

IMPACTO DE DOS MÉTODOS DE FERMENTACIÓN DE CAMA AVÍCOLA SOBRE EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO-ECONÓMICO EN POLLOS DE ENGORDE

IMPACT OF TWO POULTRY LITTER FERMENTATION METHODS ON THE PRODUCTIVE AND ECONOMIC PERFORMANCE OF BROILER CHICKENS

Miguel Angel Apolinario Giraldo^{1a}, Hilario Noberto Pujada Abad^{1b}, Carlomagno Ronald Velasquez Vergarac^{1c} y Felix Esteban Airahuacho Bautista^{1d*}

^{1a} Departamento Académico de Zootecnia, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. C.P. 15136, Huacho, Lima, Perú
<https://orcid.org/0009-0001-0373-4347>

^{1b} Departamento Académico de Zootecnia, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. C.P. 15136, Huacho, Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4939-6774>

^{1c} Departamento Académico de Zootecnia, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. C.P. 15136, Huacho, Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-7707-4591>

^{1d} Departamento Académico de Zootecnia, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. C.P. 15136, Huacho, Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-7484-0449>

* Autor para correspondencia: fairahuacho@unjfsc.edu.pe

RESUMEN

La fermentación de la cama avícola es una práctica sanitaria que contribuye a eliminar patógenos residuales y a mejorar las condiciones higiénicas del ambiente de crianza, favoreciendo así la reducción de los costos de producción y el impacto ambiental. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de dos métodos de fermentación de la cama avícola en el rendimiento productivo y económico de pollos de engorde. Se compararon dos tratamientos: fermentación aeróbica (34.272 aves) y fermentación anaeróbica (36.288 aves). Se evaluaron peso vivo final, consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad, y las variables económicas: factor de eficiencia europeo (FEE) y el costo de producción. Los resultados muestran que la fermentación aeróbica fue mejor que la anaeróbica, con mayor peso corporal final (2,49 kg vs. 2,46 kg; $p<0,05$), similar consumo de alimento (3,57 kg vs. 3,53 kg; $p>0,05$), mejor eficiencia de conversión alimenticia (1,43 vs. 1,45; $p<0,05$), menor mortalidad (3,32% vs. 3,78%; $p<0,05$), menor FEE (482 vs. 466; $p<0,05$), y menor costo de producción por kg (S/ 0,011 vs S/ 0,014; $p<0,05$). La fermentación aeróbica de la cama avícola resultó técnica y económicamente más eficiente que la fermentación anaeróbica al mejorar el desempeño productivo y la rentabilidad en la crianza de pollos de engorde.

Palabras clave: Reúso, cama avícola, peso, consumo, conversión, costos, Perú.

ABSTRACT

Poultry litter fermentation is a sanitary practice that contributes to the elimination of residual pathogens and improves the hygienic conditions of the rearing environment, thereby helping to reduce production costs and environmental impact. The aim of this study was to evaluate the effect of two poultry litter fermentation methods on the productive and economic performance of broiler chickens. Two treatments were compared: aerobic fermentation (34,272 birds) and anaerobic fermentation (36,288 birds). The evaluated parameters included final live weight, feed intake, feed conversion ratio, and mortality, along with economic indicators such as the European Efficiency Factor (EEF) and production cost. The results indicate that aerobic fermentation had a better performance than anaerobic fermentation, with higher final body weight (2.49 kg vs. 2.46 kg; $p<0.05$), similar feed intake (3.57 kg vs. 3.53 kg; $p>0.05$), higher feed conversion efficiency (1.43 vs. 1.45; $p<0.05$), lower mortality (3.32% vs. 3.78%; $p<0.05$), lower FEE (482 vs. 466; $p<0.05$), and lower production cost per kg (S/ 0.011 vs S/ 0.014; $p<0.05$). In conclusion, aerobic fermentation of poultry litter proved to be technically and economically more efficient than anaerobic fermentation, by enhancing productive performance and profitability in broiler chicken farming.

Keywords: Reuse, poultry litter, weight, intake, conversion, costs, Peru.

INTRODUCCION

Uno de los principales desafíos de la producción avícola contemporánea radica en la creciente escasez de suministro de material para cama nueva, situación atribuida al incremento de la demanda global, la disponibilidad limitada de recursos naturales y la competencia por su uso en otros sectores industriales, incluido su aprovechamiento como fuente de energía (Bolan et al., 2010; Dornelas et al., 2023). Esta problemática afecta directamente a los productores, ya que materiales tradicionales como la viruta de madera, la pajilla de arroz y otros subproductos forestales, esenciales para garantizar el bienestar animal y la productividad, se han vuelto menos accesibles. La escasez de estos residuos, derivados de la industria maderera y agrícola, ha generado un aumento significativo en los costos operativos del sector avícola, al obligar a los productores a buscar alternativas más costosas o a reutilizar camas en condiciones subóptimas (Abougabal et al., 2019).

La reutilización de la cama o yacija a lo largo de múltiples ciclos productivos se ha posicionado como una estrategia clave en la avicultura moderna para enfrentar los desafíos de sostenibilidad (Keener, 2014; de Toledo et al., 2020; Saad et al., 2024). Este enfoque implica mantener el material de cama en los galpones en lugar de sustituirlo por uno nuevo, de mayor costo económico y ambiental, reduciendo no sólo los gastos operativos, sino que también contribuye a mitigar el impacto ecológico asociado con la generación y disposición de estos residuos (Abougabal et al., 2019; Han et al., 2022). Después de su utilización, la cama es muy apreciada por los agricultores como abono orgánico (Kelleher et al., 2002) y

representa un riesgo menor de transmisión de genes de resistencia a los antibióticos y bacterias entéricas de origen avícola al suelo y a los cultivos que la fertilización con cama cruda (Subirats et al., 2020).

Durante el período de vacío sanitario, intervalo entre la finalización de un ciclo de producción y el inicio del siguiente, la cama utilizada se somete a un proceso de fermentación para su posterior reúso. Esta acción es una medida de bioseguridad en la producción avícola, además de ser una práctica de gestión con impacto ambiental y económico (Silva, 2005) destinados a eliminar o inactivar microorganismos patógenos residuales, asegurando condiciones higiénicas para la siguiente crianza (Vaz et al., 2017; Bailey et al., 2022; Feddern et al., 2022). Además, la cama fermentada elimina la infestación de escarabajos *Alphitobius daperinus*, trasmisor del virus de Gumboro, Marek, Coronavirus y Newcastle, bacterias como *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Esatfilococos* y *Campylobacter* spp. (Smith et al., 2021) por efecto del incremento de amoniaco producto de la fermentación (Gehring et al., 2020). En el caso de bacterias del género *Salmonella*, son eliminadas eficazmente de las camas fermentadas a partir del sexto ciclo de reutilización (Roll et al., 2011), en el caso de *Salmonella enterica* subps. *enterica* serovar Heidelberg (S. Heidelberg) se elimina por exclusión competitiva (Bucher et al., 2020).

La cama debe cumplir con características esenciales, como alta capacidad de absorción, textura porosa y eficiente aislamiento térmico para garantizar el confort y la salud de las aves (Dunlop et al., 2016; Sigroha et al., 2017). En el Perú, los materiales más empleados para este fin son la viruta de madera, el serrín y la cascarilla de

arroz; no obstante, su disponibilidad es limitada y no satisface la demanda creciente de la industria avícola nacional.

Respecto al manejo de la cama entre ciclos productivos, los métodos de tratamiento previo al reciclaje más utilizados en pollos de engorde son la fermentación anaeróbica en hileras y la fermentación aeróbica en conos (Lopes et al., 2015). Sin embargo, persiste un vacío de evidencia científica que permita determinar cuál de estos métodos optimiza la calidad microbiológica y operativa de la cama reutilizada. En este contexto, con el fin de identificar prácticas sostenibles y económicamente viables para el sector, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de dos técnicas de fermentación de la cama avícola sobre el rendimiento productivo y económico en pollos de engorde.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se realizó en dos granjas comerciales de pollos de engorde, situadas en la región Lima, Perú. La primera, Granja Río Mar S.A.C., se encuentra en la provincia de Huaral (latitud: 11°21'34" S; longitud 77°28'33" O), a 101 m de altitud. La segunda, Granja Toshi S.A.C., está situada en la provincia de Huaura (latitud 10°56'47" S y longitud 77°31'38" O), a 402 m de altitud. La zona presenta una amplitud térmica anual entre 14 y 27 °C, la humedad relativa oscila del 67 al 92% y precipitaciones promedio de 1 mm /año (SENAMHI, 2025).

Características del área de crianza

Se utilizaron 40 galpones de 2.400 m² cada uno, con una densidad de 14 pollos/m², albergando hasta 33.600 aves por galpón al final del ciclo productivo. La alimentación se realizó mediante 800 comederos automáticos tipo sifón por galpón, con una proporción de un comedero por cada 43 aves. Para hidratación, se instalaron cuatro líneas de bebederos lineales con niples, totalizando 3.752 en total, con capacidad para 9 pollos por unidad. El consumo hídrico estimado fue de 30 m³ por galpón, basado en un promedio de consumo de 11 L por ciclo productivo. La iluminación se proporcionó mediante 70 luminarias LED de 36 watts, distribuidas uniformemente para garantizar una correcta intensidad lumínica.

Métodos de fermentación de la cama avícola

Método de fermentación aeróbica (en conos)

Una vez realizada la venta de los pollos, la cama fue triturada con un equipo mecánico (tritón) y posteriormente dispuesta en conos de 1,5 m de altura por 3 m de diámetro, moldeados

de manera circular y simétrica con palas, a fin de garantizar la uniformidad en la distribución del material (Fig. 1B). La formación de estos conos o montículos tuvo como propósito favorecer la aireación. Este proceso generó calor, lo que contribuyó a la inactivación de bacterias patógenas, virus y parásitos, a la disminución de la humedad y del contenido de amoníaco, así como al establecimiento de una microbiota benéfica capaz de inhibir el crecimiento de microorganismos nocivos mediante exclusión competitiva. La duración del procedimiento osciló entre 6 y 10 días, en función de las condiciones ambientales y del manejo aplicado.

Método de fermentación anaeróbica (en hileras)

La cama luego de ser triturada se distribuyó horizontalmente en el interior del galpón, formando dos hileras de 200 m de largo por 4 m de ancho y 0,20 m de espesor. Posteriormente, según el grado de humedad inicial, se aplicaron aproximadamente 1 a 1,5 L de agua por metro cuadrado, hasta alcanzar un contenido de humedad del 30 al 35%. Una vez humedecida, la cama se cubrió completamente con un plástico impermeable, sellando firmemente los bordes para evitar el ingreso de aire (Fig. 1A). Las condiciones anaeróbicas generadas favorecieron la actividad de bacterias estrictamente anaerobias implicadas en la descomposición de la materia orgánica y propiciaron la producción de ácidos orgánicos y gases, como dióxido de carbono, que crean un ambiente hostil para diversos patógenos, entre ellos *Salmonella* spp. La duración del proceso varió entre 7 y 14 días, dependiendo de las condiciones climáticas y de la calidad inicial de la cama.

Monitoreo de los niveles de amoniaco y temperatura

En ambos métodos de fermentación, a partir de las 24 horas, se inició un monitoreo sistemático de los niveles de amoniaco, que alcanzaron su pico máximo alrededor del día 5 (80 ppm) coincidiendo con el pico térmico de 68 °C. A partir del día 7, la concentración de amoniaco disminuyó progresivamente hasta alcanzar niveles entre 10 y 20 ppm al día 14, lo que evidenció la estabilización bioquímica del material. De forma paralela, la temperatura mostró un descenso gradual, estabilizándose entre 30 y 35 °C al finalizar el proceso.

Determinación de humedad y concentración de amoniaco

La humedad de la cama se evaluó en campo mediante la "prueba del puño". Para ello, se tomó un puñado de material y se comprimió



Fig. 1. Tipos de fermentación evaluados. Fermentación anaeróbica (hileras) (A) y aeróbica (conos) (B)
Fig. 1. Types of fermentation evaluated. Anaerobic fermentation (windrows) (A) and aerobic fermentation (cones) (B). Fuente: Granja Río Mar y Agro Toshi.

firmemente con la mano. La humedad se consideró adecuada (~35–4 %) cuando el material formó un grumo que se deshizo fácilmente al abrir la mano. Si el material no formó grumo y se desmoronó completamente, se clasificó como muy seco (<30%). En cambio, si el grumo permaneció compacto y rezumó agua o manchó la mano, se consideró excesivamente húmedo (>45–50%).

La concentración de amoníaco (NH_3) se determinó mediante tubos colorimétricos de lectura directa (Dräger®). Este sistema utiliza tubos de vidrio precalibrados que contienen un reactivo químico específico, el cual cambia de color al entrar en contacto con el amoníaco presente en el aire. Para cada medición, el tubo se acopló a una bomba manual de succión, que extrajo un volumen definido de aire (aproximadamente 100 mL por bombeo) desde el nivel de la cama, simulando la exposición real de las aves. Durante el paso del aire, el reactivo modificó su color en función de la concentración de amoníaco, formando una zona coloreada, cuya longitud se comparó con una escala graduada impresa en el tubo, expresada en partes por millón (ppm).

Población y muestra

Se evaluaron 204 ciclos productivos de pollos de engorde criados en camas reutilizadas con fermentación anaeróbica (en hileras) y 211 ciclos productivos en camas con fermentación aeróbica (tipo cono). En ambos sistemas se analizaron camas entre 1 y 20 reúses, según se especifica en la Tabla 1. Al término del ciclo productivo de 35 días, se realizó un muestreo sistemático del 0,5% de la población aviar por galpón, equivalente

a 168 aves por ciclo (cálculo basado en una población total de 33.600 aves/galpón). Esto permitió obtener: 34.272 aves criadas sobre camas con fermentación anaeróbica y 36.288 aves en fermentación aeróbica (216 ciclos \times 168 aves/ciclo).

Parámetros evaluados

Peso corporal: La medición se realizó semanalmente a las 14 horas. Para ello se empleó una balanza colgante digital (capacidad 30 kg), ubicada en cuatro puntos equidistantes del galpón. En cada punto, se seleccionaron grupos de 40 a 50 pollos, registrándose el peso en lotes de cinco aves por medición.

Consumo total (CT): Se utilizó una balanza con sensores en los soportes de los silos de alimento controlado. El consumo total (kg) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CT = \frac{\text{Consumo total alimento día (kg)}}{N^{\circ} \text{ total de aves}}$$

Conversión alimenticia (CA): Es la relación final entre el alimento consumido con el peso vivo total de las aves.

$$CA = \frac{\text{Total alimento consumido (kg)}}{\text{Peso vivo total aves (kg)}}$$

Mortalidad (%): Las aves muertas se registraron diariamente. El porcentaje de mortalidad se calculó de la siguiente manera:

$$\% = \frac{\text{Total de aves muertas durante campaña}}{\text{Total de aves ingresadas}} \times 100$$

Factor de Eficiencia Europeo (FEE): Mide la eficiencia del proceso. Relaciona el peso vivo final, la sobrevivencia y la conversión alimenticia:

Tabla 1. Frecuencia de reúsos de cama avícola y distribución de ciclos productivos (n = 420) según método de fermentación: anaeróbica vs aeróbica.

Table 1. Frequency of poultry litter reuse and distribution of production cycles (n = 420) according to fermentation method: anaerobic vs aerobic.

Fermentación cama anaeróbica		Fermentación cama aeróbica	
Reúso (n)	Ciclos productivos (n)	Reúso (n)	Ciclos productivos (n)
1	14	1	16
2	14	2	16
3	13	3	16
4	13	4	15
5	11	5	15
6	10	6	14
7	10	7	14
8	10	8	14
9	10	9	14
10	10	10	13
11	10	11	12
12	10	12	10
13	9	13	11
14	9	14	9
15	9	15	5
16	9	16	3
17	9	17	4
18	8	18	4
19	8	19	3
20	8	20	3

$$FEE = \frac{Viabilidad \times peso \ vivo}{Edad \ (días) \times CA} \times 100$$

Costo de fermentación (CF): Es el costo total del proceso fermentativo (S/) por ciclo productivo entre el total de kilogramos de pollos vivos producidos.

$$CF = \frac{Costo \ total \ del \ proceso \ de \ fermentación}{Total \ de \ kilogramos \ de \ pollos \ vivos \ producidos}$$

Análisis de los datos

Los datos fueron analizados con la prueba de Kruskal-Wallis a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, evaluando las diferencias entre medianas y sus respectivos rangos intercuartílicos. Los análisis estadísticos, así como las figuras, fueron realizados con el programa R (versión 4.4.1).

RESULTADOS

Peso corporal

El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) en el peso corporal, según el método de fermentación aplicado. Los lotes de camas tratadas con fermentación aeróbica registraron pesos superiores a partir del sexto

reúso de la cama, aunque se observó una fluctuación atípica entre la 15^{ava} y 17^{ava} reúso, donde se evidenció un patrón inverso transitorio (Fig. 2).

Consumo de alimento

El consumo promedio de alimento en pollos de engorde criados sobre camas reutilizadas sometidas a fermentación anaeróbica o aeróbica, no presentó diferencias significativas entre ambos métodos a lo largo del estudio. El análisis estadístico no detectó variaciones atribuibles al proceso de fermentación ($p > 0,05$), excepto durante los primeros ciclos productivos de reúso. Los lotes criados sobre cama con fermentación anaeróbica registraron un mayor consumo de alimento únicamente en la primera y segundo reúso de la cama, alcanzando posteriormente valores comparables a los observados en los lotes con fermentación aeróbica.

Conversión alimenticia

Se observó una mayor eficiencia en la conversión alimenticia en lotes de producción de pollos de engorde criados sobre cama reutilizada sometida a fermentación aeróbica, en comparación con aquellos manejados mediante fermentación

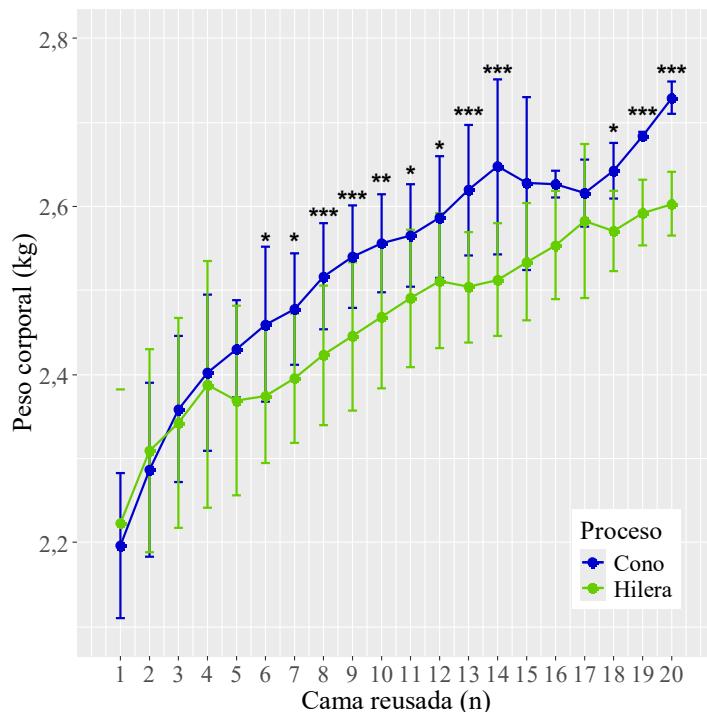


Fig. 2. Dinámica del peso corporal en pollos de engorde criados en camas con distintos niveles de reutilización (1-20 ciclos productivos) bajo fermentación anaeróbica (hileras) y aeróbica (conos). Los asteriscos indican nivel de significancia al 5% (*), 1% () y 0,1% (***)**.

Fig. 2. Body weight dynamics in broilers reared on litter with different levels of reuse (1-20 production cycles) under anaerobic (windrows) and aerobic (cones) fermentation. The asterisks indicate significance levels of 5% (*), 1% (), and 0.1% (***)**.

anaeróbica (Fig. 3). El análisis estadístico detectó diferencias significativas ($p<0,05$) asociadas al proceso de fermentación en ciclos productivos específicos. En particular, los lotes criados sobre cama con fermentación anaeróbica presentaron índices de conversión alimenticia menos eficientes en la primera, segunda y undécima reutilización de la cama, evidenciando una variabilidad temporal en la eficiencia del método.

Mortalidad

Se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) en la mortalidad asociada al proceso de fermentación empleado, observables en determinados ciclos productivos (Fig. 4). Los lotes criados en camas con fermentación anaeróbica presentaron mayores tasas de mortalidad durante la 3^{ra}, 5^{ta}, 7^{ma}, 9^{na}, 13^{ava} y 15^{ava} reutilización de la cama, revelando un patrón cíclico de vulnerabilidad en comparación con el método de fermentación aeróbica.

Factor de eficiencia europeo

El análisis estadístico reveló diferencias

significativas ($p<0,05$) en el índice de eficiencia europea (FEE) vinculadas al método de fermentación aplicado, con variaciones concentradas en ciclos productivos específicos (Fig. 5). Los lotes criados en cama procesada con fermentación aeróbica registraron índices más elevados de FEE entre la 8^{ava} hasta la 11^{ava} reutilización de la cama, así como en la 13^{ava}, 16^{ava} y 20^{ava} de reutilización, lo que sugiere una ventaja consistente de este método durante las etapas medias y finales del ciclo productivo.

Costo de producción

El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($p<0,05$) en el costo de producción asociado al método de fermentación empleado (Fig. 6). Los lotes criados en cama con fermentación anaeróbica registraron costos por kilogramo de peso corporal producido consistentemente más elevados desde la primera a la veinteava reutilización de la cama, evidenciando una desventaja económica sostenida de este método frente al proceso de fermentación aeróbica.

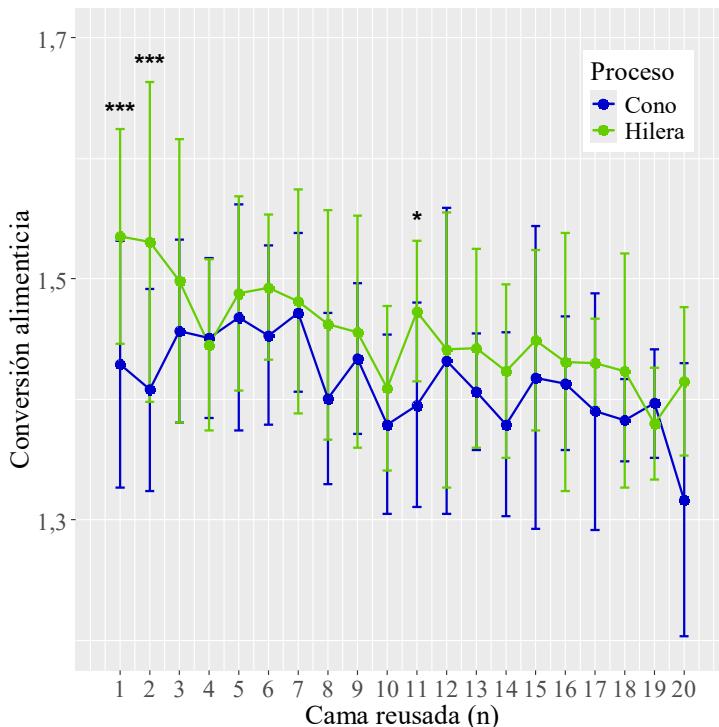


Fig. 3. Evolución de la conversión alimenticia en pollos de engorde criados en camas con distintos niveles de reutilización (1-20 ciclos productivos) bajo fermentación anaeróbica (hileras) y aeróbica (conos). Los asteriscos indican nivel de significancia al 5% (*), 1% () y 0,1% (***)**

Fig. 3. Evolution of feed conversion in broilers reared on litter with different levels of reuse (1-20 production cycles) under anaerobic (windrows) and aerobic (cones) fermentation. The asterisks indicate significance levels of 5% (*), 1% (), and 0.1% (***)**

Parámetros productivos y económicos

Los parámetros productivos y económicos, evaluados con cama reutilizada procesada mediante fermentación anaeróbica y aeróbica se detallan en las Tablas 2 y 3. Se identificó diferencias altamente significativas ($p<0,01$) asociadas al método de fermentación, excepto en el consumo de alimento. Los pollos de engorde criados sobre cama fermentada en cono mostraron un mayor peso corporal (+ 0,03 kg/ave), una mejor eficiencia en la conversión alimenticia (-1,4%), menores tasas de mortalidad (-12,17%), índices de eficiencia europeo más elevado (+ 3,4%), y un ahorro de 0,003 soles/kg de pollo producido.

DISCUSIÓN

Peso vivo

Los pollos de engorde criados en camas con fermentación aeróbica registraron pesos corporales significativamente mayores que aquellos en camas con fermentación anaeróbica a partir del sexto reúso de la cama. La literatura científica disponible no reporta estudios

específicos que comparen de manera directa los métodos de fermentación aeróbica y anaeróbica de la cama avícola y su efecto sobre el rendimiento productivo en pollos de engorde. Sin embargo, se tienen resultados sobre las bondades del reúso de la cama, como los desarrollados por Avila et al. (2008) quienes reportaron incrementos en el peso de las aves durante el quinto y sexto reúso de cama, Luyo (2014) observó mayores pesos en pollos machos criados en camas reutilizadas siete veces frente a camas nuevas y Garcés-Gudiño et al. (2018) documentaron mejoras significativas en el peso final y la ganancia diaria de peso en aves alojadas en camas reutilizadas de cascarilla de arroz. En contraste, Vejarano et al. (2008) no hallaron diferencias en el rendimiento productivo entre camas nuevas y reutilizadas (hasta cinco reúsos), y Reeves (2014) tampoco identificó variaciones al comparar camas nuevas con aquellas de octavo reúso.

Una posible explicación para los resultados positivos a partir del sexto reúso en camas con fermentación aeróbica podría ser la mejora en la calidad de la microbiota (Taboosha, 2017), que

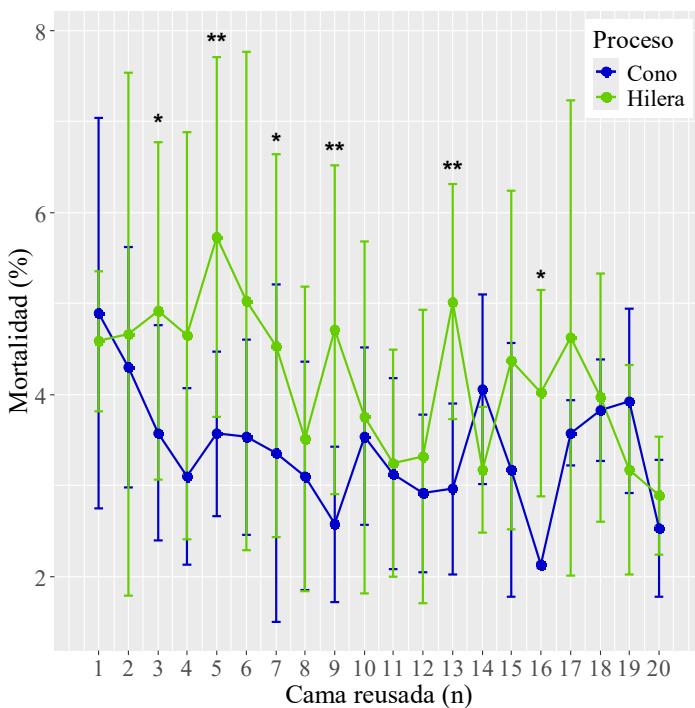


Fig. 4. Evolución de la mortalidad en pollos de engorde criados en camas con distintos niveles de reutilización (1-20 ciclos productivos) bajo fermentación anaeróbica (hileras) y aeróbica (conos). Los asteriscos indican nivel de significancia al 5% (*), 1% (), y 0,1% (***)**

Fig. 4. Evolution of mortality in broilers reared on litter with different levels of reuse (1-20 production cycles) under anaerobic (windrows) and aerobic (cones) fermentation. The asterisks indicate significance levels of 5% (*), 1% (), and 0.1% (***)**

favorecería el control de patógenos y optimizaría la eficiencia productiva. Por otro lado, la menor ganancia de peso observada entre la decimoquinta y decimoséptima semana podría atribuirse a factores externos al reúso de la cama, como variaciones en la dieta, condiciones ambientales o manejo sanitario.

Consumo de alimento

No se detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) en el consumo de alimento entre ambos métodos de fermentación. Sin embargo, se observó una tendencia ascendente en la ingesta correlacionada con el número de reúsos, fenómeno reportado previamente por Ávila et al. (2008) y Taboosha (2017). Este incremento podría deberse a una adaptación metabólica de las aves a la microbiota de camas maduras, que estimularía el apetito mediante la síntesis de metabolitos beneficiosos (vitaminas B12 y K) (Taboosha (2017).

Conversión alimenticia (CA)

La CA fue significativamente mejor ($p<0,05$) en camas aeróbicas, resultado de una mayor

ganancia de peso sin incrementar la ingesta. Esto sugiere una optimización en la digestibilidad y utilización de nutrientes, posiblemente mediada por enzimas proteolíticas de la microbiota intestinal (Taboosha, 2017).

Mortalidad

La fermentación aeróbica redujo la mortalidad en un 12,17% frente al método anaeróbico ($p<0,05$), con una tendencia a disminuir progresivamente tras ciclos sucesivos de reúso. Este hallazgo coincide con Garcés-Gudiño et al. (2018), quienes asociaron camas reutilizadas (3^{er} ciclo) con menor mortalidad por control de patógenos (*Salmonella*, *E. coli*). No obstante, estudios como los de Abougabal et al. (2019) y Vieira et al. (2015) no respaldan esta relación, lo que indica que otras variables como el uso de desinfectantes o la ventilación del galpón podrían ser determinantes.

Rentabilidad

El sistema de conos generó los mejores indicadores económicos: Factor de Eficiencia Europea (FEE) >400 , umbral asociado a lotes

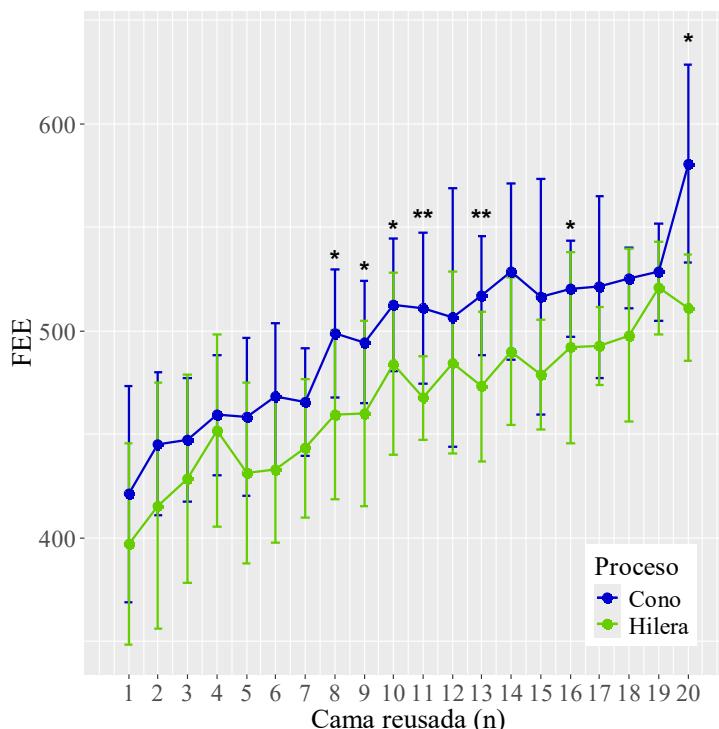


Fig. 5. Dinámica del Factor de Eficiencia Europeo en pollos de engorde criados en camas con distintos niveles de reutilización (1-20 ciclos productivos) bajo fermentación anaeróbica (hileras) y aeróbica (conos). Los asteriscos indican nivel de significancia al 5% (*), 1% () y 0,1% (***)**

Fig. 5. Dynamics of the European Efficiency Factor in broilers reared on litter with different levels of reuse (1-20 production cycles) under anaerobic (windrows) and aerobic (cones) fermentation. The asterisks indicate significance levels of 5% (*), 1% (), and 0.1% (***)**

de alto rendimiento, gracias a la sinergia entre ganancia de peso, CA eficiente y baja mortalidad. Reducción del 21,4% en costos por kg de pollo vivo, derivada de menores gastos en mano de obra y materiales (sistemas anaeróbicos requieren plásticos y sellado hermético). Sostenibilidad ambiental, al reutilizar camas hasta 20 ciclos productivos sin comprometer la calidad microbiológica. Estos resultados se alinean parcialmente con Garcés-Gudiño et al. (2018), pero contrastan con Abougabal et al. (2019), quienes no observaron diferencias en FEE entre camas nuevas y reutilizadas.

El mejor rendimiento obtenido en crianzas de pollos en camas con fermentación aeróbica radicaría en dos factores: Control térmico: La fermentación aeróbica en conos alcanza 40-60°C, temperatura que inactiva patógenos y degrada toxinas (Mesa et al., 2016; Pepper and Dunlop, 2021; Manogaran et al., 2022). Integridad intestinal: La reducción de

amoníaco y sulfuros previene daños epiteliales, mejorando la absorción de nutrientes (Najibullo et al., 2020).

CONCLUSIONES

La fermentación aeróbica de la cama avícola demostró ventajas significativas tanto en rendimiento productivo como en eficiencia económica frente a la fermentación anaeróbica. Este mismo sistema mejoró el peso corporal final, la conversión alimenticia, la mortalidad y el Factor de Eficiencia Europea, además de reducir el costo de producción por kilogramo de carne. Sin embargo, el tipo de procesamiento de la cama no presentó un efecto significativo sobre el consumo total de alimento.

Contribución de autores

Participación activa en la revisión bibliográfica: Hilario Noberto Pujada Abad; Participación activa en la elaboración de la metodología: Miguel

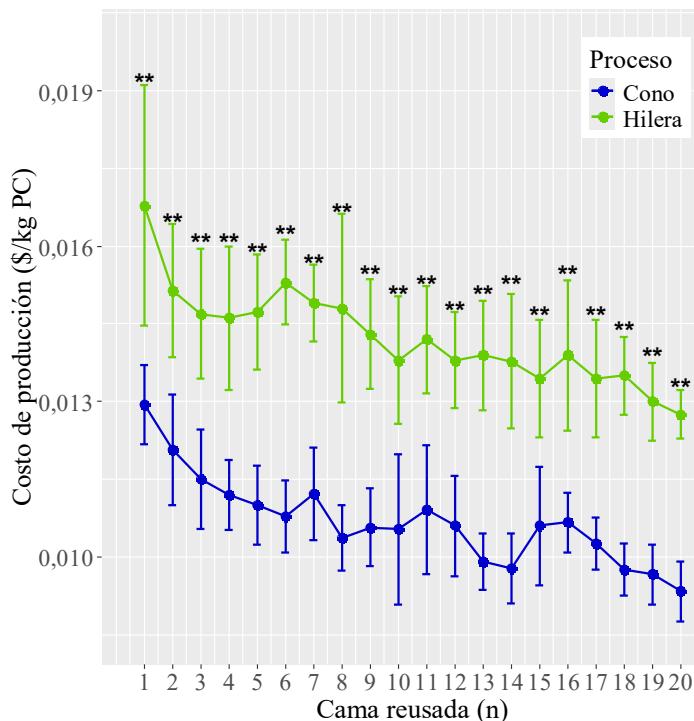


Fig. 6. Dinámica de los costos de producción en pollos de engorde criados en camas con distintos niveles de reutilización (1-20 ciclos productivos) bajo fermentación anaeróbica (hileras) y aeróbica (conos). Los asteriscos indican nivel de significancia al 5% (*), 1% (** y 0,1% (***)

Fig. 6. Dynamics of production costs in broilers raised on litter with different levels of reuse (1-20 production cycles) under anaerobic (windrows) and aerobic (cones) fermentation. The asterisks indicate significance levels of 5% (*), 1% (**), and 0.1% (***)

Tabla 2. Parámetros productivos de pollos de engorde criados en cama avícola reutilizada (1-20 ciclos productivos) según método de fermentación: aeróbica (conos) vs anaeróbica (hileras).

Table 2. Production parameters of broilers raised on reused poultry litter (1-20 production cycles) according to fermentation method: aerobic (cones) vs. anaerobic (windrows).

Fermentación de cama reusada	Peso corporal (kg)	Consumo Alimento (kg)	Conversión alimenticia	Mortalidad (%)
Fermentación aeróbica	2,49 ± 0,19 ^a	3,57 ± 0,36 ^a	1,43 ± 0,08 ^b	3,32 ± 1,66 ^a
Fermentación anaeróbica	2,46 ± 0,20 ^b	3,53 ± 0,27 ^a	1,45 ± 0,13 ^a	3,78 ± 2,20 ^b
<i>p</i> - valor	0,011	0,427	<0,001	<0,001

Los valores se expresan como mediana ± RIC (n = 20). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Análisis de Kruskal-Wallis).

Tabla 3. Parámetros económicos de pollos de engorde criados en cama avícola reutilizada (1 a 20 ciclos productivos) procesada por fermentación anaeróbica (hileras) y aeróbica (en conos).
Table 3. Economic parameters of broilers raised on reused poultry litter (1 to 20 production cycles) processed by anaerobic (windrows) and aerobic (cones) fermentation.

Fermentación de cama	Ciclo productivo (n)	Aves (n)	FEE	Costo x kg pollo vivo (\$/)*
Fermentación aeróbica	211	36.288	482 ± 56 ^a	0,011 ± 0,002 ^b
Fermentación anaeróbica	204	34.272	466 ± 70 ^b	0,014 ± 0,002 ^a
<i>p - valor</i>				<0,001
				<0,001

Los valores se expresan como mediana ± RIC (n = 20). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Análisis de Kruskal-Wallis)

*Tipo de cambio: un dólar es equivalente a 3,56 soles.

Ángel Apolinario Giraldo; Participación activa en la discusión de los resultados: Félix Esteban Airahuacho Bautista; Revisión y aprobación de la versión final del artículo: Carromagno Ronald Velásquez Vergara.

LITERATURA CITADA

- Abougabal, M. 2019. Possibility of broiler production on reused litter. Egyptian Poultry Science Journal 39(2):405-421. <https://doi.org/10.21608/epsj.2019.35039>
- Ávila, V.S.D., U.D. Oliveira, E.A.P.D. Figueiredo, C.A.F. Costa, V.M.N. Abreu, y P.S. Rosa. 2008. Avaliação de materiais alternativos em substituição à maravilha como cama de aviário. Revista Brasileira de Zootecnia 37:273-277. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000200013>
- Bailey, M.A., D.V. Bourassa, J.T. Krehling, L. Muñoz, K.S. Chasteen, C. Escobar, and K.S. Macklin. 2022. Effects of common litter management practices on the prevalence of *Campylobacter jejuni* in Broilers. Animals 12(7):858. <https://doi.org/10.3390/ani12070858>.
- Bolan, N.S., A.A. Szogi, T. Chuasavathi, B. Seshadri, M.J. Rothrock Jr, and P. Panneerselvam. 2010. Uses and management of poultry litter. World's Poultry Science Journal 66(4):673-698. <https://doi.org/10.1017/S0043933910000656>
- Bucher, M.G., B. Zwirzitz, A. Oladeinde, K. Cook, C. Plymel, G. Zock, S. Lakin, S.E. Aggrey, C. Ritz, T. Loots, E. Lipp, G.E. Agga, Z. Abdo, and K.R. Sistani. 2020. Reused poultry litter microbiome with competitive exclusion potential against *Salmonella* Heidelberg. Journal of Environmental Quality 49:869-881. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20081>
- de Toledo, T.D.S., A.A.P. Roll, F. Rutz, H.M. Dallmann, M.A. Dai Prá, F.P.L. Leite, and V.F.B. Roll. 2020. An assessment of the impacts of litter treatments on the litter quality and broiler performance: A systematic review and meta-analysis. PLoS ONE 15(5):e0232853. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232853>.
- Dornelas, K.C., N.M.H. Mascarenhas, P.A. dos Santos da Rocha, A.P.S. Ton, A.G. do Amaral, R.M. Schneider, A.N. dos Santos, D. Araújo, and J.W.B. Nascimento. 2023. Chicken bed reuse. Environmental Science and Pollution Research 30: 39537-39545. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25850-8>
- Dunlop, M.W., A.F. Moss, P.J. Groves, S.J. Wilkinson, R.M. Stuetz, and P.H. Selle. 2016. The multidimensional causal factors of 'wet litter' in chicken-meat production. 'Science of The Total Environment' 562:766-776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.147>
- Feddern, V., G. Scheuermann, A. Coldebella, V. Gressler, G. Bedendo, L. Caron, et al. 2022. Nicarbazin Residue in Tissues from Broilers Reared on Reused Litter Conditions. Animals 12(22):3107. <https://doi.org/10.3390/ani12223107>.
- Garcés-Gudiño, J.A., R. Merino-Guzmán, and A.L. Cevallos-Gordón. 2018. Litter reuse reduces *Eimeria* spp oocyst counts and improves the performance in broiler chickens reared in a tropical zone in Ecuador. European Poultry Science 82:1-9. <https://doi.org/10.1399/eps.2018.220>
- Gehring, V.S., E.D. Santos, B.S. Mendonça, L.R. Santos, L.B. Rodrigues, E.L. Dickel, L. Daroit, and F. Pilotto. 2020. *Alphitobius diaperinus* control and physicochemical study of poultry litters treated with quicklime and

- shallow fermentation. *Poultry Science* 99(4):2120-2124. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.039>.
- Han, T., T. Wang, Z. Wang, T. Xiao, M. Wang, Y. Zhang, J. Zhang, and D. Liu. 2022. Evaluation of gaseous and solid waste in fermentation bedding system and its impact on animal performance: A study of breeder ducks in winter. *Science of The Total Environment* 836(24): 155672. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155672>
- Keener, H.M., M. Wicks, F.C. Michel, and K. Ekinci. 2014. Composting broiler litter. *World's Poultry Science Journal* 70(4):709-720. <https://doi.org/10.1017/S0043933914000798>
- Kelleher, B.P., J.J. Leahy, A.M. Henihan, T.F. O'Dwyer, D. Sutton, and Leahy, M. J. 2002. Advances in poultry litter disposal technology – a review. *Bioresource Technology* 83(1):27-36. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00133-X)
- Lopes, M., F.L. Leite, B.S. Valente, T. Heres, M.A. Dai Prá, E.G. Xavier, and V.F. Roll. 2015. An assessment of the effectiveness of four in-house treatments to reduce the bacterial levels in poultry litter. *Poultry Science* 94(9):2094-2098. <https://doi.org/10.3382/ps/pev195>
- Luyo, J.H. 2014. Evaluación sanitaria en pollos de engorde (Ross 308), criados en cama nueva vs. Cama reciclada(7 reúsoes/flameado) en granjas comerciales. Tesis Pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4715/Luyo_fj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Manogaran, M.D., R. Shamsuddin, M.H.M. Yusoff, M. Lay, and A.A. Siyal. 2022. A review on treatment processes of chicken manure. *Cleaner and Circular Bioeconomy* 2:100013. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100013>
- Mesa, D., M. Lourenço, A. Souza, A. Bueno, A. Pereira, M. Sfeir, and E. Santin. 2016. Influence of Covering Reused Broiler Litter with Plastic Canvas on Litter Characteristics and Bacteriology and the Subsequent Immunity and Microbiology of Broilers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 18(4):563-571. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2015-0061>
- Najibullah, M., N. Ulupi, and S. Salundik. 2020. Effect of waste recycling on waste and air quality in broiler farms. *Livestock and Animal Research* 18(2). <https://doi.org/10.20961/lar.v18i2.42932>
- Pepper, C.M. and M.W. Dunlop. 2021. Review of litter turning during a grow-out as a litter management practice to achieve dry and friable litter in poultry production. *Poultry Science* 100(6):101071. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101071>
- Reeves, M. 2014. Evaluación de cama de octavo reúso y su efecto sobre la eficiencia alimentaria, productiva y sanitaria de pollos de carne. Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a595311c-a1b8-4bb5-b16a-cd4d001818d5/content>
- Roll, V.F.B., M.A. Dai Prá, and A.P. Roll. 2011. Research on *Salmonella* in broiler litter reused for up to 14 consecutive flocks. *Poultry Science* 90(10):2257-2262. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01583>.
- Saad, H.F. and Al-Hummod, S.K.M. 2024. The effectiveness of utilizing certain ingredients that enhance the characteristics of the old and used litter on the productive performance of broilers. *International Journal of Agriculture and Animal Production* 4(2):46-55. <https://doi.org/10.55529/ijaap.42.46.55>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. 2025. Descarga de datos Meteorológicos, estación alcantarilla. <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>
- Sigroha, R., D. Bidhan, D. Yadav, S. Sihag, and A. Malik. 2017. Effect of different litter materials on the performance of broiler chicken. *Journal of Animal Research* 7(4): 665-671. <https://doi.org/10.5958/2277-940X.2017.00102.4>.
- Silva, V.S. 2005. Técnicas de fermentación de cama. Aspectos sanitarios. *Embrapa Suinos e Aves* 3(5):1-8. [ww.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/968948/1/final7181.pdf](http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/968948/1/final7181.pdf)
- Smith, R., R. Hauck, K. Macklin, S. Price, T. Dormitorio, and C. Wang. 2021. A review of the lesser mealworm beetle (*Alphitobius diaperinus*) as a reservoir for poultry bacterial pathogens and antimicrobial resistance. *World's Poultry Science Journal* 78(1):197-214. <https://doi.org/10.1080/00439339.2022.2003172>
- Subirats, J., R. Murray, A. Scott, C. Lau, and E. Topp. 2020. Composting of chicken litter from commercial broiler farms reduces the abundance of viable enteric bacteria, Firmicutes, and selected antibiotic resistance genes. *The Science of the total environment* 746:141113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141113>

- Taboosha, M.F. 2017. Effect of reusing litter on productive performance, carcass characteristics and behavior of broiler chickens. International Journal of Environment 6(2):61-69. <https://www.curresweb.com/ije/ije/2017/61-69.pdf>
- Vaz, C.S.L., D. Voss-Rech, V.S. de Avila, A. Coldebella, and V.S. Silva. 2017. Interventions to reduce the bacterial load in recycled broiler litter. Poultry Science 96(8):2587-2594. <https://doi.org/10.3382/ps/pex063>
- Vejarano, M. del P., M. Alba, P. Reyna, y E. Casas, E. 2008. Comparación productiva de pollos de carne criados en camas nuevas vs. Cama reutilizada por cinco campañas. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 19(2):126-133. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172008000200003
- Vieira, M., I. Tinoco, B.M. dos Santos, K.R.A. Inoue, and M.A. Mendes. 2015. Sanitary quality of broiler litter reused. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering 35(5). <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p800-807/2015>

