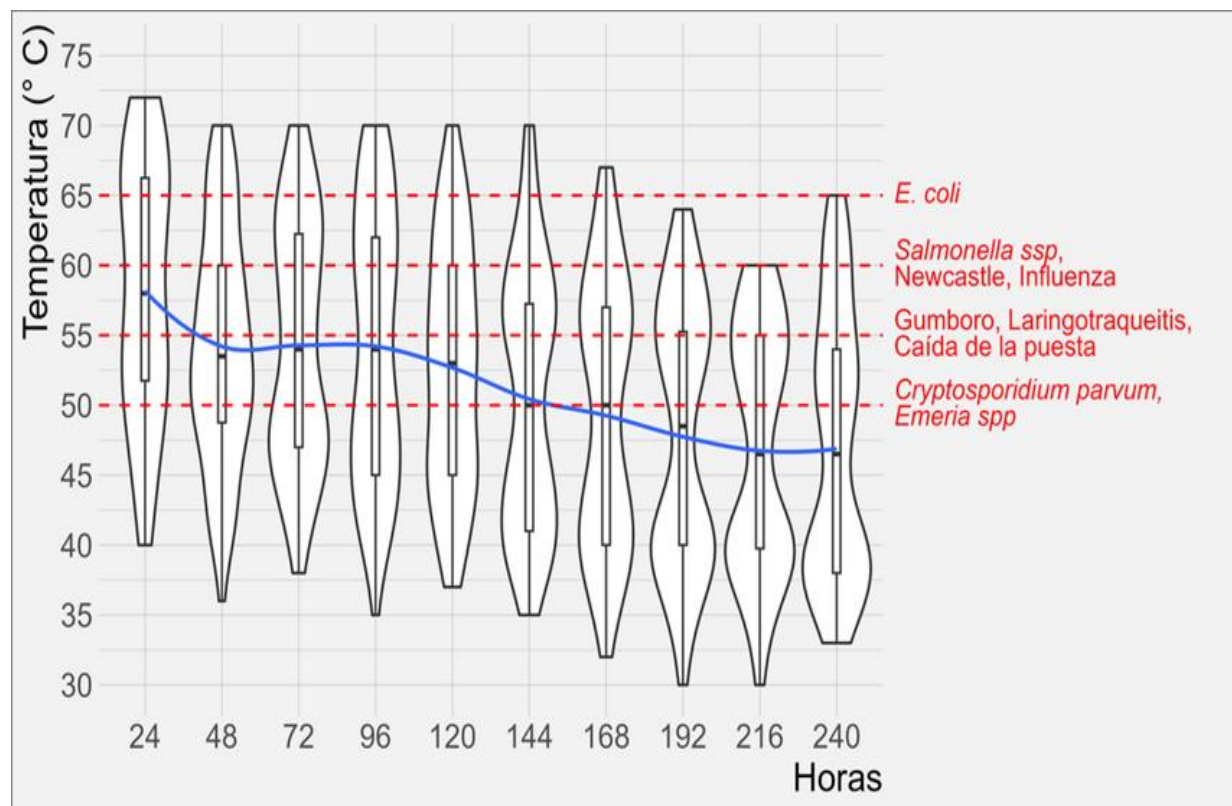


Figura 7. Expectativa de inactivación de patógenos aviares de preocupación en correspondencia con la termorresistencia reportada en la literatura y la cinética de temperatura de la pila de compostaje.

Tabla 1. Termorresistencia de algunos patógenos aviares según la literatura.

Microorganismo	Termorresistencia (°C)	Tiempo	Fuente
Virus influenza aviar	56-60	30 minutos	(Hessling <i>et al.</i> , 2022; OMSA, 2023).
Virus de la enfermedad infecciosa de la bolsa o Gumboro	≥ 55	2h	(Rani & Kumar, 2015).
Virus de la enfermedad de Newcastle	50	30 minutos	(Ruan <i>et al.</i> , 2020).
<i>E. coli</i>	65	1h	(Biswas <i>et al.</i> , 2019).
<i>Salmonella</i> spp	60	1h	(Biswas <i>et al.</i> , 2019).
<i>Eimeria</i> spp	55	1h	(Schneiders <i>et al.</i> , 2020).
Virus de la laringotraqueitis infecciosa	55	15 minutos	(Gowthaman <i>et al.</i> , 2020).
Virus del síndrome de caída de la puesta	≥56	≥40 minutos 3h	(Suresh <i>et al.</i> , 2013; Smyth, 2022).
<i>Cryptosporidium parvum</i>	50		Xiao <i>et al.</i> , 2022.

La inferencia de inactivación realizada fue consistente con diversos reportes para VEN y VIA (Costa and Akdeniz, 2019; Ruan *et al.*, 2020; Figueroa *et al.*, 2021), así como otros agentes (Elving *et al.*, 2012), incluso, a menor temperatura. Similarmente ocurrió con la inferencia de inactivación del virus de la EIB (Crespo *et al.*, 2016) y de los virus de la LTI y del SCP (Giambrone, Fagbohun y Macklin, 2008). En cuanto a los parásitos seleccionados la inactivación de ooquistes se alcanza a los 55 °C (Schneiders *et al.*, 2020) por lo cual pudieran ser eliminados.

Diferencias entre las metodologías para demostrar viabilidad de patógenos bajo compostaje dificultan conocer el tiempo mínimo en el cual la inactivación ocurre. Por ejemplo, para verificar inactivación frente a algunos patógenos bacterianos se espera transcurran 20 días bajo temperaturas superiores a 55 °C (Asses *et al.*, 2019), mientras ocurre en solo una hora (Biswas *et al.*, 2019). No obstante, existen reportes de supervivencia de *Salmonella* spp. entre 68 °C y 70 °C (Barrena *et al.*, 2009). Tales diferencias evidencian la necesidad de métodos normalizados para verificar la inactivación de patógenos en compostaje, así como de la disponibilidad de variables subrogadas o la modelación para su inferencia basada en la relación tiempo temperatura, como la abordada en este estudio.

La efectividad del compostaje puede verse afectada por diversas variables fisicoquímicas (Ge *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2023). El volteo de las pilas con determinada frecuencia favorece la eficiencia del compostaje debido a la aireación (Ngwabie *et al.*, 2022). La decisión de voltear una pila cuando todavía pudiese contener microorganismos viables, además de fuerza de trabajo, debe considerar aspectos de bioseguridad para prevenir la diseminación del patógeno involucrado y contaminación de nuevos sitios. Asimismo, ante patógenos con niveles medios de termorresistencia se pudiera optar por dejar la pila en reposo. Se trata de una decisión basada en riesgo a partir del monitoreo de la temperatura de la pila.

El tamaño de las pilas como otro factor crítico (Amuah *et al.*, 2022; Sokač *et al.*, 2022) puede comprometer tanto el tenor como la homogeneidad de las temperaturas (Asses *et al.*, 2019; Miller, Miknis y Flory, 2020) y, en consecuencia, la efectividad de la inactivación de agentes biológicos. Por estas razones el presente estudio añade conocimiento sobre los métodos para la disposición segura de desechos orgánicos de la crianza, incluso, en caso de brotes de enfermedades infecciosas, a pesar de la limitación de ser inferida la inactivación.

CONCLUSIÓN

La cinética de la temperatura en grandes pilas de yacija de cáscara de arroz mostró una fase termofílica sostenida ($>50^{\circ}\text{C}$ durante las primeras 144 horas), suficiente para inferir la inactivación de los principales patógenos aviares estudiados, de acuerdo con los umbrales de termorresistencia reportados en la literatura.

Se evidenció una marcada heterogeneidad espacial en la temperatura, con el nivel intermedio de las pilas alcanzando valores significativamente más altos ($60\text{-}68^{\circ}\text{C}$) y estables que la base y la cima ($38\text{-}47^{\circ}\text{C}$).

El análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM) permitió identificar y caracterizar los gradientes espaciotemporales de temperatura, proporcionando una base objetiva para determinar momentos oportunos para el volteo, con el fin de homogeneizar la pila, favorecer la aireación y garantizar la bioseguridad del proceso.

REFERENCIAS

- Amuah, E.E.Y., Fei-Baffoe, B., Sackey, L.N.A., Douti, N.B. & Kazapoe, R.W. (2022). A review of the principles of composting: understanding the processes, methods, merits, and demerits. *Organic Agriculture*, 12(4), 547-562. <https://doi.org/10.1007/s13165-022-00408-z>
- Asses, N., Farhat, W., Hamdi, M. & Bouallagui, H. (2019). Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste: Microbial removal and agricultural biofertilizer application. *Process Safety and Environmental Protection*, 124, 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.004>
- Barrena, R., Artola, A., Vázquez, F. & Sánchez, A. (2009). The use of composting for the treatment of animal by-products: Experiments at lab scale. *Journal Hazardous Materials*, 161(1), 380-386. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.109>
- Biswas, S., Nazmi, A., Pitesky, M., Gallardo, R. & Pandey, P. (2019). Thermal Inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella Typhimurium* in Poultry Carcass and Litter at

- Thermophilic Temperatures. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2), 307-317. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy072>
- Chiarelotto, M., Restrepo, J.C.P.S., Lorin, H.E.F. & Damaceno, F.M. (2021). Composting organic waste from the broiler production chain: A perspective for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 329(20), 129717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129717>
- Costa, T. & Akdeniz, N. (2019). A review of the animal disease outbreaks and biosecure animal mortality composting systems. *Waste Management*, 90, 121-131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.047>
- Crespo, R., Badcoe, L.M., Williams, C. & Bary, A.I. (2016). Inactivation of Infectious Bursal Disease Virus Through Composting of Litter from Poultry Houses. *Avian Disease*, 60(2), 506-510. <https://doi.org/10.1637/11341-120615-ResNote>
- Elving, J., Emmoth, E., Albiñ, A., Vinneras, B. & Ottosona, J. (2012). Composting for avian influenza virus elimination. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(9), 3280-3285. <https://doi.org/10.1128/AEM.07947-11>
- Figueroa, A., Derksen, T., Biswas, S., Nazmi, A., Rejmanek, D., Crossley, B., Pandey, P. & Gallardo, R.A. (2021). Persistence of low and highly pathogenic avian influenza virus in reused poultry litter, effects of litter amendment use, and composting temperatures. *Journal of Applied Poultry Research*, 30(1), 100096. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.09.011>
- Ge, M., Zhou, H., Shen, Y., Meng, H., Li, R., Zhou, J., Cheng, H., Zhang, X., Ding, J., Wang, J. & Wang, J. (2020). Effect of aeration rates on enzymatic activity and bacterial community succession during cattle manure composting. *Bioresource Technology*, 304, 122928. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122928>
- Giambrone, J.J., Fagbohun, O. & Macklin, K.S. (2008). Management Practices to Reduce Infectious Laryngotracheitis Virus in Poultry Litter. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(1), 64-68. <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00017>
- Gowthaman, V., Kumar, S., Koul, M., Dave, U., Murthy, T. R. G. K., Munuswamy, P., Tiwari, R., Karthik, K., Dhama, K., Michalak, I., & Joshi, S. K. (2020). Infectious Laryngotracheitis: Etiology, epidemiology, pathobiology, and advances in diagnosis and control- a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, 40(1), 140-161. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1759845>
- Hessling, M., Fehler, N., Gierke, A.M., Sicks, B. & Vatter, P. (2022). Heat Inactivation of Influenza Viruses—Analysis of Published Data and Estimations for Required Decimal

- Reduction Times for Different Temperatures and Media. *Microbiology Research*, 13(4), 853-871. <https://doi.org/10.3390/microbiolres13040060>
- Kacprzak, M., Malinska, K., Grosser, A., Sobik-Szolysek, J., Wystalska, K., Drózd, D., Jasińska, A. & Meers, E. (2023). Cycles of carbon, nitrogen and phosphorus in poultry manure management technologies – environmental aspects. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(8), 914-938. <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2096983>
- Li, M.-X., He, X.-S., Tang, J., Li, X., Zhao, R., Tao, Y.-Q., Wang, C. & Qiu, Z.P. (2021). Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting. *Chemosphere*, 264(2), 128549. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128549>
- Ma, Q., Li, Y., Xue, J., Cheng, D. & Li, Z. (2022). Effects of Turning Frequency on Ammonia Emission during the Composting of Chicken Manure and Soybean Straw. *Molecules*, 27(2), 472. <https://doi.org/10.3390/molecules27020472>
- Manga, M., Muoghalu, C., Camargo-Valero, M.A. & Evans, B.E. (2023). Effect of Turning Frequency on the Survival of Fecal Indicator Microorganisms during Aerobic Composting of Fecal Sludge with Sawdust. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2668. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032668>
- Miller, L.P., Miknis, R.A. & Flory, G.A. (2020). Carcass management guidelines – Effective disposal of animal carcasses and contaminated materials on small to medium-sized farms. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 23. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb2464en>
- Ngwabie, N.M., Tiku, T.D., Yengong, L.F. & Manga, E.V. (2022). Effect of Wood shavings on the Temperature Profile of Livestock Waste during Composting with Daily Turning. *CIGR Journal*, 24(2), 25-35. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7433/3849>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/>
- Organización Mundial de Salud Animal. Código sanitario de animales terrestres. (2023). https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/es_chapitre_avian_influenza_viruses.htm
- Paterlini, H., González, M.V. & Piconi, L, 2017. Comparación de técnicas para compostar cama de pollo. <https://www.suelos.org.ar/publicaciones/v35n2-html/vol35-n2-html/v35n2a17.htm>

- R Core Team., 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. <https://www.r-project.org/>.
- Rani, S. & Kumar, S. (2015). Evaluation of infectious bursal disease virus stability at different conditions of temperature and pH. *Biologicals*, 43(6), 515-518. <https://doi.org/10.1016/j.biologicals.2015.07.005>
- Ruan, B., Zhang, X., Zhang, C., Du, P., Meng, C., Guo, M., Wu, Y. & Cao, Y. (2020). Residues 315 and 369 in HN Protein Contribute to the Thermostability of Newcastle Disease Virus. *Frontiers in Microbiology*, 11, 560482. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560482>
- Schneiders, G. H., Foutz, J. C., Fuller, A. L., Nelson, J., Rekaya, R., & Aggrey, S. E. (2020). The Effect of Increased Temperatures on Viability, Morphology, Infectivity, and Development of Eimeria Tenella, *Journal of Parasitology*, 106(3), 428-437. <https://doi.org/10.1645/19-17>
- Sharma, P., Sharma, S., Singh, J., Singh, A. & Katnoria, J.K. (2023). Characterization of Tectona grandis leaf litter compost: an ecological approach for converting leaf litter waste into organic product using composting. *Biomass Conversion Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04309-3>
- Smyth J, A. (2022). Egg Drop Syndrome '76. Poultry - MSD Veterinary Manual. <https://www.msdsmanual.com/poultry/egg-drop-syndrome-76/egg-drop-syndrome-76>
- Sokac, T., Valinger, D., Benkovic, M., Jurina, T., Kljusuric, J.G., Redovnikovic, I.R. & Tušek, A.J. (2022). Application of Optimization and Modeling for the Composting Process Enhancement. *Processes*, 10(2), 229. <https://doi.org/10.3390/pr10020229>
- Suresh, P., Shoba, K. & Johnson Rajeswar, J. (2013). Physico – Chemical and biological characterization of egg drop syndrome – 1976 (Eds –'76) virus. *Indian Journal of Veterinary Sciences and Biotechnology*, 8(3), 64-66. <https://acspublisher.com/journals/index.php/ijvsbt/article/view/3183>
- Torres, M., Ochoa-Álvarez, N.A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., P., G.L. & Alfonso, P. (2023). Inactivación de patógenos en residuos avícolas mediante el compostaje. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(4), e24488. <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i4.24488>
- Vaddella, V., Pandey, P., Cao, W., Biswas, S., Chiu, C., Zheng, Y., Wu, T., Ghanem, N. & Buyuksonmez, F. (2018). Assessment of Pathogen Inactivation under Sub-composting Temperature in Lab-scale Compost Piles. *Journal of Food Research*, 7(3), 64-75. <https://doi.org/10.5539/jfr.v7n3p64>

Wang, Y. & Akdeniz, N. (2023). Co-composting poultry carcasses with wood-based, distillers' grain and cow manure biochar to increase core compost temperatures and reduce leachate's COD. *Waste Management*, 161, 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.02.024>

Wickham, H. ggplot2. (2016). <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-24277-4>

Xiao, D., Lyu, Z., Chen, S., Huo, Y., Fan, W. & Huo, M. (2022). Tracking *Cryptosporidium* in urban wastewater treatment plants in a cold region: Occurrence, species and infectivity. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 16(9), 112. <https://doi.org/10.1007/s11783-022-1533-8>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: PA, DMV, BDH, MTV; análisis e interpretación de los datos: YAJ, DMV, BDH, MTV, TJQ; redacción del artículo: MTV, DMV, BDH.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.