ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias
Volumen 10 / N° 29 / mayo-agosto 2026
https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.467

Articulo de Revisión

Influencia del almacenamiento y preincubación en huevos fértiles sobre la viabilidad embrionaria: Revisión sistemática

Influence of storage and pre-incubation embryonic viability in fertile eggs: a systematic review

Emily Alejandra Quinatoa Alcívar [a]
emily.quinatoa.0220@espam.edu.ec
Maykel Alexander Cedeño Romero [a]
Sergio Paul Aguilar Camba [a]
Vicente Alejandro Intriago Muñoz [a]

[a] *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador*

Palabras clave:
Almacenamiento prolongado; Broiler; Incubabilidad; Incubación de precisión; Mortalidad embrionaria temprana

Keywords:
Prolonged storage; Broiler; Hatchability; Precision incubation; Early embryonic mortality

Cómo citar: Quinatoa Alcívar EA, Cedeño Romero MA, Aguilar Camba SP, Intriago Muñoz VA. Influencia del almacenamiento y preincubación en huevos fértiles sobre la viabilidad embrionaria: Revisión sistemática. Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):1-16. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.467

CC BY

Resumen

Contexto: La incubación artificial de huevos fértiles es un pilar de la industria avícola moderna, donde las pérdidas asociadas a la mortalidad embrionaria y a la baja incubabilidad representan un desafío técnico y económico relevante. **Objetivo:** Analizar la influencia de las condiciones de almacenamiento y preincubación en la viabilidad embrionaria de huevos fértiles de pollos de engorde, identificando los factores determinantes que inciden en la fertilidad, la incubabilidad y el desarrollo óptimo del pollito. **Metodología:** El estudio se desarrolló con un enfoque cualitativo y un alcance exploratorio-documental. Se aplicó la metodología PRISMA 2020 para la selección de 53 documentos, los cuales fueron sometidos a análisis bibliométrico mediante VOSviewer y Bibliometrix y sus resultados integrados en un análisis multifactorial sintetizado en un diagrama de radar. **Resultados:** Los resultados confirman que el almacenamiento prolongado y la baja humedad relativa constituyen los factores más perjudiciales, al incrementar la mortalidad embrionaria temprana y la deshidratación del huevo. Este efecto negativo puede mitigarse mediante la preincubación (SPIDES), que contribuye a la recuperación de la capacidad de eclosión, siempre que se ajusten de forma precisa variables moduladoras como la temperatura de almacenamiento y la edad del lote. **Conclusión:** Se concluye que la viabilidad embrionaria es un proceso dinámico y multifactorial, en el que el impacto del almacenamiento prolongado puede atenuarse mediante estrategias de manejo como la preincubación y el volteo sistemático, orientadas a favorecer una incubación exitosa.

Abstract

Context: Artificial incubation of fertile eggs is a cornerstone of the modern poultry industry; however, losses due to embryonic mortality and reduced hatchability pose significant technical and economic challenges. **Objective:** To analyze the influence of storage conditions and pre-incubation on the embryonic viability of broiler eggs by identifying determinant factors that affect fertility, hatchability, and optimal chick development. **Method:** This study employed a qualitative approach with an exploratory documentary scope. Following PRISMA 2020 guidelines, 53 documents were selected and subjected to bibliometric analysis using VOS viewer and Bibliometrix. The findings were integrated into a multifactorial analysis and synthesized via a radar chart. **Results:** Findings confirm that prolonged storage and low relative humidity are the most detrimental factors, as they increase early embryonic mortality and egg dehydration. These negative effects can be mitigated

through pre-incubation (Short Periods of Incubation During Egg Storage, SPIDES), which facilitates the recovery of hatchability, provided that modulating variables, such as storage temperature and flock age, are precisely adjusted. **Conclusion:** Embryonic viability is a dynamic, multifactorial process. The impact of prolonged storage can be attenuated through management strategies such as pre-incubation and systematic egg turning, both of which are essential for ensuring successful incubation outcomes.

Introducción

La incubación artificial de huevos fértiles se ha convertido la piedra angular de la industria avícola, la misma que, actualmente, se caracteriza por un alto nivel de tecnificación y una producción intensiva [1]. Pese a estos avances, la mortalidad embrionaria y la baja incubabilidad (porcentaje de huevos fértiles que eclosionan), constituyen importantes desafíos económicos y operativos; por lo que, optimizar la viabilidad embrionaria es esencial para el rendimiento general de la granja [2,3].

Existen 3 fases que afectan el desarrollo embrionario: la formación del huevo en la gallina (determinada por la salud y nutrición del ave); el período de manejo y almacenamiento postpuesta; y, la incubación, en cada una de ellas, el control de variables ambientales es fundamental [4]. En las instalaciones de las incubadoras modernas, la temperatura, humedad y ventilación se establecen eficazmente; por ende, son las condiciones previas a la incubación las que se transforman en fuente de pérdidas [5].

Debido a las necesidades logísticas y a la acumulación de lotes, el almacenamiento de los huevos fértiles es una práctica inevitable en la producción comercial [6, 7]. No obstante, la literatura existente respalda que el almacenamiento prolongado (>7 días) provoca una serie de efectos perjudiciales, como: la pérdida de calidad interna por evaporación, la reducción en la tasa de eclosión, la prolongación del tiempo de incubación y la disminución en la calidad del pollito recién nacido; efectos que se atribuyen al deterioro metabólico y a la posición anormal del blastodermo causada por la inactividad durante el almacenamiento [8-10].

Bajo esta premisa, la preincubación o tratamientos térmicos intermedios (Short Period of Incubation, o SPIDES) ha surgido como una estrategia para contrarrestar los efectos negativos del almacenamiento [11,12]. El mecanismo de estas técnicas es activar temporalmente el desarrollo embrionario en huevos almacenados, permitiendo que el embrión alcance una etapa más resistente antes de la incubación formal pues se ha determinado que tanto el almacenamiento como la aplicación de tratamientos térmicos influyen considerablemente en el desarrollo embrionario y en la tasa final de eclosión [13, 14].

En este contexto, comprender la interacción entre el almacenamiento y la preincubación adquiere relevancia científica y productiva, dado que ambas fases ejercen un impacto directo sobre la viabilidad embrionaria y, por ende, sobre los índices de productividad avícola. La búsqueda de condiciones óptimas contribuye no solo a reducir las pérdidas económicas derivadas de la mortalidad embrionaria, sino también a optimizar los procesos tecnológicos dentro de las plantas de incubación, favoreciendo la sostenibilidad y eficiencia del sector. Además, la falta de consenso en la literatura respecto a los parámetros más adecuados de temperatura, humedad y duración del almacenamiento, así como sobre los protocolos térmicos más efectivos, justifica la necesidad de una revisión sistemática que sintetice y compare la evidencia disponible para orientar futuras prácticas y líneas de investigación.

Por consiguiente, el presente estudio tiene como objetivo compilar y analizar la evidencia científica sobre la influencia de las condiciones de almacenamiento y la preincubación en la viabilidad embrionaria, describiendo los factores determinantes que inciden en la fertilidad, la incubabilidad y el desarrollo óptimo del pollito.

Materiales y métodos

Esta investigación adoptó una metodología de revisión sistemática de la literatura, con un enfoque cualitativo, de alcance exploratorio-documental, con el propósito de analizar y sintetizar el conocimiento científico existente sobre la influencia de las condiciones de almacenamiento y preincubación en la viabilidad embrionaria de huevos fértiles de pollos de engorde.

En coherencia con este propósito, la revisión sistemática se realizó de acuerdo con la metodología PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)[15], un enfoque que asegura una selección de documentos científicos reproducible, eficaz y transparente. Esta orientación posibilita no solamente una evaluación cuantitativa de la producción editorial, sino también una valoración estructural y temática del campo investigativo [16].

En cuanto al procedimiento de búsqueda y recolección de datos, esta se realizó entre abril y junio del año 2025. En la fase inicial de identificación, se organizó un estudio bibliométrico y de literatura gris en bases de datos científicas de alto impacto y repositorios reconocidos, como Redalyc, SciELO, African Journals Online (AJOL), Scopus, PubMed y ScienceDirect. Con el fin de optimizar la detección de investigaciones pertinentes, se estableció una estrategia de búsqueda estructurada en tres categorías conceptuales: (a) almacenamiento y preincubación, utilizando combinaciones de descriptores como “almacenamiento de huevos fértiles” OR “egg storage” AND “prácticas de preincubación” OR “pre-incubation practices”; (b) viabilidad embrionaria, empleando términos como “viabilidad del huevo” OR “egg viability” AND “mortalidad embrionaria” OR “embryonic mortality”; y (c) pollos de engorde, mediante cadenas como “pollos de engorde” OR “broiler” AND “tasa de eclosión en aves” OR “hatchability rate”.

A partir de esta estrategia de búsqueda, y adaptando lo propuesto por Yaulilahua [17], se identificaron un total de 209 documentos provenientes de las bases de datos seleccionadas. En la siguiente fase se utilizó la herramienta Rayyan QCRI [18], para implementar un protocolo sistemático de selección, mediante el cual se eliminaron 71 registros duplicados. Luego, se efectuó una selección por título y resumen, lo que condujo a la exclusión de 36 manuscritos que no guardaban relación directa con la temática del estudio.

En la fase de elegibilidad, se revisaron los textos completos aplicando dos criterios principales de exclusión: (EC1) tipo de documento, por el cual se excluyeron 5 registros correspondientes a actas de conferencias, capítulos de libro, tesis, patentes o literatura gris no revisada por pares; y (EC2) relevancia, mediante el que se descartaron 44 documentos que no abordaban directamente las variables de almacenamiento/preincubación y viabilidad embrionaria en huevos fértiles de pollos de engorde. Como resultado de este proceso secuencial, un total de 53 documentos cumplieron los criterios de inclusión, artículos de investigación primaria o revisiones sistemáticas publicadas en revistas revisadas por pares, y fueron seleccionados para el análisis final (n = 209 - 71 - 36 - 5 - 44 = 53). El proceso de selección se detalla en el Flujograma PRISMA, Figura 1.

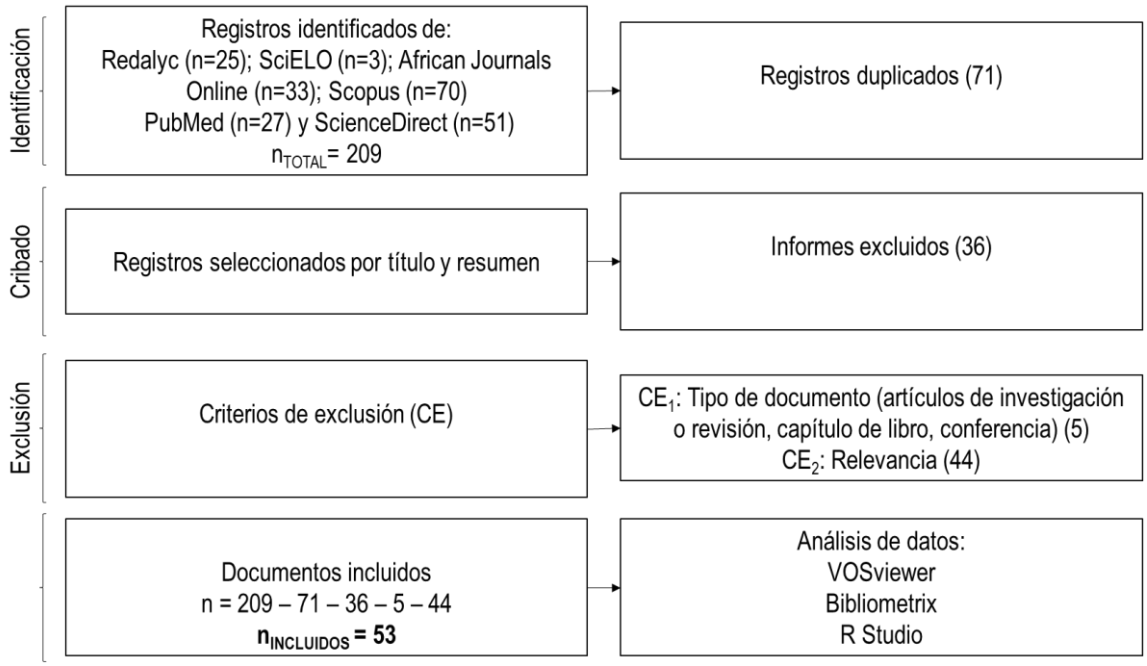


Figura 1. Flujograma de la metodología PRISMA 2020 aplicada para la selección de documentos

En relación con el análisis de la información, y con el fin de garantizar una interpretación pormenorizada y un análisis eficaz de las relaciones entre los datos, la información extraída de los documentos escogidos fue procesada utilizando un grupo de herramientas informáticas. VOSviewer fue el instrumento que se utilizó para analizar la colección de datos, utilizando el método bibliométrico de coocurrencia [19]. Se empleó un método de conteo integral para considerar todas las palabras clave como unidad de análisis. Con el objetivo de que el mapa de red creado sea más comprensible, se estableció un mínimo de 10 palabras clave. Conservando una estructura de red definida para la interpretación temática, se garantizó que los términos más relevantes fueran incluidos con este umbral. Asimismo, se utilizó este software para identificar los países con mayor productividad investigadora en el tema analizado a través de un análisis de citas por país, restringiendo el grupo de datos a naciones que tuvieran al menos dos publicaciones.

Complementariamente, se examinó la base de datos a través de Bibliometrix [20], un paquete de R que funciona en la versión 4.3.0 de R [21]. Este paso produjo estadísticas descriptivas y condensó los metadatos del conjunto de datos, para analizar los resultados principales sobre la influencia del almacenamiento y preincubación en huevos fértiles sobre la viabilidad embrionaria. En conjunto, estas metodologías ofrecen una perspectiva multidimensional de las tendencias investigativas relacionadas con este tema, destacando tanto los temas consolidados como las nuevas fronteras de investigación.

Finalmente, para sintetizar la de la evidencia sobre la influencia de los factores en la viabilidad embrionaria, se empleó un análisis multidimensional de datos, comparando el impacto de los cuatro factores de manejo más relevantes identificados en la literatura (almacenamiento prolongado, preincubación, temperatura óptima y humedad relativa baja). Se asignó una puntuación normalizada de 1 a 5 (donde 5 representa el mayor grado de influencia) a cada factor, a través de cinco dimensiones críticas de la viabilidad embrionaria: tasa de eclosión, mortalidad embrionaria temprana, calidad del pollito, tiempo de incubación y pérdida de agua/peso. Esta matriz de puntuaciones fue se elaboró a partir de la magnitud y consistencia de los efectos reportados en el conjunto de 53 documentos incluidos en la revisión, lo que permitió integrar en un solo esquema comparativo la relevancia relativa de cada factor en el desempeño global de la incubación.

Resultados

Los principales hallazgos derivados de la revisión sistemática realizada sobre el impacto del almacenamiento y la preincubación en la viabilidad embrionaria de huevos fértiles de pollos de engorde se presentan en esta sección. Los resultados se organizan en tres ejes: la evolución temporal y estructura bibliométrica de la producción científica, la síntesis de la evidencia sobre los factores de manejo y sus mecanismos de acción, y el análisis multifactorial de la viabilidad embrionaria que integra las dimensiones biológicas, tecnológicas y productivas. Esta organización permite ofrecer una visión articulada del campo, destacando tanto los patrones consolidados como las oportunidades para la innovación en las prácticas de incubación.

Evolución temporal y estructura bibliométrica

El análisis de los manuscritos analizados sobre la influencia del almacenamiento y la preincubación en huevos fértiles sobre la viabilidad embrionaria (n=55) revela un recorrido histórico amplio, con publicaciones desde 1968 hasta 2025. En particular, los años 2018 y 2021 destacan como los de mayor producción científica en esta área, concentrando aproximadamente el 22% de la producción total. Además, existe una marcada concentración disciplinar en cuanto a las fuentes de publicación, ya que la revista Poultry Science reúne 38 artículos (69%), seguida por Animal (7%), European Poultry Science (5%), y otras revistas especializadas que completan el panorama editorial.

En la Figura 2, se presenta el análisis de co-ocurrencia de palabras clave en VOSviewer, el cual permite visualizar la estructura conceptual y su evolución en el tiempo. De acuerdo con este análisis, para 2012, los términos predominantes se centraban en la métrica biológica básica, dende la Capacidad de Eclosión (Hatchability), se relacionaba con términos fundamentales como Huevos (Eggs) y Gallina (Hen). No obstante, en 2018 se observa una transición hacia un énfasis mayor en la dimensión económica e industrial, incorporando términos como Producción (Production), Calidad del Huevo (Egg Quality) y su aplicación específica a Pollo de Engorde (Broiler). Esta evolución confirma que la investigación ha avanzado desde un enfoque estrictamente biológico hacia la optimización de procesos y la eficiencia industrial, ya que los hallazgos recientes se concentran en cómo variables como el almacenamiento y la preincubación afectan de manera directa el valor comercial y la rentabilidad de la avicultura [6].

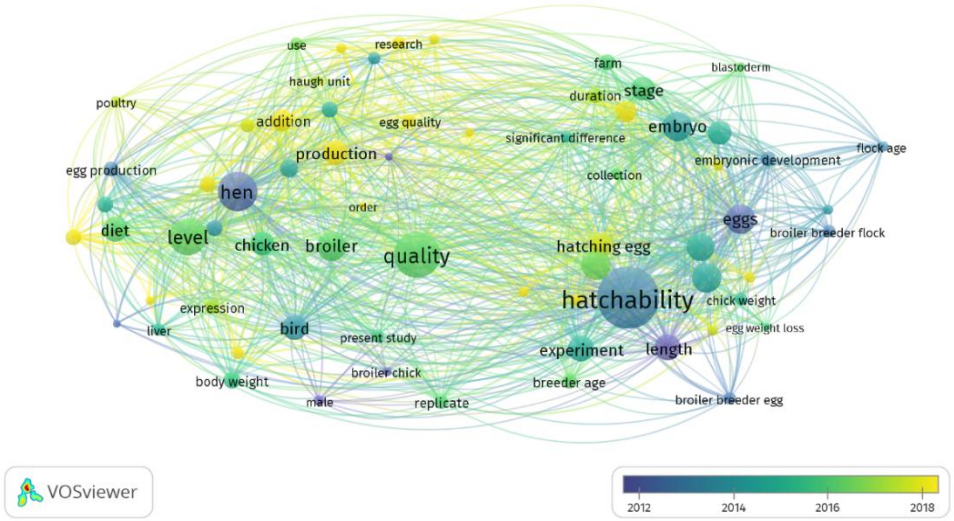


Figura 2. Análisis bibliométrico de palabras clave, mostrando la red de co-ocurrencia y la evolución temporal (2012–2018) de los focos de investigación en viabilidad embrionaria.

Por su parte, el Mapa Estratégico de Temas presentado en la Figura 3, organiza el campo conceptual según la centralidad y la densidad de los términos. En este mapa, conceptos como capacidad de eclosión (hatchability), calidad del huevo (egg quality), almacenamiento del huevo (egg storage), pollo de engorde (broiler) y período de almacenamiento (storage period) se agrupan como temas básicos, es decir, núcleos conceptuales indispensables para la comprensión del campo. En contraste, términos como fertilidad, reproducción y lysozyme (lisozima), altamente relevantes para la biología reproductiva, se sitúan en el cuadrante de temas motores, lo que refleja un elevado potencial de desarrollo. Asimismo, palabras como ammonia (amoníaco), bioseguridad y rendimiento reproductivo (reproductive performance) se presentan como áreas bien desarrolladas, aunque con menor notabilidad externa. Finalmente, Salmonella y gallinas ponedoras (laying hens) se posicionan como tópicos emergentes o en declive, indicando líneas de trabajo que podrían redefinirse o reorientarse en el futuro cercano.

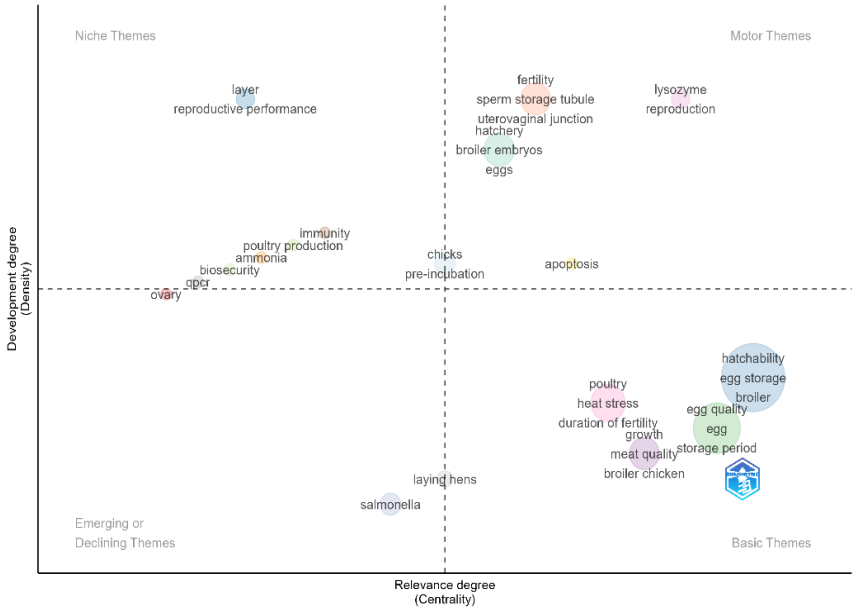


Figura 3. Mapa estratégico temático de la investigación en viabilidad embrionaria y avicultura, basado en la centralidad y densidad de los términos.

Síntesis de la evidencia

Al analizar de manera integrada los documentos incluidos en esta revisión sistemática, se confirma que el manejo del huevo fértil ejerce una influencia multifactorial y crítica sobre la viabilidad embrionaria. El factor más determinante, y con mayor respaldo en la literatura, es el almacenamiento prolongado, el cual se asocia de forma consistente con el deterioro de la función y la viabilidad embrionaria. En este contexto, la preincubación se ha consolidado como una estrategia eficaz al reanudar o adelantar el desarrollo embrionario, contribuyendo a disminuir los daños asociados con el tiempo de almacenamiento. Además, otras estrategias como la inyección in-ovo y el control de la pérdida de peso durante la conservación requieren una optimización ambiental rigurosa para maximizar el potencial de eclosión Tabla 1.

Tabla 2. *Principales resultados y conclusiones obtenidos en los informes incluidos en el análisis.*

		Referencia
Tiempo de almacenamiento de los huevos	El almacenamiento prolongado de los huevos fértiles es el factor más determinante y consistentemente asociado con el deterioro de la viabilidad embrionaria. El principal mecanismo de daño es el aumento en la mortalidad embrionaria temprana, que se correlaciona con la pérdida de peso por evaporación (deshidratación) y el deterioro de la calidad interna. Se ha demostrado que las condiciones ambientales adversas (climas cálidos/secos) aceleran este deterioro	(22, 23, 7, 2, 8, 9, 13, 14, 25-37)
Factores moduladores y optimización ambiental	Temperatura, humedad y gases: El control de la temperatura es fundamental, siendo los 12 °C identificados como una temperatura óptima de almacenamiento para maximizar el potencial de eclosión. La humedad relativa activa mecanismos de deterioro de la viabilidad embrionaria que generan el aumento de la deshidratación del huevo. Además, el uso de altos niveles de CO_2 durante el almacenamiento amortigua el deterioro de la calidad interna, actuando como un mecanismo de retención CO_2	(9, 38-40)
	Biología del lote: La edad del lote de reproductoras es un factor de variación que modula el efecto negativo del almacenamiento, aunque esta influencia puede ser inconsistente. La supervivencia también se relaciona con la capacidad intrínseca del embrión para acumular y mantener carbohidratos adecuados en tejidos vitales	(8, 9, 13, 14, 23, 25-41)
Estrategias de mitigación: Preincubación (SPIDES)	La preincubación de los huevos por períodos cortos antes del almacenamiento (SPIDES) ha demostrado ser una estrategia efectiva. Específicamente, una preincubación de 6 horas se ha documentado como suficiente para que los embriones alcancen la formación del hipoblasto, una etapa que confiere una ventaja de supervivencia ante un almacenamiento de 14 días. La evidencia también sugiere que la combinación de volteo con tratamientos SPIDES durante el almacenamiento maximiza la capacidad de eclosión	

En el análisis de los mecanismos de deterioro durante el almacenamiento, se distingue una interacción notable entre el tiempo de almacenamiento y las condiciones ambientales, particularmente la temperatura, la humedad relativa y la composición gaseosa del entorno [44]. Y es que, debido al aumento en la deshidratación del huevo, el almacenamiento prolongado deteriora la viabilidad embrionaria [45]. De modo tal que, el almacenamiento largo en clima cálido/seco (condición adversa) hace que los huevos se deterioren a un ritmo más acelerado [46].

Asimismo, la edad del lote es un factor de variación que también modula el efecto negativo del almacenamiento sobre la viabilidad [8, 9,13,14, 23, 25-37], aunque en otros resultados llega a ser inconsistente [47]. Además, se ha determinado que la supervivencia post almacenamiento se vincula a un patrón de crecimiento embrionario que difiere según la genética y la edad de la reproductora [48], y que a nivel interno, la capacidad del embrión para acumular y mantener carbohidratos adecuados en tejidos vitales (músculo y corazón) constituye un factor diferenciador en la supervivencia tras el almacenamiento prolongado [41].

Es así que, con el objetivo de mitigar el deterioro provocado por el almacenamiento prolongado, se ha determinado que la preincubación de los huevos por períodos cortos antes del almacenamiento es una estrategia imprescindible [43, 49, 50]. Por citar un ejemplo, la preincubación de 6 horas permite a los embriones alcanzar la formación del hipoblasto, confiriéndoles una ventaja de supervivencia durante el almacenamiento de 14 días [51]; aunque se ha sugerido que esta técnica debe ser ajustada a la edad del lote [47]. Incluso se ha concluido que la preincubación repetida puede afectar negativamente la capacidad de eclosión y aumentar la mortalidad embrionaria temprana y tardía [52].

En la Figura 4, se presenta el análisis de influencia multifactorial, que integra las cinco dimensiones de la viabilidad embrionaria. De acuerdo con este análisis, el almacenamiento prolongado (> 7 días) se configura como el factor con el impacto negativo más amplio y severo, al alcanzar la puntuación máxima en la tasa de eclosión, la mortalidad embrionaria temprana y la pérdida de agua/peso, además de prolongar de manera significativa el tiempo de incubación [5].

Asimismo, la humedad relativa baja ejerce un fuerte impacto sobre la pérdida de agua/peso [5] y la tasa de eclosión[4], ya que la deshidratación actúa como un mecanismo primario de deterioro. La preincubación (SPIDES) se perfila como una estrategia de mitigación influyente, al mostrar un impacto positivo elevado en la tasa de eclosión[4] y una mejora moderada en la calidad del pollito. Por último, aunque la temperatura óptima de almacenamiento (12 °C) es un factor ambiental clave, su influencia directa en las cinco dimensiones resulta menor cuando se la compara con los efectos del almacenamiento prolongado y la baja humedad.

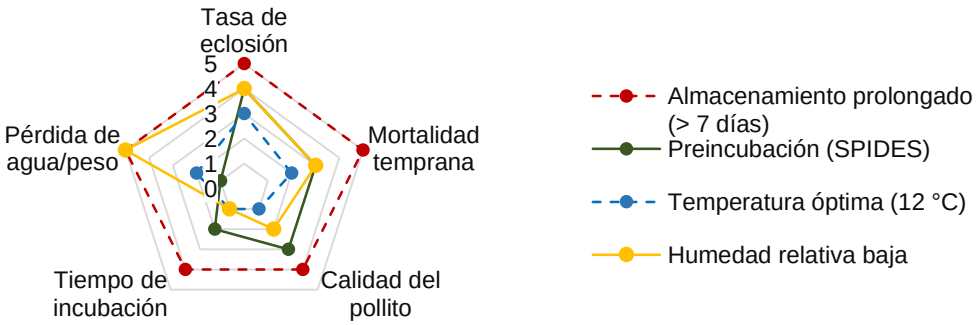


Figura 4. Influencia multifactorial del manejo pre-incubación en la viabilidad embrionaria.

Es de destacar que el impacto del manejo no se limita al almacenamiento, pues la calidad inicial del huevo y la calidad del proceso de incubación tiene consecuencias a largo plazo en la granja [53]. Bajo este enfoque, se ha demostrado que tecnologías no invasivas como la tomografía computarizada y la resonancia magnética constituyen herramientas útiles para evaluar la calidad del huevo antes de la incubación y determinar el impacto del almacenamiento en el crecimiento embrionario [6]. En cuanto a las estrategias combinadas, se ha evidenciado que la combinación de volteo (4 veces/día) con un tratamiento SPIDES (Short Periods of Incubation During Egg Storage) aplicado durante los 14 días de almacenamiento se traduce en una mayor capacidad de eclosión [11, 12, 54-56].

Las futuras investigaciones podrían orientarse hacia la reestructuración de las prácticas de incubación, dado que persiste la necesidad de comprender mejor la estructura de la cáscara y la composición del huevo en función del momento de la puesta, aspectos que influyen directamente en la pérdida de agua [57]. De la misma manera, resulta prioritario profundizar en el diseño de procedimientos operativos que garanticen el bienestar animal a lo largo de todo el proceso productivo [58].

En la Figura 5, se presenta una hoja de ruta de la viabilidad embrionaria. En la actualidad, el enfoque se centra en la optimización de las condiciones de almacenamiento (temperatura, CO_2, manejo físico) y el reconocimiento de edad del lote y la genética como variables críticas de ajuste. De ahí que, las estrategias de mitigación incluyan la preincubación (SPIES) para reactivar el desarrollo embrionario y contrarrestar la mortalidad celular. Las tendencias futuristas se enmarcan en la incubación personalizada, con el uso de Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Artificial (IA), que podrían permitir la monitorización en tiempo real de parámetros fisiológicos (como la deshidratación y la temperatura de cáscara) y el control algorítmico de los tratamientos de preincubación, junto con la manipulación embrionaria de precisión. No obstante, la investigación fundamental, enfocada en comprender la variación en la estructura de la cáscara y la composición del huevo para mejorar la predicción de la pérdida de agua y la fragilidad, sigue siendo la base científica indispensable para el desarrollo de tecnologías futuras más eficientes y respetuosas con el bienestar animal.

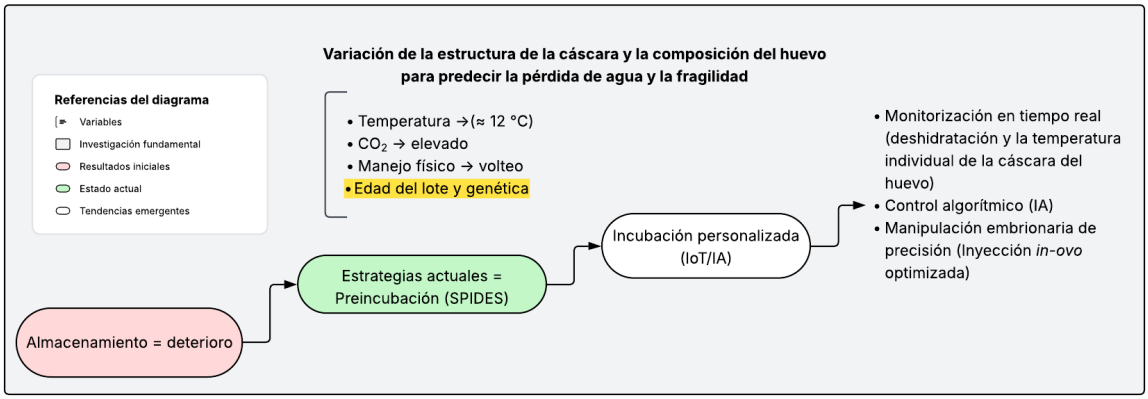


Figura 5. Hoja de ruta para la maximización de la viabilidad embrionaria: problemas de almacenamiento, soluciones actuales (SPIDES) y tendencias futuras.

En conjunto, los resultados demuestran que la viabilidad embrionaria es el producto de una interacción compleja entre el tiempo y las condiciones de almacenamiento, las características biológicas del lote y la aplicación estratégica de técnicas de preincubación y manejo físico del huevo. El almacenamiento prolongado y la baja humedad emergen como los factores más perjudiciales, mientras que la preincubación (SPIDES), combinada con un control riguroso de la temperatura, el volteo y la atmósfera de almacenamiento, se perfila como la principal estrategia de mitigación. Asimismo, las tendencias actuales y futuras señalan un tránsito hacia modelos de incubación más precisos y personalizados, apoyados en tecnologías avanzadas y en una comprensión más profunda de la estructura y fisiología del huevo, lo que sienta las bases para la discusión crítica de los aportes y desafíos de este campo de estudio.

Discusión

Los resultados obtenidos de la revisión sistemática confirman que el almacenamiento prolongado de huevos fértiles, especialmente más allá de 7 días, constituye el principal factor de riesgo para la viabilidad embrionaria, al aumentar la mortalidad temprana, prolongar el tiempo de incubación y deteriorar la calidad del pollito. Este hallazgo coincide con lo descrito por Melo et al. y Goliomytis et al.[7,8], quienes reportan una disminución consistente de la incubabilidad y un empeoramiento de los parámetros de calidad del pollito conforme se extiende la duración del almacenamiento. Sin embargo, el presente estudio añade una perspectiva integradora al mostrar que estos efectos no actúan de forma aislada, sino en interacción con la edad del lote, la genética y el microambiente gaseoso, lo que respalda la visión de Christensen et al.[41], sobre la viabilidad embrionaria como resultado de una red compleja de factores fisiológicos y de manejo.

En relación con las condiciones ambientales, los resultados obtenidos destacan que temperaturas de almacenamiento cercanas a 12 °C y una humedad relativa controlada contribuyen a preservar la calidad interna del huevo y a reducir la deshidratación. Este planteamiento se alinea con los trabajos de Elibol y Brake (24) y Özlü et al.,[38] quienes muestran que el incremento de la temperatura y las fluctuaciones térmicas durante el almacenamiento se asocian con mayor mortalidad embrionaria y menor eclosión. No obstante, mientras algunos estudios, como el de Elibol et al.[26] sugieren que ciertos rangos de temperatura más amplios podrían ser aceptables dependiendo de la edad del lote y del sistema de incubación, la síntesis presentada aquí indica que, en huevos de pollos de engorde sometidos a almacenamiento prolongado, la ventana óptima es más estrecha y requiere un control más riguroso de la humedad y del CO_2 para amortiguar el deterioro de la calidad interna, tal como ya advertían Reijrink et al.[50] y Branum et al.[40]. Este contraste pone de relieve que las recomendaciones generales no son completamente transferibles entre líneas genéticas ni entre contextos productivos, y que el diseño de protocolos debe ser específico para cada planta de incubación.

En el plano biológico, la edad del lote y la genética emergen como moduladores críticos, aunque con un comportamiento no siempre consistente. Estudios como los de Lapao et al.[30], Reis et al.[32] y Alo et al.[35], muestran que las reproductoras de mayor edad tienden a producir huevos más sensibles al almacenamiento prolongado, con mayores tasas de mortalidad y menor calidad del pollito. Sin embargo, investigaciones como las de Campo et al.[28] y Gregrova et al.[47] evidencian resultados más heterogéneos, en los que la interacción entre edad, duración del almacenamiento y condiciones de incubación dificulta establecer patrones lineales. Los hallazgos de esta revisión sugieren, en concordancia con Christensen et al.[48], que parte de esta variabilidad podría explicarse por diferencias en la capacidad del embrión para acumular y mantener reservas de carbohidratos en tejidos clave como el músculo y el corazón, lo que condiciona su resistencia al estrés del almacenamiento. Así, más que asumir un efecto uniforme de la edad del lote, se propone interpretar la respuesta embrionaria como el resultado de la interacción entre genética, estado fisiológico de las reproductoras y condiciones microambientales, abriendo la puerta a modelos de manejo más personalizados.

En cuanto a las estrategias de mitigación, los resultados confirman el papel central de la preincubación (SPIDES) como técnica capaz de recuperar, al menos parcialmente, la capacidad de eclosión tras periodos prolongados de almacenamiento. Estudios clásicos y recientes, como los de Fasenko[43], Reijrink et al.[9], Okasha et al.[11] y Maman y Yildirim[12], han mostrado que la aplicación de periodos cortos de incubación antes o durante el almacenamiento puede mejorar la incubabilidad y la calidad del pollito, al adelantar el desarrollo hasta etapas más resistentes. Sin embargo, otros trabajos advierten que no todos los protocolos son igualmente beneficiosos: por ejemplo, Bakst et al.[22] y Abioja et al.[52] señalan que determinadas combinaciones de duración y frecuencia de preincubación pueden ampliar la ventana de nacimiento o incluso incrementar la mortalidad embrionaria. Los resultados de esta revisión son congruentes con esa visión matizada: se reconoce a la preincubación como herramienta eficaz, pero se subraya que su éxito depende del ajuste fino de la duración, el momento de aplicación y la relación con la edad del lote, tal como proponen Gregrova et al.[47] y Ebeid et al.[49].

Un aporte distintivo de este estudio es la integración de la preincubación con otras prácticas como el volteo durante el almacenamiento y el control del ambiente gaseoso, mostrando que los mejores resultados se obtienen cuando SPIDES se inserta en un esquema de manejo integral del huevo. En esta línea, Elibol y Brake[25] y Özlü et al.[54], han documentado que la combinación de volteo frecuente con periodos cortos de incubación mejora la uniformidad del desarrollo embrionario y aumenta la eclosión en comparación con huevos almacenados sin movimiento. De forma complementaria, Zhang et al.[55], y Damaziak et al.[56], han mostrado que estos efectos beneficiosos se mantienen en diferentes líneas genéticas y condiciones de almacenamiento, aunque con magnitudes variables. Los hallazgos de la presente revisión coinciden con estas evidencias, pero añaden que el impacto positivo es más evidente cuando se analizan simultáneamente múltiples dimensiones de la viabilidad (tasa de eclosión, mortalidad temprana, calidad del pollito, tiempo de incubación y pérdida de agua/peso), lo que otorga mayor robustez a la recomendación de implementar estrategias combinadas y no intervenciones aisladas.

Desde una perspectiva metodológica y temática, la síntesis bibliométrica revela una evolución de los focos de investigación: desde enfoques centrados casi exclusivamente en la métrica biológica clásica (hatchability, calidad de albúmina, parámetros morfológicos del embrión) hacia líneas que incorporan productividad, eficiencia industrial y bienestar animal como ejes centrales. Este desplazamiento es coherente con los planteamientos de Castro et al.[2], sobre los nuevos paradigmas de la industria avícola y con las observaciones de Tona et al.[5], y Adriaensen et al.[6], quienes destacan el papel de las condiciones de incubación y del uso de tecnologías de imagen para entender el impacto del almacenamiento sobre el desarrollo embrionario. En este sentido, la identificación de temas motores como fertilidad, rendimiento reproductivo y lisozima se articula con las preocupaciones actuales por la calidad del huevo, la resistencia a patógenos y la sostenibilidad del sistema, mientras que la emergencia de tópicos como Salmonella y bienestar en ponedoras, señalada por Schwean-Lardner[58], indica una ampliación del campo hacia una visión más integral de la sanidad y la ética productiva.

Pese a la rigurosidad del protocolo PRISMA 2020 adoptado, de acuerdo con las recomendaciones metodológicas de Sarkis-Onofre et al.[15], esta revisión presenta varias limitaciones que deben ser reconocidas. En primer lugar, aunque la búsqueda incluyó bases de datos de amplio alcance, es posible que se haya excluido literatura relevante no indexada o publicada en idiomas distintos del inglés y el español, lo que podría introducir sesgos geográficos y lingüísticos. En segundo lugar, los estudios incluidos presentan una elevada heterogeneidad en cuanto a líneas genéticas, condiciones ambientales de almacenamiento, sistemas de incubación y criterios de evaluación de la calidad del pollito, similar a lo observado por Grochowska et al.[53], esta diversidad restringe la posibilidad de comparar cuantitativamente todos los resultados y obliga, en varios casos, a realizar una síntesis cualitativa. En tercer lugar, la rápida evolución de tecnologías no invasivas para evaluar la calidad del huevo, como las descritas por Adriaensen et al.[6] y de modelos de incubación personalizada basados en IoT e inteligencia artificial, hace probable que futuros estudios refinen o modifiquen algunas de las conclusiones aquí presentadas. Finalmente, la matriz de puntuaciones utilizada para representar la influencia relativa de los factores de manejo se construyó a partir de la magnitud y consistencia de los efectos reportados en los estudios analizados, pero implica inevitablemente un componente de juicio experto, lo que introduce un margen de subjetividad.

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos de este estudio tienen implicaciones relevantes tanto para la práctica productiva como para la investigación futura. En el plano aplicado, los resultados respaldan la recomendación de minimizar el almacenamiento prolongado, especialmente en climas cálidos y secos, en consonancia con lo señalado por Alade et al.[46] y MacLaury e Insko[37], y de implementar estrategias de preincubación (SPIDES) y volteo sistemático cuando el almacenamiento prolongado sea inevitable, siguiendo la evidencia de Fasenko[43], Okasha et al.[11] y Özlü et al.[54]. Asimismo, se refuerza la necesidad de ajustar la temperatura, la humedad y el CO_2 de acuerdo con la edad del lote y la línea genética, en línea con los aportes

de Reijrink et al.,[9] Elibol et al.[26] y Alo et al.[35], avanzando hacia protocolos más específicos y basados en evidencia.

De cara al futuro, se identifican líneas de investigación como prioridades: (a) estudios que profundicen en los mecanismos fisiológicos que explican la resiliencia embrionaria al almacenamiento, especialmente en lo relativo a las reservas energéticas y a la estructura de la cáscara, como sugieren Christensen et al.[48] y Zakaria et al.[57]; (b) evaluaciones experimentales de modelos de incubación personalizada apoyados en IoT e inteligencia artificial, coherentes con las tendencias hacia avicultura de precisión discutidas por Castro et al.[2] y Tona et al.;[5] y (c) investigaciones que integren la dimensión de bienestar animal con los indicadores de productividad y calidad del pollito, siguiendo las recomendaciones de Schwean-Lardner[58]. En conjunto, estas implicaciones apuntan a que la mejora de la viabilidad embrionaria no depende solo de optimizar parámetros técnicos aislados, sino de avanzar hacia un enfoque holístico que articule biología, tecnología y ética en la gestión del huevo fértil.

Conclusión

Esta revisión sistemática cumplió con el objetivo de evaluar la influencia del almacenamiento y la preincubación en la viabilidad embrionaria de huevos fértiles, confirmándose que la viabilidad es un proceso multifactorial y dinámico modulado por las condiciones de manejo postpuesta.

El almacenamiento prolongado es la variable más consistente en generar deterioro y aumentar la mortalidad embrionaria temprana, principalmente a través de la pérdida de calidad interna y la muerte celular. La humedad relativa baja constituye un factor ambiental clave, potenciando significativamente este deterioro por deshidratación. Estos efectos son mitigables a través de técnicas de preincubación, al permitir al embrión alcanzar una etapa de desarrollo más resistente al frío y recuperar un porcentaje significativo de la capacidad de eclosión perdida. La eficacia de las técnicas de mitigación depende de variables como la edad del lote de reproductoras y el control de parámetros ambientales.

Actualmente, la limitación principal reside en la variabilidad y la necesidad de protocolos de precisión por lo que, las tendencias apuntan hacia la incubación personalizada, integrando el IoT y la IA para monitorizar variables individuales y aplicar tratamientos de preincubación algorítmicamente ajustados. En última instancia, la maximización de la viabilidad requiere una mayor comprensión de la estructura interna y la composición bioquímica del huevo como base para desarrollar estrategias de mitigación más específicas y menos dependientes del ensayo y error.

Acerca de

Financiamiento: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para esta investigación. Conflicto de interés: El autor declara no tener conflicto de intereses.

Conflicto de interés: El autor declara no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: El protocolo del presente estudio fue sometido a revisión y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad, en cumplimiento de los principios éticos y normativas institucionales aplicables.

Historia del artículo: Artículo recibido 5 de enero 2026 | Aceptado 6 de febrero 2026 | Publicado 4 de mayo 2026.

Referencias

1. Khalifah A, Abdalla M, Rageb L, Maruccio F, Ciani K, El-Sabrout K. Could insect products provide a safe and sustainable feed alternative for the poultry industry? A comprehensive review. Animals. 2023;13(9):1534. https://doi.org/10.3390/ani13091534

2. Castro F, et al. Poultry industry paradigms: connecting the dots. J Appl Poult Res. 2023;32(1):100310. https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100310

3. Masaquiza-Moposita D, Vargas-Hidalgo J, Ortiz-Naveda N. Incubación artificial y producción de huevos. CM. 2021;7(1):73–94. https://doi.org/10.35381/cm.v7i1.465

4. Meng Y, Qiu N, Guyonnet V, Mine Y. Omics as a window to unravel the dynamic changes of egg components during chicken embryonic development. J Agric Food Chem. 2021;69(44):12947–55. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c05883

5. Tona K, et al. Chicken incubation conditions: role in embryo development, physiology and adaptation to the post-hatch environment. Front Physiol. 2022;13:895854. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.895854

6. Adriaensen H, et al. How egg storage duration prior to incubation impairs egg quality and chicken embryonic development: contribution of imaging technologies. Front Physiol. 2022;13:902154. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.902154

7. Melo F, Araújo CS, Triginelli MV, Castro LS, Baião NC, Lara JC. Effect of egg storage duration and egg turning during storage on egg quality and hatching of broiler hatching eggs. Animal. 2021;15(2):100111. https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100111

8. Goliomytis M, Tsipouzian T, Hager-Theodorides AL. Effects of egg storage on hatchability, chick quality, performance and immunocompetence parameters of broiler chickens. Poult Sci. 2015;94(9):2257–65. https://doi.org/10.3382/ps/pev200

9. Reijrink D, Berghmans R, Meijerhof R, Kemp B, Van Den Brand H. Influence of egg storage time and preincubation warming profile on embryonic development, hatchability, and chick quality. Poult Sci. 2010;89(6):1225–38. https://doi.org/10.3382/ps.2009-00182

10. Kurtu M, Duressa D, Yami A. Effect of non-conventional storage methods on external and internal egg qualities. East Afr J Sci. 2018;12(2):137-144. https://scispace.com/pdf/effect-of-non-conventional-storage-methods-on-external-and-1i7gu81dnv.pdf

11. Okasha H, El-Gendi G, Eid K. The effect of storage periods and SPIDES on embryonic mortality, hatching characteristics, and quality of newly hatched chicks in broiler eggs. Trop Anim Health Prod. 2023;55(2):133. https://doi.org/10.1007/s11250-023-03547-x

12. Maman A, Yildirim I. The effect of short periods of incubation during egg storage (SPIDES) on internal egg quality, hatchability and chick quality of long stored old layer breeder eggs. Eur Poult Sci. 2022;86:1–12. https://doi.org/10.1399/eps.2022.353

13. Bilalissi A, et al. Effects of pre-incubation storage duration and nonventilation incubation procedure on embryonic physiology and post-hatch chick performance. Poult Sci. 2022;101(5):101810. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101810

14. Haque M, Pearson J, Hou P, Tazawa H. Effects of pre-incubation egg storage on embryonic functions and growth. Respir Physiol. 1996;103(1):89–98. https://doi.org/10.1016/0034-5687(95)00062-3

15. Sarkis-Onofre R, Catalá-López F, Aromataris E, Lockwood C. How to properly use the PRISMA statement. Syst Rev. 2021;10(1):117. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01671-z

16. Torres B, Herrera-Feijoo R, Torres Y, García A. Global evolution of research on silvopastoral systems through bibliometric analysis: insights from Ecuador. Agronomy. 2023;13(2):479. https://doi.org/10.3390/agronomy13020479

17. Yaulilahua-Huacho R, Sumarriva-Bustinza L, Ramirez-Rosales F, Mariño-Arroyo JB, Gutierrez-Deza LIR, Quispealaya-Armas L. Energía verde: el papel de las plantas y hongos en la generación de energía eléctrica. Revista Alfa. 2025;9(26):823–43. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.384

18. Ouzzan M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan — a web and mobile app for systematic reviews. Syst Rev. 2016;5(1). https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4

19. Van Eck N, Waltman L. VOSviewer. Leiden University; 2009–2023. https://www.vosviewer.com

20. Aria M, Cuccurullo C. Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. J Informetr. 2017;11(4):959–75. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

21. Core R. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2023. www.R-project.org

22. Bakst M, Akuffo V, Nicholson D, French N. Comparison of blastoderm traits from 2 lines of broilers before and after egg storage and incubation. Poult Sci. 2012;91(10):2645–8. https://doi.org/10.3382/ps.2011-02118

23. Pokhrel N, Ben-Tal Cohen E, Genin O, Sela-Donenfeld D, Cinnamon Y. Cellular and morphological characterization of blastoderms from freshly laid broiler eggs. Poult Sci. 2017;96(12):4399–408. https://doi.org/10.3382/ps/pex242

24. Elibol O, Braket J. Effect of frequency of turning from three to eleven days of incubation on hatchability of broiler hatching eggs. Poult Sci. 2003;82(3):357–9. https://doi.org/10.1093/ps/82.3.357

25. Elibol O, Brake J. Effect of egg position during three and fourteen days of storage and turning frequency during subsequent incubation on hatchability of broiler hatching eggs. Poult Sci. 2008;87(6):1237–41. https://doi.org/10.3382/ps.2007-00469

26. Elibol O, Peak S, Brake J. Effect of flock age, length of egg storage, and frequency of turning during storage on hatchability of broiler hatching eggs. Poult Sci. 2002;81(7):945–50. https://doi.org/10.1093/ps/81.7.945

27. Nowaczewski S, et al. Effect of weight and storage time of broiler breeders' eggs on morphology and biochemical features of eggs, embryogenesis, hatchability, and chick quality. Animal. 2022;16(7):100564. https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100564

28. Campo J, García Gil M, Muñoz I, Alonso M. Effects of breed, hen age, and egg storage on the indirect prediction of the albumen quality. Eur Poult Sci. 2000;64(3):109–14. https://doi.org/10.1016/S0003-9098(25)00203-6

29. Yildirim I. Effects of breeder age and pre-incubation storage of eggs on hatchability, time of hatch and relative organ weight of quail chicks at hatch. S Afr J Anim Sci. 2005. https://scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-15892005000200008

30. Lapao C, Gama L, Soares M. Effects of broiler breeder age and length of egg storage on albumen characteristics and hatchability. Poult Sci. 1999;78(5):640–5. https://doi.org/10.1093/ps/78.5.640

31. Hagan J, Adjei I, Baah A. Effects of extended period of storage and strain of layer on quality of chicken eggs. J Sci Tech. 2013;33(2):1. https://doi.org/10.4314/just.v33i2.1

32. Reis L, Gama L, Soares M. Effects of short storage conditions and broiler breeder age on hatchability, hatching time, and chick weights. Poult Sci. 1997;76(11):1459–66. https://doi.org/10.1093/ps/76.11.1459

33. Yassin H, Velthuis A, Boerjan M, Van Riel J, Huirne R. Field study on broiler eggs hatchability. Poult Sci. 2008;87(11):2408–17. https://doi.org/10.3382/ps.2007-00515

34. Willemsen M, Pierce R, Dunnington E, Liu G, Siegel P. Genetic analyses of the effects of storage time on hatchability and incubation length of embryos from weight-selected populations and their crosses. Eur Poult Sci. 1996;60(3):114–9. https://doi.org/10.1016/S0003-9098(25)01312-8

35. Alo E, Daramola J, Wheto M, Oke O. Impact of broiler breeder hens' age and egg storage on egg quality, embryonic development, and hatching traits of FUNAAB-alpha chickens. Poult Sci. 2024;103(2):103313. https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103313

36. Agma Okur A, Unver Kayhan E. Impacts of red pepper supplemented diets and different storage conditions on eggs obtained from free-range laying hens. S Afr J Anim Sci. 2019;48(5):987. https://doi.org/10.4314/sajas.v48i5.19

37. MacLaury D, Insko W. Relation of pre-incubation factors and post-hatching performance to length of incubation period. Poult Sci. 1968;47(1):305–11. https://doi.org/10.3382/ps.0470305

38. Özlü S, Elibol O, Brake J. Effect of storage temperature fluctuation on embryonic development and mortality, and hatchability of broiler hatching eggs. Poult Sci. 2018;97(11):3878–83. https://doi.org/10.3382/ps/pey253

39. Özlü S. Research note: storage period and prewarming temperature effects on synchronous egg hatching from broiler breeder flocks during the early laying period. Poult Sci. 2021;100(3):100918. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.016

40. Branum S, Tazawa H, Burggren W. Physiological regulation of growth, hematology and blood gases in chicken embryos in response to low and high incubation humidity. Front Physiol. 2022;13:880737. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.880737

41. Christensen V, Wineland M, Fasenko G, Donaldson W. Egg storage effects on plasma glucose and supply and demand tissue glycogen concentrations of broiler embryos. Poult Sci. 2001;80(12):1729–33. https://doi.org/10.1093/ps/80.12.1729

42. Souza Da Silva C, et al. Day-old chicken quality and performance of broiler chickens from 3 different hatching systems. Poult Sci. 2021;100(3):100953. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.050

43. Fasenko G. Egg storage and the embryo. Poult Sci. 2007;86(5):1020–4. https://doi.org/10.1093/ps/86.5.1020

44. Brake J, Walsh T, Benton C, Petitte J, Meijerhof R, Penalva G. Egg handling and storage. Poult Sci. 1997;76(1):144–51. https://doi.org/10.1093/ps/76.1.144

45. Fasenko G, Robinson F, Hardin R, Wilson J. Variability in preincubation embryonic development in domestic fowl. Poult Sci. 1992;71(12):2129–32. https://doi.org/10.3382/ps.0712129

46. Alade NK, Raji AO, Bulama S. Quality of eggs under varying storage periods, conditions and seasons in a semi arid zone of Nigeria. Sahel J Vet Sci. 2009;8(2):13–20.

47. Gregrova M, Lichovnikova M, Foltyn M, Tvrdon Z, Hampel D. Interactions between broiler parent stock age and egg pre-incubation duration: effects on embryo development, hatchability, day-old chick weight, and yolk sac weight. Animal. 2024;18(11):101333. https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101333

48. Christensen V, Wineland M, Fasenko G, Donaldson W. Egg storage alters weight of supply and demand organs of broiler chicken embryos. Poult Sci. 2002;81(11):1738–43. https://doi.org/10.1093/ps/81.11.1738

49. Ebeid T, Twfeek F, Assar M, Bealish A, Abd El-Karim R, Ragab M. Influence of pre-storage incubation on hatchability traits, thyroid hormones, antioxidative status and immunity of newly hatched chicks at two chicken breeder flock ages. Animal. 2017;11(11):1966–74. https://doi.org/10.1017/S1751731117000738

50. Reijrink I, Meijerhof R, Kemp B, Graat E, Van Den Brand H. Influence of prestorage incubation on embryonic development, hatchability, and chick quality. Poult Sci. 2009;88(12):2649–66. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00523

51. Fasenko G, Robinson F, Whelan A, Kremeniuk K, Walker J. Prestorage incubation of long-term stored broiler breeder eggs: 1. Effects on hatchability. Poult Sci. 2001;80(10):1406–11. https://doi.org/10.1093/ps/80.10.1406

52. Abioja M, et al. Effect of egg storage length on spread of hatch window, chick quality, and organ development in Transylvanian naked neck chickens. Poult Sci. 2022;101(6):101834. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101834

53. Grochowska E, Kinal A, Sobek Z, Siatkowski I, Bednarczyk M. Field study on the factors affecting egg weight loss, early embryonic mortality, hatchability, and chick mortality with the use of classification tree technique. Poult Sci. 2019;98(9):3626–36. https://doi.org/10.3382/ps/pez180

54. Özlü S, Uçar A, Erkuş T, Nicholson A, Elibol O. Effects of turning and short period of incubation during long-term egg storage on embryonic development and hatchability of eggs from young and old broiler grandparent flocks. Poult Sci. 2021;100(4):101026. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101026

55. Zhang Z, et al. The influence of storage duration and short periods of incubation during egg storage on hatching performance of indigenous chickens. Poult Sci. 2025;104(12):105950. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105950

56. Damaziak K, Pawęska M, Gozdowski D, Niemiec J. Short periods of incubation, egg turning during storage and broiler breeder hens age for early development of embryos, hatching results, chicks quality and juvenile growth. Poult Sci. 2018;97(9):3264–76. https://doi.org/10.3382/ps/pey163

57. Zakaria A, Plumstead P, Romero-Sanchez H, Leksrisompong N, Brake J. The effects of oviposition time on egg weight loss during storage and incubation, fertility, and hatchability of broiler hatching eggs. Poult Sci. 2009;88(12):2712–7. https://doi.org/10.3382/ps.2009-00069

58. Schwean-Lardner K. The effects of hatchery practices on the welfare of poultry. In: Advances in poultry welfare. Elsevier; 2018. 29–48. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100915-4.00002-6